

扬子陆块新元古代首次冰期前的区域沉降 及其沉积响应研究

王田¹⁾, 汪正江^{2,3)}, 肖渊甫¹⁾, 杨菲²⁾, 杜秋定^{2,3)}

1) 成都理工大学地球科学学院, 成都, 610059; 2) 中国地质调查局成都地质调查中心, 成都, 610081;
3) 自然资源部沉积盆地与油气资源重点实验室, 成都, 610081

内容提要:赣北及邻区休宁组(莲沱组)与湖北宜昌、通山地区的莲沱组是华南新元古代中期的重要地层单元,但对其沉积大地构造背景和时代归属一直存在不同认识。本文在详细的沉积学调查和区域对比研究基础上,对采自通山石门塘剖面莲沱组底部含砾砂岩、上部的沉凝灰岩和上饶华坛甘岭剖面上墅组顶部英安岩、休宁组中部沉凝灰岩分别进行了LA-ICP-MS锆石U-Pb定年,获得通山莲沱组最大沉积年龄为 784.0 ± 11.0 Ma,莲沱组中上部沉积年龄约为 727.3 ± 6.7 Ma;获得华坛甘岭剖面上墅组顶部英安岩形成年龄为 779.0 ± 6.6 Ma,休宁组中部沉积年龄为 733.6 ± 5.9 Ma,因此,赣北及邻区的莲沱组或休宁组沉积时限与宜昌地区基本一致。沉积学调查显示,华坛甘岭休宁组沉积构造不发育,主体为冲积扇—滨浅海至深水陆棚相沉积;通山莲沱组沉积构造发育,斜层理、交错层理、沙纹层理及波痕等牵引流沉积构造发育,为河流—三角洲沉积序列。研究认为,在扬子陆块内,浙皖赣邻区的莲沱组(休宁组)与宜昌莲沱组、滇中澄江组及湘黔桂地区的板溪群及其相当地层的上部沉积时限($780 \sim 720$ Ma)大体相当,为南华冰期开启前在区域热沉降背景下,南华裂谷系的第一套呈区域性展布的裂谷带沉积。

关键词:赣北地区;板溪期;板溪系;莲沱组;休宁组;沉积序列;沉积时限;热沉降

历时近十年集成的新版《中国区域地质志》第一批分省地质志于2017年成功出版面世,这是继20世纪80年代第一代地质志出版后,近30年来地质调查新成果的集中体现。然而,鉴于新元古代大地构造背景和沉积盆地演化的复杂性,新版地质志中仍存在一些亟待解决的关键地质问题。例如华南新元古代地层格架如何划分,是延续“三分”或为“四分”?“南华系”如何定义,其底界如何确定?新厘定的“青白口系”涵盖了梵净山群、四堡群等及不整合面之上的板溪群、下江群等等地层、时限跨度长达220 Ma(若以最新版国际地层委员会(ICS)确定的南华系底界为720 Ma(樊隽轩等, 2015, 2018)计算,则其时限跨度长达280 Ma,这与南华系(~85 Ma)、埃迪卡拉系(~94 Ma)时限跨度严重不协调),这样的地层格架是否合理?

上述问题存在的原因在于对华南扬子陆块新元古代原型沉积盆地形成演化的阶段性及其动力学机制的认知仍存在较大分歧,其突出表现在对扬子陆

块内广泛发育的莲沱组及其相当层位地层的大地构造属性及其时代归属的认识上,以至于以“南华大冰期”为原始含义的南华系底界及其沉积时限的厘定,长期存在不同认识。

21世纪初,有学者提出以新元古代中期晋宁—四堡不整合面为南华系底界,年龄约为820 Ma(王剑等, 2003, 2009; Wang Jian et al., 2003; 王剑, 2005)。但若南华系以“南华大冰期”(刘鸿允等, 1980; 刘鸿允, 1991)为依托,并与国际上的成冰系对比,多数学者认为南华系底界应置于第一套全球性冰期(Sturtian冰期)沉积的底部为宜,即对应于江口冰期或长安冰期(张启锐和储雪蕾, 2007; 黄晶等, 2007; 汪正江, 2008; 张启锐等, 2008; 杨菲等, 2012)之底。同时,随着近年来的持续研究,华南江口冰期或长安冰期的起始年龄已基本明确为约720 Ma(汪正江等, 2013a, b, 2015; 崔晓庄等, 2013, 2016; Lan Zhongwu et al., 2014, 2015; 张启锐, 2014; 张启锐等, 2016; 陈建书等, 2016; 周传

注:本文为国家自然科学基金资助项目(编号:41372124, 41772115, 41672108)和中国地质调查局项目(编号:DD20160193)的成果。

收稿日期:2019-12-17; 改回日期:2020-06-05; 责任编辑:刘志强。Doi:10.16509/j.georeview.2020.04.019

作者简介:王田,女,1990年生,硕士研究生,研究方向为前寒武纪地质学;Email:327531284@qq.com。通讯作者:汪正江,男,1969年生,博士,教授级高工,主要从事沉积大地构造学研究;Email:wzjcf@sina.com。

明, 2016)。但也有学者提出以“出现寒冷事件沉积”为底界的观点, 并基于化学蚀变指数(CIA)研究(冯连君等, 2003, 2004, 2006; 王自强等, 2006), 将南华系底界年龄定在 780 Ma(尹崇玉等, 2003, 2007, 2013; 高林志等, 2010a,b, 2011)。

目前, 将南华系底界置于 720 Ma 的认识已经得到国际地层委员会(ICS)认可, 并纳入新版的 2015、2018 国际地层年表(International Chronostratigraphic Chart)中(樊隽轩等, 2015, 2018)。而将南华系底界置于 780 Ma 的认识也已被 2014 版《中国地层表》(全国地层委员会, 2014)所采用。因此, 很有必要再次开展南华系底界的深入探讨, 以进一步促进我国新元古代地层格架重建与南华系的建立。

而前人关于“南华大冰期”始于 780 Ma 的认识, 主要源于对峡东莲沱组、石门渫水河组、建德休宁组的沉积时限和沉积属性的研究(尹崇玉等, 2003, 2013)。为此, 必须解决三个问题: 一是沉积时限与地层归属, 即莲沱组、渫水河组、休宁组是同

期沉积序列吗? 能对比与长安组或江口组吗? 二是冰期沉积的证据, 莲沱组或休宁组内存在寒冷事件或冰期沉积的可靠证据吗? 三是构造属性问题, 即莲沱组和休宁组是处于怎样的盆地动力学背景呢?

峡东莲沱组的沉积时限基本在 780~715 Ma, 已有定论(马国干等, 1984; Lan Zhongwu et al., 2015), 浙西北建德休宁组的沉积时限也大致限定在 800~720 Ma(邓奇等, 2019), 但赣北及通山地区的莲沱组的沉积时限, 特别是其沉积盆地动力学背景仍有待深入研究探讨(图 1)。为此, 我们对通山石门塘莲沱组剖面和上饶华坛休宁组剖面开展了野外调查和同位素年代学研究, 以期为上述问题早日解决提供可靠依据。

1 赣北及邻区莲沱组沉积特征

1.1 赣北及邻区莲沱组沉积特征

莲沱组是刘鸿允、沙庆安(1963)在宜昌莲沱镇王丰岗创建, 长期作为原震旦系下统, 并与湖南板溪

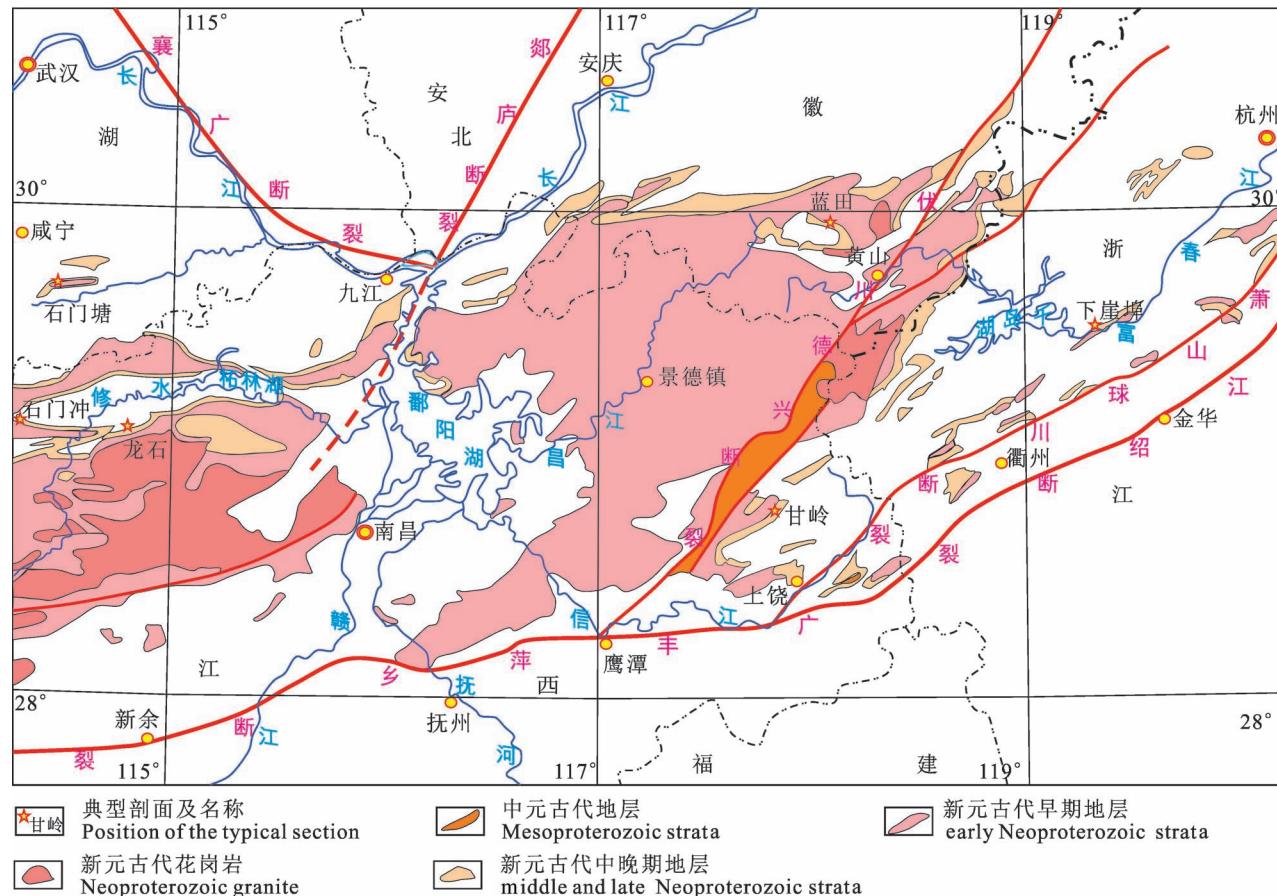


图 1 赣北及邻区新元古代地层展布与莲沱组典型剖面分布

Fig. 1 The distribution of the Neoproterozoic strata and the positions of typical section for the Neoproterozoic Lantuo Formation in Northern Jiangxi and the adjacent areas

群相对比(刘鸿允, 1991)。20世纪末, 基于国际上建立埃迪卡拉系、提出成冰系的新形势, 全国地层委员会(2001)决定将我国原震旦系解体, 原上统重新定义为震旦系, 原下统独立新建“南华系”, 由此, 南沱组、莲沱组归入南华系, 并将其底界年龄推定为 800 Ma。

江西省地质矿产局(1997)将原修水石门冲剖面原“硐门组”修订为莲沱组, 认为该套地层为江南地层区第一套稳定盖层沉积, 其不整合在双桥山群之上(或平行不整合在落可岽组、登山群、广丰群之上), 整合或平行不整合于南华系古城组冰碛砾岩之下, 可与赣东北和皖南的休宁组对比(图 1)。在新一代区域地质志编撰工作中, 江西省地质调查院(2017)认为修水地区的莲沱组与上饶—广丰地区的休宁组层位相当, 遂将赣西北莲沱组扩展到整个赣北地区, 取消了“休宁组”地层单元, 并继续以修水石门冲的莲沱组剖面为省内的层型剖面。

赣北莲沱组主要出露在赣西北的修水、武宁、都昌地区和赣东北的上饶—广丰地区。赣西北地区的莲沱组下部为灰白色、浅灰色厚层粗—中粒含砾石英砂岩、长石石英砂岩, 角度不整合在双桥山群之上(图 2); 上部为灰色、深灰色中厚层细粒岩屑石英砂岩夹硅质泥岩、砂质泥页岩和凝灰质岩沉积(江西省地质矿产局, 1997), 主体为河流—三角洲—浅海陆棚相沉积序列。从武宁县石渡龙石剖面看, 莲沱组砂岩成熟度高(石英质碎屑含量高、砾石磨圆度好), 多种牵引流沉积构造发育(图 2), 其沉积特征与通山石门塘剖面相似(图 3)。

赣东北地区的莲沱组(原为休宁组), 以上饶华坛甘岭剖面为代表, 具有明显的“下紫上绿”特征(江西省地质调查院, 2017), 底部为灰紫色、紫红色杂砾岩, 成分成熟度和结构成熟度均很低, 主要为上墅组火山岩、火山碎屑岩风化剥蚀的近源冲洪积沉积; 下部为灰紫色粗粒含砾岩屑杂砂岩、中细粒岩屑杂砂岩及砂质泥岩、凝灰质岩等; 中部为中粗粒长石岩屑砂岩、细砂岩与泥质粉砂岩、砂质泥岩、页岩; 上部为粉砂质泥岩、页岩夹细砂岩、硅质页岩, 总厚达 1573.57 m。总体看, 该套沉积序列与修水、武宁地区莲沱组不同, 其主要沉积相组合为冲积扇—陆棚沉积序列, 反映该地区在莲沱组沉积晚期为快速沉降背景, 并伴随有明显的热液活动, 发育有厚层硅质页岩(图 3), 并可与浙西北建德下崖埠剖面和通山石门塘剖面对比。其中华坛甘岭和通山石门塘剖面上段各发育 2 套硅质岩, 下崖埠剖面更是发育有 4~

5 套纹层状硅质岩、硅质页岩。

1. 2 样品采集与描述

本文 4 件样品分别采自上饶华坛甘岭剖面和通山石门塘剖面(图 3)。其中, 样品 TSP-1 采自通山石门塘剖面莲沱组底部含砾石英砂岩, 野外露头呈浅灰色, 砾石主要为石英砾或脉石英, 岩石的结构成熟度和成分成熟度均较高; TS-1 为莲沱组下段上部粉砂质沉凝灰岩夹层, 露头上为浅灰白色似黏土岩(图 4b), 上下均为中层状浅灰色长石石英砂岩, 剖面起点坐标为 N 29°39'25"E, 114°26'29"S。

样品 GL-1 采自上饶华坛甘溪剖面起点处的上墅组英安质流纹岩, 岩石为紫红色—红褐色, 具有明显的流纹构造, 偶见长石和石英斑晶; GL-2 采自莲沱组(休宁组)中下部(图 3)厚层灰白色凝灰岩层, 凝灰岩层内兼有硅化现象(硅质岩透镜体)(图 4d), 剖面起点坐标为 N 28°43'26"E, 117°45'48"S。

显微镜下显示, 样品 TS-1 具变晶结构, 主要由石英、斜长石组成, 偶见不规则玻屑, 石英具有一定溶蚀现象, 基质主要为大量显微晶质黏土矿物及绢云母; 副矿物为不透明金属矿物。岩石局部可见脱玻化现象, 推测原岩为酸性凝灰岩。样品 GL-2 具晶屑、玻屑凝灰结构, 晶屑主要由石英及长石组成, 玻屑为不规则状, 脱玻化作用明显; 副矿物主要为磷灰石、磁铁矿及不透明矿物, 因此定名为晶屑玻屑凝灰岩。

2 分析方法

岩石样品经破碎、淘洗、重液分离和电磁分离后, 在双目镜下挑选晶形完好、具有代表性的锆石颗粒粘在树脂台上, 打磨抛光, 制成样靶, 然后对锆石进行反射光、透射光显微照相和阴极发光(CL)图像分析, 确定锆石的内部结构和成因, 以选取最佳的待测锆石部位。锆石 U-Pb 定年在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室利用激光剥蚀电感耦合等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)分析完成。激光剥蚀系统为 GeoLas 2005, 质谱为 Agilent 7500a。本次实验所采用的激光束斑直径为 32 μm, 激光剥蚀过程中采用氦气作载气、氩气为补偿气以调节灵敏度, 二者在进入 ICP-MS 之前通过一个 T 型接头混合。在等离子体中心气流(Ar+He)中加入了少量氮气, 以提高仪器灵敏度、降低检出限和改善分析精密度(Hu Zhaochu et al., 2008)。每个时间分辨分析数据包括大约 20~30 s 的空白信号和 50 s 的样品信号。分析数据的离线处理采用软件 ICPMS



图2 赣西北武宁县石渡龙石剖面新元古代莲沱组牵引流沉积特征

Fig. 2 Sedimentary characteristics of the traction flow of the Neoproterozoic Liantuo Formation in the Shidu Longshi section, Wuling County in northwestern Jiangxi Province

(a) 武宁石渡龙石剖面莲沱组角度不整合在双桥山群安乐林组之上,莲沱组底部为厚层细砾岩—含砾粗砂岩;(b) 莲沱组下部石英质细砾岩,砾石以石英砾为主,成熟度高;(c) 莲沱组中部浅紫色中细粒砂岩,发育脉状层理;(d) 莲沱组中部浅灰色细砂岩,发育板状斜层理,古流向为355°,指示物源来自南部的九岭隆起

(a) The Liantuo Formation in Shidu Longshi section is angular unconformity above the Anlein Formation of the Shuangqiaoshan Group, and the bottom of Liantuo Formation is thick fine gravel—gravel-bearing coarse sandstone; (b) the Liantuo Formation is a fine quartz gravel in the lower part, which is dominated by quartz gravel and has high maturity; (c) the light purple medium—fine sandstone in the middle of the Liantuo Formation has vein-like bedding; (d) the light gray fine sandstone in the middle of the Liantuo Formation develops plate-like oblique bedding with a paleocurrent of 355° indicating that the source material comes from the Jiuling uplift in the south

DataCal (Liu Yongsheng et al., 2008) 完成。

3 分析结果

样品 GL-1 的锆石主要为自型,短柱到长柱状,长 60~120 μm,无色透明,无裂缝。阴极发光(CL)图像中,锆石岩浆振荡环带结构不够清晰,表面粗糙、棱角分明、常见溶蚀空洞,但形态较为一致(图 5),可能与岩浆快速上升、冷凝有关。选择其中较为典型的 22 颗锆石进行了 U-Pb 同位素年龄测定,分析结果见表 1。分析点的 U 和 Th 质量分数的变

化范围分别为 $84 \times 10^{-6} \sim 217 \times 10^{-6}$ 和 $37 \times 10^{-6} \sim 179 \times 10^{-6}$,变化幅度均较小,其 Th/U 值为 0.45~0.84,也支持岩浆锆石特征。在 U-Pb 谐和曲线中,谐和度较高($\geq 93\%$)的 13 个测点均落在一致曲线上(图 6a),另外 11 个测点的 $n^{207}\text{Pb}/n^{206}\text{Pb}$ 年龄均较大,而 $n^{206}\text{Pb}/n^{238}\text{U}$ 年龄均处于 700~850 Ma,可能为捕获的继承性锆石的不完全熔融所致;13 个测点的 $n^{206}\text{Pb}/n^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 779 ± 6.6 Ma ($\text{MSWD} = 0.48, n = 13$)(图 6b),代表上墅组顶部英安岩的形成时代。

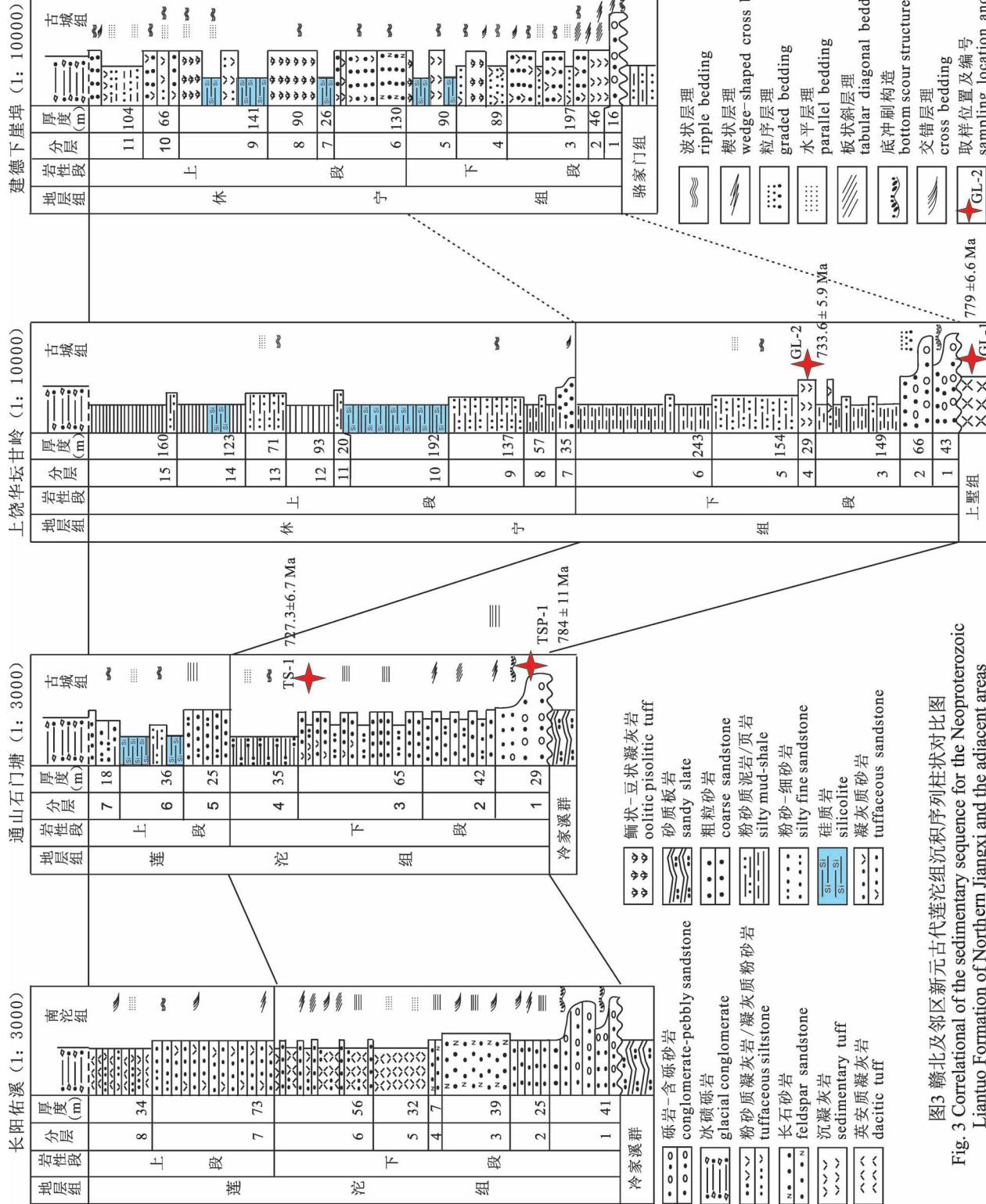


图3 赣北及邻区新元古代莲沱组沉积序列柱状对比图
Fig. 3 Correlative stratigraphic column chart for the Neoproterozoic Lantuo Formation of Northern Jiangxi and the adjacent areas

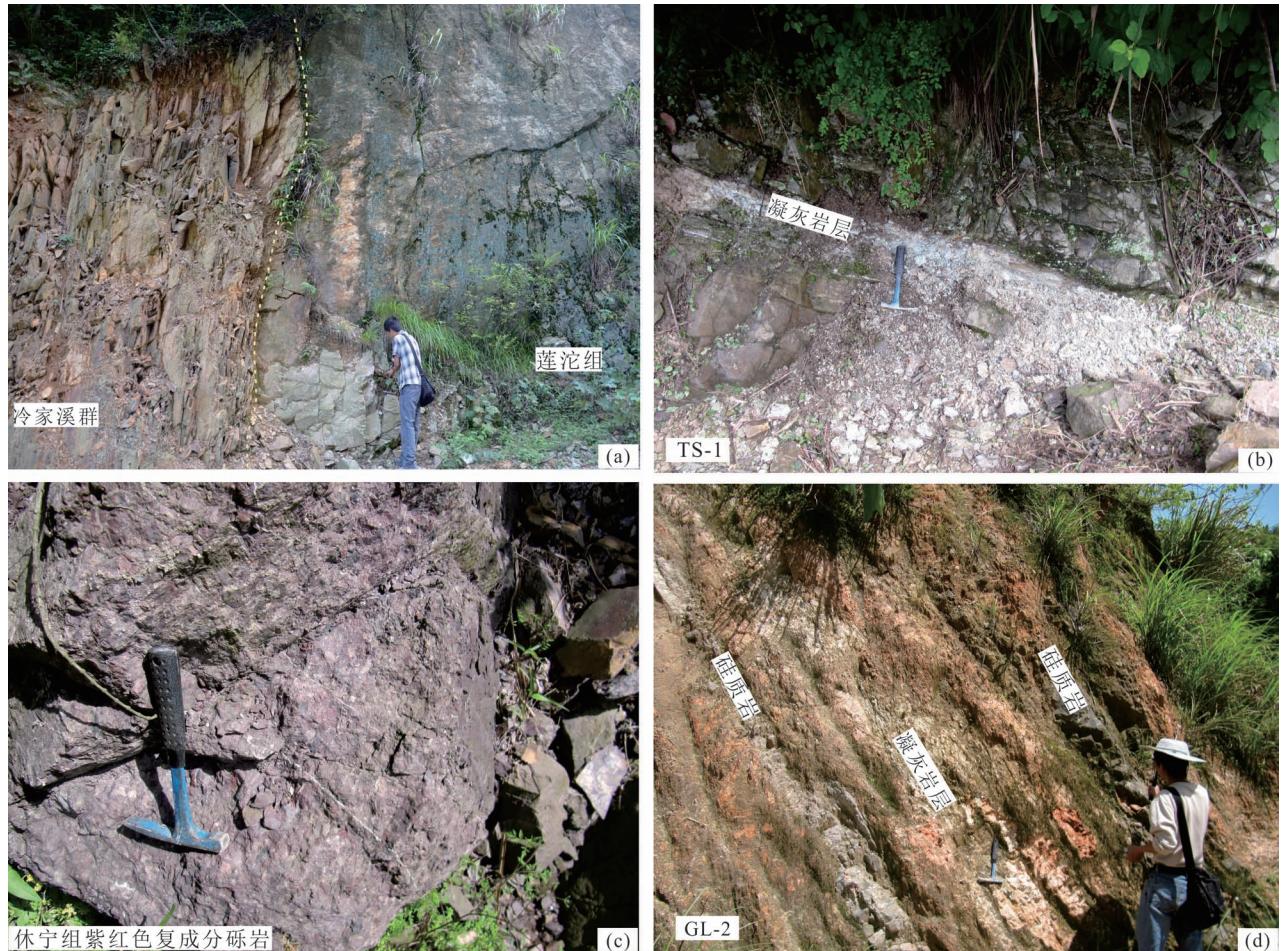


图4 赣东北上饶华坛甘岭剖面及鄂东南通山石门塘剖面的特征和取样位置

Fig. 4 Outcrops of the Ganling section, Huatan, Shangrao County, northeastern Jiangxi, and the Shimentang sections, Tongshan County, southeastern Hubei, and the sampling positions

(a) 通山石门塘剖面莲沱组与下伏冷家溪群高角度不整合,莲沱组底部为厚层细砾岩—含砾石英砂岩;(b) 通山莲沱组中部凝灰岩夹层,及TS-1取样位置;(c) 上饶华坛甘岭剖面莲沱组(休宁组)底部紫红色复成分砾岩,砾石主要来自下伏上墅组流纹岩、凝灰岩的近源沉积;(d) 甘岭剖面休宁组中下部凝灰岩及硅质岩透镜体,及GL-2取样位置

(a) The Liantuo Formation is high angular unconformity above the Lengjiaxi Group in the Shimentang section, and the bottom of the Liantuo Formation is a thick fine gravel—gravel quartz sandstone; (b) tuff interlayer in the middle of the Liantuo Formation in Tongshan and the sampling location of TS-1; (c) the purple-red complex gravel at the bottom of the Liantuo Formation (the Xiuning Formation) in the Ganling section, which mainly deposited near from weathered rhyolite of the Shangshu Formation; (d) the tuff and siliceous lens in the middle part of the Xiuning Formation in Ganling section, and the sampling location of GL-2

样品 GL-2 的锆石多呈短柱状,自型到半自型,长 $50\sim150\text{ }\mu\text{m}$,无色透明,少裂隙,有熔蚀现象(图 5)。阴极发光(CL)图像中,锆石显示明显的岩浆振荡环带,形态结构基本一致,主体应为同期或同源的岩浆成因。选择其中较为典型的 29 颗锆石进行了 U-Pb 同位素年龄测定,分析结果见表 1。分析点的 U 和 Th 质量分数明显高于上墅组英安岩(GL-1),变化范围分别为 $99\times10^{-6}\sim393\times10^{-6}$ 和 $101\times10^{-6}\sim423\times10^{-6}$,Th/U 值为 $0.66\sim1.37$,与岩浆成因锆石特征一致。在 U-Pb 年龄谐和图上,谐和度较高(\geq

93%) 的 19 个测点均落在一致曲线上(图 6c),另外 10 个测点的 $n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$ 年龄均较大($1033\sim1398\text{ Ma}$),而 $n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$ 年龄均处于 $718\sim762\text{ Ma}$ 之间,也可能是岩浆上涌过程中捕获锆石的不完全熔融所致;除测点 GL-2-28 年龄偏大外,其余 18 个测点的 $n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$ 年龄较集中,其加权平均值为 $733.6\pm5.9\text{ Ma}$ (MSWD = 2.0, $n = 18$) (图 6d),应代表休宁组中下部厚层凝灰岩层的沉积时代。

样品 TSP-15 的锆石相对于其他样品,晶体较大

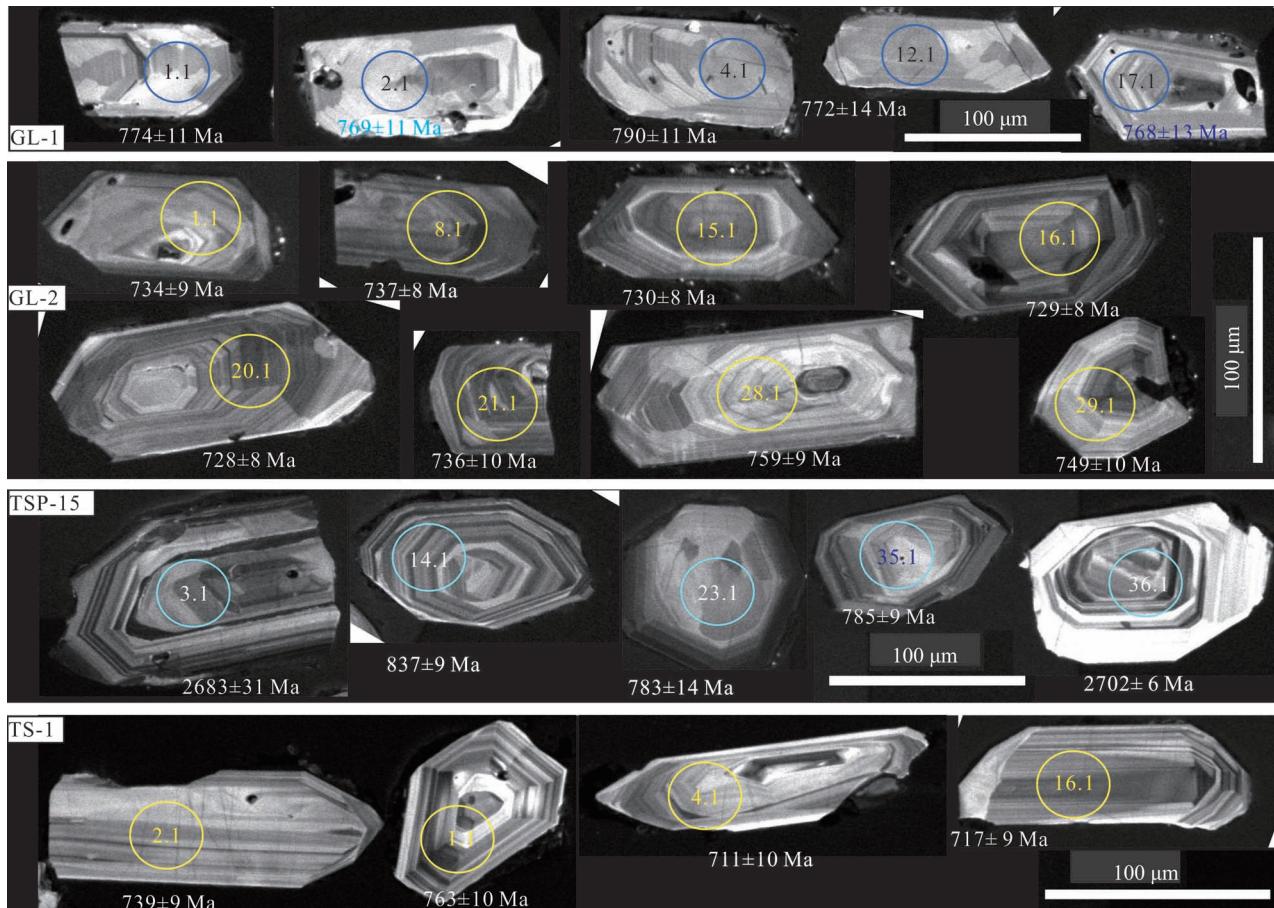


图 5 赣北及邻区上饶华坛甘岭和通山石门塘剖面测试样品典型锆石特征及其测试结果

Fig. 5 Typical CL characteristics and test results of the zircon from the Ganling section, Huatan, Shangrao, northern Jiangxi, and the Shimantang section, Tongshan southeastern Hubei

些,但大部分棱角不明显,且其 CL 图像颜色深浅相差较大,显示出锆石来源的多旋回性。锆石多为短柱到长柱状,长 60~150 μm ,色暗的锆石裂缝发育,较明亮的裂缝不发育(主要为年轻锆石)。阴极发光(CL)图像中,锆石岩浆振荡环带结构较清晰,颜色越浅(发白)的锆石,常见溶蚀(可能受到热液作用有关;图 5)。

选择其中较为典型的 36 颗锆石进行了 U-Pb 同位素年龄测定,分析结果见表 1。分析点的 U 和 Th 质量分数的变化范围分别为 $76 \times 10^{-6} \sim 319 \times 10^{-6}$ 和 $39 \times 10^{-6} \sim 1152 \times 10^{-6}$,变化幅度均较大;其 Th/U 值,除 2 号测点较小(0.23)外,其余为 0.51~2.73,与岩浆成因锆石特征一致。所有测点年龄大体上可划分为 5 组,第一组为新太古代,有三个测点(3、15、36)组成,其 $n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$ 上交年龄与 $n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$ 年龄一致,均为 2700 Ma 左右。第二组为古元古代,三个测点(2、20、28-2)都存在明显的 Pb 丢

失(图 7a),均位于一致线下方,其上交年龄约为 2350 Ma 左右。第三组为新元古代早期,其年龄范围时 903~975 Ma,其加权平均年龄为 $939 \pm 28 \text{ Ma}$ ($\text{MSWD} = 4.8, n = 6$)。四组为新元古代中期,测点数为 21 个,其加权平均年龄为 $844.1 \pm 8.1 \text{ Ma}$ ($\text{MSWD} = 2.9, n = 21$)。第五组为最年轻一组,有 4 个测点(23、25、34、35)构成,其加权平均年龄为 $784 \pm 11 \text{ Ma}$ ($\text{MSWD} = 0.13, n = 4$) (图 7b),该年龄应是通山莲沱组最大沉积年龄。

样品 TS-1 的锆石多为短柱到长柱状,长 50~160 μm 。阴极发光(CL)图像中,锆石岩浆振荡环带结构清晰(图 5)。选择其中较为典型的 24 颗锆石进行了 U-Pb 同位素年龄测定,分析结果见表 1。分析点的 U 和 Th 质量分数变化范围分别为 $88 \times 10^{-6} \sim 313 \times 10^{-6}$ 和 $115 \times 10^{-6} \sim 508 \times 10^{-6}$,Th/U 比值为 0.85~2.17,与岩浆成因锆石特征一致。在 U-Pb 年龄谐和图上,谐和度较高($\geq 93\%$)的 19 个测点均落在

表1 赣东北上饶华坛甘岭剖面上砾组顶部英安岩、休宁组中部沉凝灰岩、鄂东南通山石门塘剖面莲沱组底部含砾石英砂岩、中部沉凝灰岩错石 LA-ICP-MS 定年数据表

Table 1 LA-ICP-MS dating results of zircons from the dacite at the topmost of the Shangshu Formation, the middle of the Xiuning Formation on the Ganling section, Shangrao City, northeastern Jiangxi Province; and from the sandstone at the bottom of the Liantuo Formation, the sedimentary tuff in the middle of the Liantuo Formation on the Shimantang section, Tongshan County, southeastern Hubei Province

测点 点号	元素含量($\times 10^{-6}$)			同位素比值						同位素年龄(Ma)											
	^{232}Th	^{238}U	Pb_{e}	$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$			$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$			$\frac{n(^{208}\text{Pb})}{n(^{232}\text{Th})}$			$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{235}\text{U})}$								
				测值	1σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ						
GL-1:赣东北上饶华坛甘岭剖面上砾组顶部英安岩																					
1-01	47.60	95.01	0.00	0.50	0.0663	0.0035	1.1617	0.0584	0.1275	0.0019	0.0421	0.0018	815	109	783	27.4	774	11.1	833	34.5	98
1-02	45.95	93.51	22.0	0.49	0.0681	0.0034	1.1808	0.0559	0.1267	0.0019	0.0412	0.0018	872	103.7	792	26.0	769	11.0	817	35.6	97
1-03	42.44	83.59	8.41	0.51	0.0655	0.0037	1.1705	0.0630	0.1301	0.0022	0.0413	0.0017	791	86.9	787	29.5	788	12.8	818	33.5	99
1-04	49.81	102.20	9.28	0.49	0.0637	0.0033	1.1425	0.0557	0.1303	0.0020	0.0387	0.0017	731	107	774	26.4	790	11.4	767	33.8	97
1-05	108.43	141.78	10.4	0.76	0.0725	0.0035	1.2466	0.0580	0.1247	0.0019	0.0351	0.0012	1011	98.9	822	26.2	757	10.6	697	23.6	91
1-06	47.87	98.72	0.73	0.48	0.0671	0.0039	1.1846	0.0675	0.1276	0.0020	0.0386	0.0017	840	119	793	31.4	774	11.7	765	32.6	97
1-07	37.19	82.87	1.66	0.45	0.0655	0.0034	1.1702	0.0589	0.1295	0.0019	0.0414	0.0017	791	108	787	27.6	785	10.6	820	33.0	99
1-08	39.65	83.35	0.00	0.48	0.0840	0.0057	1.4709	0.1162	0.1249	0.0039	0.0526	0.0047	1292	131	919	47.8	759	22.1	1036	90.7	80
1-09	68.87	118.90	5.76	0.58	0.0714	0.0044	1.1589	0.0699	0.1181	0.0023	0.0354	0.0017	970	131	781	32.9	720	13.2	702	32.5	91
1-10	178.93	217.60	16.0	0.82	0.0760	0.0033	1.2510	0.0569	0.1178	0.0016	0.0399	0.0015	1094	91.7	824	25.7	718	9.2	790	28.4	86
1-11	72.22	106.41	18.3	0.68	0.0990	0.0048	1.8186	0.0867	0.1330	0.0025	0.0590	0.0023	1606	86.1	1052	31.3	805	14.2	1159	43.5	73
1-12	43.86	91.26	0.34	0.48	0.0679	0.0041	1.1963	0.0762	0.1272	0.0025	0.0452	0.0020	865	127	799	35.2	772	14.1	894	38.9	96
1-13	44.87	90.35	5.98	0.50	0.0649	0.0034	1.1537	0.0564	0.1304	0.0022	0.0386	0.0017	772	110	779	26.6	790	12.4	765	34.0	98
1-14	52.29	90.52	12.4	0.58	0.0906	0.0045	1.7237	0.0870	0.1383	0.0023	0.0560	0.0023	1439	94.5	1017	32.4	835	12.9	1101	44.1	80
1-15	38.01	84.73	5.52	0.45	0.0715	0.0041	1.2722	0.0699	0.1301	0.0026	0.0367	0.0021	972	117	833	31.3	788	14.6	729	40.2	94
1-16	65.51	109.36	3.56	0.60	0.0788	0.0048	1.3767	0.0768	0.1276	0.0020	0.0422	0.0020	1166	120	879	32.8	774	11.2	835	38.1	87
1-17	52.30	95.13	0.14	0.55	0.0701	0.0048	1.2108	0.0757	0.1265	0.0022	0.0413	0.0020	931	139	806	34.8	768	12.8	818	38.5	95
1-18	42.27	86.77	11.9	0.49	0.0664	0.0039	1.1926	0.0713	0.1283	0.0022	0.0413	0.0019	820	119	797	33.0	778	12.6	818	37.8	97
1-19	52.38	101.07	2.65	0.52	0.0667	0.0034	1.1747	0.0559	0.1270	0.0022	0.0429	0.0018	828	106	789	26.1	771	12.7	849	35.4	97
1-20	135.68	161.09	5.38	0.84	0.0673	0.0028	1.2042	0.0496	0.1288	0.0020	0.0429	0.0015	850	85.2	803	22.9	781	11.5	849	29.4	97
1-21	58.39	104.16	9.60	0.56	0.0760	0.0042	1.4057	0.0823	0.1312	0.0022	0.0470	0.0020	1095	107	891	34.8	795	12.7	929	39.5	88
1-22	67.92	120.23	2.16	0.56	0.0716	0.0040	1.2754	0.0721	0.1265	0.0019	0.0426	0.0019	976	113	835	32.2	768	11.0	843	37.7	91
GL-2:赣东北上饶华坛甘岭剖面砾组顶部沉凝灰岩																					
2-01	226.52	193.96	5.03	1.17	0.0656	0.0025	1.0987	0.0418	0.1205	0.0016	0.0363	0.0012	794	75	753	20.2	734	9.2	721	23.7	97
2-02	328.61	305.89	6.27	1.07	0.0634	0.0023	1.0376	0.0386	0.1178	0.0017	0.0339	0.0009	724	71.3	723	19.3	718	9.5	675	17.1	99

测点 点 编 号	元素含量($\times 10^{-6}$)			同位素比值						同位素年龄(Ma)											
	^{232}Th	^{238}U	Pb_{e}	$\frac{\text{Th}}{\text{U}}$	$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$		$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$		$\frac{n(^{208}\text{Pb})}{n(^{232}\text{Th})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{235}\text{U})}$		$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$		$\frac{n(^{208}\text{Pb})}{n(^{232}\text{Th})}$				
				测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ				
2-03	385.82	386.67	12.68	1.00	0.0831	0.0033	1.3945	0.0644	0.0018	0.0384	0.0013	1272	78	887	27.3	725	10.6	761	25.2	79	
2-04	343.82	381.06	2.82	0.90	0.0733	0.0028	1.2730	0.0482	0.0020	0.0403	0.0011	1033	78	834	21.5	762	11.3	799	21.4	91	
2-05	371.47	344.78	17.81	1.08	0.0906	0.0073	1.5962	0.1607	0.0026	0.0444	0.0031	1439	155	969	62.8	728	14.9	878	59.3	71	
2-06	237.96	274.25	2.53	0.87	0.0628	0.0021	1.0714	0.0340	0.1234	0.0014	0.0371	0.0010	702	70.4	739	16.7	750	8.0	736	19.2	98
2-07	153.28	180.82	9.97	0.85	0.0821	0.0045	1.3302	0.0672	0.1188	0.0019	0.0395	0.0013	1247	107	859	29.3	723	10.9	784	25.3	82
2-08	221.05	259.63	1.99	0.85	0.0629	0.0020	1.0525	0.0333	0.1212	0.0013	0.0357	0.0009	706	68.5	730	16.5	737	7.7	709	17.2	99
2-09	217.70	251.27	8.35	0.87	0.0733	0.0025	1.1872	0.0388	0.1178	0.0014	0.0369	0.0010	1033	73.2	795	18.0	718	8.3	733	18.7	89
2-10	240.22	254.81	4.54	0.94	0.0664	0.0020	1.0953	0.0341	0.1192	0.0013	0.0357	0.0009	820	64.8	751	16.6	726	7.4	708	17.0	96
2-11	197.70	243.90	1.90	0.81	0.0639	0.0023	1.0578	0.0355	0.1206	0.0016	0.0338	0.0009	739	75.9	733	17.5	734	9.3	673	16.9	99
2-12	422.77	393.10	8.06	1.08	0.0789	0.0032	1.3233	0.0615	0.1193	0.0013	0.0373	0.0010	1170	81	856	26.9	726	7.3	740	19.8	83
2-13	168.21	182.77	1.86	0.92	0.0701	0.0025	1.1414	0.0403	0.1184	0.0014	0.0351	0.0009	931	77.9	773	19.1	721	7.8	698	16.8	93
2-14	114.12	141.73	6.10	0.81	0.0887	0.0052	1.4928	0.0890	0.1209	0.0015	0.0387	0.0012	1398	113	927	36.3	735	8.6	768	24.1	76
2-15	197.38	223.96	0.60	0.88	0.0673	0.0025	1.1059	0.0402	0.1199	0.0015	0.0351	0.0009	848	77.8	756	19.4	730	8.4	697	18.5	96
2-16	495.77	361.80	2.58	1.37	0.0670	0.0020	1.1085	0.0315	0.1197	0.0013	0.0343	0.0008	839	61.1	757	15.2	729	7.6	681	16.1	96
2-17	160.07	157.09	1.10	1.02	0.0698	0.0024	1.2033	0.0421	0.1245	0.0016	0.0371	0.0010	924	71.1	802	19.4	757	9.2	736	18.6	94
2-18	210.39	195.60	2.88	1.08	0.0664	0.0023	1.1139	0.0380	0.1217	0.0014	0.0349	0.0008	820	76.9	760	18.2	740	8.0	694	16.0	97
2-19	309.76	391.94	2.79	0.79	0.0640	0.0019	1.0539	0.0326	0.1185	0.0012	0.0354	0.0009	743	63.0	731	16.1	722	7.0	704	17.6	98
2-20	168.58	256.76	2.36	0.66	0.0661	0.0021	1.0889	0.0343	0.1196	0.0014	0.0366	0.0011	809	66.7	748	16.7	728	7.8	726	21.4	97
2-21	242.45	231.62	0.00	1.05	0.0670	0.0025	1.1103	0.0406	0.1210	0.0017	0.0382	0.0011	839	78	758	19.5	736	9.7	758	22.1	97
2-22	157.73	214.34	0.00	0.74	0.0680	0.0025	1.1156	0.0392	0.1190	0.0014	0.0374	0.0011	878	77	761	18.8	725	8.2	743	22.0	95
2-23	111.92	144.49	1.36	0.77	0.0693	0.0025	1.1107	0.0382	0.1170	0.0015	0.0353	0.0010	909	75.9	759	18.4	713	8.4	702	20.1	93
2-24	171.99	196.74	3.83	0.87	0.0748	0.0024	1.2870	0.0418	0.1250	0.0016	0.0412	0.0010	1062	66.7	840	18.6	759	9.2	815	19.6	89
2-25	138.23	157.44	2.20	0.88	0.0619	0.0028	1.0166	0.0460	0.1194	0.0017	0.0369	0.0011	733	98	712	23.2	727	10.0	733	21.2	97
2-26	229.76	294.89	6.15	0.78	0.0787	0.0033	1.3007	0.0616	0.1180	0.0015	0.0391	0.0014	1166	87	846	27.2	719	8.5	775	28.1	83
2-27	247.24	264.71	11.14	0.93	0.0787	0.0031	1.3254	0.0509	0.1217	0.0012	0.0386	0.0010	1165	79.6	857	22.2	740	6.9	766	20.2	85
2-28	100.83	98.95	4.18	1.02	0.0660	0.0026	1.1395	0.0436	0.1250	0.0016	0.0365	0.0009	809	81.5	772	20.7	759	8.9	725	18.3	98
2-29	133.60	151.97	1.08	0.88	0.0643	0.0025	1.0935	0.0441	0.1232	0.0018	0.0358	0.0010	750	83.3	750	21.4	749	10.2	710	19.1	99

TSP-15: 鄂东南通山龙门塘剖面莲沱组底部含砾石英砂岩

测点 编号	元素含量($\times 10^{-6}$)			同位素比值						同位素年龄(Ma)				
	^{232}Th	^{238}U	Pb_e	$\frac{\text{Th}}{\text{U}}$	$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$		$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$		$\frac{n(^{208}\text{Pb})}{n(^{232}\text{Th})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$	$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{235}\text{U})}$	$\frac{n(^{208}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$	$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{232}\text{Th})}$
					测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ
15-05	106.24	129.32	35.71	0.82	0.0681	0.0025	1.2689	0.0495	0.1341	0.0022	0.0391	0.0014	872	75.9
15-06	175.04	146.58	42.09	1.19	0.0672	0.0025	1.3419	0.0511	0.1439	0.0019	0.0392	0.0011	843	75.9
15-07	222.89	186.64	0.00	1.19	0.0683	0.0021	1.4223	0.0453	0.1504	0.0018	0.0418	0.0010	877	64.8
15-08	130.82	154.63	14.16	0.85	0.0683	0.0021	1.4614	0.0441	0.1552	0.0018	0.0437	0.0012	876	64.8
15-09	128.19	115.21	87.70	1.11	0.0670	0.0025	1.3097	0.0499	0.1418	0.0018	0.0427	0.0012	839	75.0
15-10	673.99	247.61	97.56	2.72	0.0724	0.0021	1.3786	0.0408	0.1379	0.0014	0.0413	0.0010	996	27.3
15-11	199.08	180.98	197.68	1.10	0.0671	0.0026	1.3070	0.0502	0.1419	0.0019	0.0409	0.0014	843	76.9
15-12	85.21	102.48	37.27	0.83	0.0773	0.0034	1.6719	0.0719	0.1579	0.0021	0.0475	0.0019	1128	87.0
15-13	127.89	141.53	0.00	0.90	0.0690	0.0024	1.5547	0.0563	0.1622	0.0019	0.0469	0.0015	898	70.4
15-14	139.35	129.89	81.00	1.07	0.0685	0.0024	1.3121	0.0425	0.1387	0.0016	0.0384	0.0010	883	70.4
15-15	899.92	287.63	0.00	3.13	0.1816	0.0042	13.2013	0.3054	0.5222	0.0058	0.1390	0.0039	2668	38.6
15-16-1	127.38	142.67	24.00	0.89	0.0652	0.0023	1.2566	0.0441	0.1382	0.0017	0.0394	0.0009	789	73.0
15-16-2	593.90	251.46	369.15	2.36	0.0885	0.0033	1.8589	0.0697	0.1511	0.0020	0.0501	0.0014	1392	70.5
15-17	275.52	125.86	253.12	2.19	0.0750	0.0037	1.4653	0.0691	0.1418	0.0021	0.0443	0.0014	1133	98.2
15-18	192.17	108.96	137.12	1.76	0.0655	0.0023	1.2487	0.0436	0.1370	0.0020	0.0406	0.0011	791	70.2
15-19	449.12	240.77	258.15	1.87	0.0643	0.0036	1.2489	0.0710	0.1390	0.0023	0.0401	0.0016	750	118.5
15-20	198.26	148.64	184.39	1.33	0.0858	0.0028	2.6270	0.1068	0.2118	0.0043	0.0638	0.0018	1400	64.4
15-21	320.62	305.92	142.49	1.05	0.0670	0.0023	1.3048	0.0458	0.1397	0.0016	0.0398	0.0010	839	72.2
15-22	460.85	198.65	30.96	2.32	0.0659	0.0032	1.2642	0.0592	0.1388	0.0025	0.0415	0.0016	1200	102
15-23	231.68	115.82	134.02	2.00	0.0644	0.0034	1.1502	0.0588	0.1292	0.0025	0.0392	0.0012	754	111.1
15-24	604.51	221.17	345.16	2.73	0.0673	0.0023	1.3468	0.0452	0.1449	0.0019	0.0425	0.0014	850	71.1
15-25	215.25	200.24	93.57	1.07	0.0621	0.0030	1.1125	0.0508	0.1303	0.0025	0.0402	0.0014	680	101.8
15-26	228.64	216.63	197.78	1.06	0.0655	0.0024	1.2975	0.0460	0.1438	0.0018	0.0447	0.0014	791	71.3
15-27	205.14	197.38	220.17	1.04	0.0815	0.0038	1.8758	0.0883	0.1633	0.0025	0.0613	0.0029	1232	90.9
15-28-1	251.84	163.73	271.44	1.54	0.0728	0.0017	1.4006	0.0418	0.1373	0.0022	0.0345	0.0007	1007	46.3
15-28-2	1151.64	1105.91	1.32	1.04	0.1092	0.0028	4.1137	0.1334	0.2685	0.0043	0.0768	0.0021	1787	47.1
15-29	442.19	289.73	52.29	1.53	0.0658	0.0021	1.2843	0.0412	0.1407	0.0016	0.0405	0.0010	800	66.7
15-30	536.62	295.57	187.35	1.82	0.0698	0.0030	1.2832	0.0540	0.1340	0.0017	0.0370	0.0012	924	88.9
15-31	232.09	175.89	162.99	1.32	0.0682	0.0031	1.3493	0.0607	0.1439	0.0019	0.0436	0.0014	876	89.8
15-32	301.22	158.84	34.64	1.90	0.0688	0.0036	1.3577	0.0688	0.1460	0.0023	0.0434	0.0017	894	105.
15-33	278.01	295.21	2.26	0.0654	0.0022	1.2400	0.0416	0.1374	0.0015	0.0403	0.0011	787	69.3	
15-34	710.44	302.13	210.06	2.35	0.0672	0.0033	1.1935	0.0563	0.1284	0.0019	0.0368	0.0013	856	100.0
15-35	531.16	318.57	304.37	1.67	0.0678	0.0026	1.2025	0.0455	0.1295	0.0016	0.0391	0.0012	863	76.9
15-36	566.34	284.99	57.45	1.99	0.1853	0.0037	11.9032	0.2357	0.4678	0.0047	0.1183	0.0026	2702	5.6

测点 点 编 号	元素含量($\times 10^{-6}$)			同位素比值						同位素年龄(Ma)				
	^{232}Th	^{238}U	Pb_{e}	$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$			$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$			$\frac{n(^{208}\text{Pb})}{n(^{232}\text{Th})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$		
				测值	1σ	测值	测值	1σ	测值	测值	1σ	测值	1σ	
TS-1; 鄂南通山石门塘剖面莲沱组中部沉凝灰岩														
1-01	179.59	123.89	0.44	1.45	0.0706	0.0032	1.2282	0.0559	0.1256	0.0018	0.0382	0.0009	946	
1-02	164.62	106.36	0.00	1.55	0.0670	0.0026	1.1311	0.0461	0.1215	0.0016	0.0350	0.0010	839	83.3
1-03	115.95	130.06	1.62	0.89	0.0687	0.0024	1.2003	0.0405	0.1271	0.0016	0.0381	0.0010	900	72.2
1-04	225.03	108.81	0.67	2.07	0.0688	0.0044	1.0970	0.0663	0.1166	0.0018	0.0271	0.0009	892	133.3
1-05	156.91	88.34	0.95	1.78	0.0669	0.0034	1.2589	0.0663	0.1355	0.0022	0.0401	0.0012	835	107
1-06	176.04	179.26	0.00	0.98	0.0660	0.0030	1.1633	0.0530	0.1275	0.0022	0.0402	0.0014	806	94
1-07	152.99	106.59	0.20	1.44	0.0694	0.0042	1.1430	0.0690	0.1203	0.0024	0.0348	0.0013	922	121
1-08	178.42	156.63	0.86	1.14	0.0661	0.0023	1.1911	0.0427	0.1302	0.0017	0.0401	0.0010	809	68.4
1-09	354.69	201.86	1.43	1.76	0.0687	0.0029	1.0382	0.0428	0.1095	0.0012	0.0317	0.0008	900	88.9
1-10	115.40	135.77	1.07	0.85	0.0675	0.0026	1.2047	0.0475	0.1296	0.0018	0.0374	0.0012	854	81.5
1-11	388.13	275.92	0.47	1.41	0.0653	0.0028	1.0647	0.0474	0.1184	0.0017	0.0346	0.0010	783	93
1-12	750.18	619.61	4.33	1.21	0.0836	0.0025	0.9567	0.0305	0.0826	0.0010	0.0226	0.0006	1284	55
1-13	249.10	141.32	0.45	1.76	0.0636	0.0033	1.0407	0.0533	0.1187	0.0015	0.0343	0.0009	728	108.2
1-14	339.71	156.51	0.47	2.17	0.0851	0.0052	1.1908	0.0719	0.1017	0.0017	0.0286	0.0007	1320	118.8
1-15	165.64	157.09	1.68	1.05	0.0652	0.0027	1.0790	0.0440	0.1208	0.0014	0.0383	0.0010	789	82.4
1-16	508.31	312.69	0.66	1.63	0.0674	0.0021	1.0966	0.0377	0.1176	0.0016	0.0365	0.0010	852	67
1-17	187.72	182.21	1.86	1.03	0.0662	0.0027	1.1545	0.0454	0.1266	0.0016	0.0376	0.0009	813	85.2
1-18	127.93	107.32	0.05	1.19	0.0700	0.0033	1.1647	0.0533	0.1212	0.0019	0.0372	0.0012	928	96.3
1-19	168.48	159.10	0.39	1.06	0.0670	0.0023	1.2297	0.0429	0.1325	0.0017	0.0375	0.0009	839	72.2
1-20	140.93	123.88	0.81	1.14	0.0776	0.0033	1.3778	0.0569	0.1290	0.0019	0.0391	0.0011	1136	84.1
1-21	138.83	103.96	1.85	1.34	0.0875	0.0045	1.4248	0.0650	0.1209	0.0019	0.0363	0.0010	1372	131
1-22	339.46	221.59	0.92	1.53	0.0649	0.0022	1.2253	0.0373	0.1359	0.0016	0.0383	0.0009	772	70.4
1-23	288.13	159.91	0.61	1.80	0.0687	0.0023	1.3138	0.0463	0.1373	0.0015	0.0402	0.0009	900	70.4
1-24	343.13	202.30	3.05	1.70	0.0667	0.0029	1.1521	0.0508	0.1245	0.0019	0.0371	0.0009	828	86.1

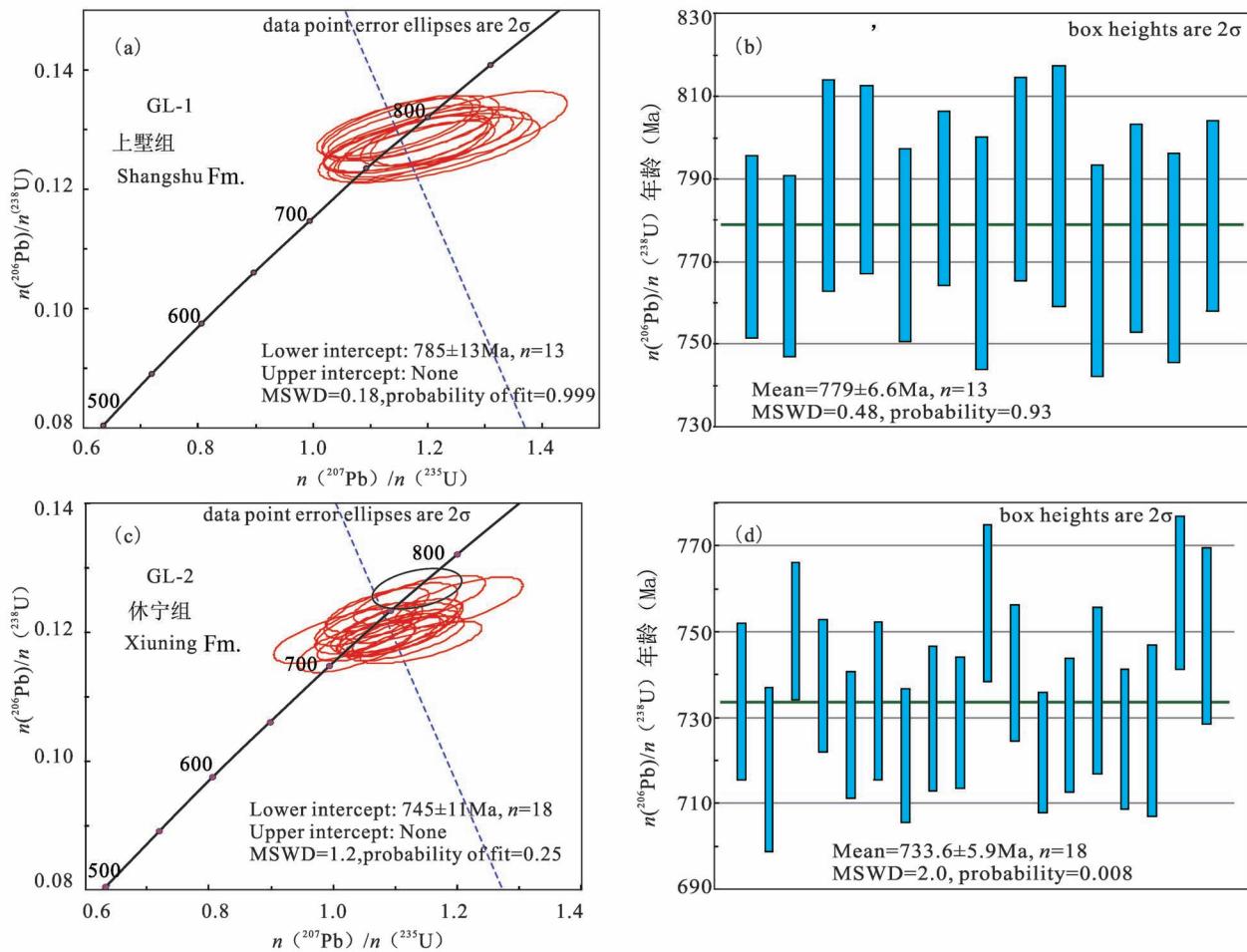


图6 赣东北上饶华坛甘岭剖面上墅组和休宁组样品锆石U-Pb定年结果

Fig. 6 Zircon U-Pb dating results of the dacite and tuff samples from the Ganling section, Huatan, Shangrao City, northeastern Jiangxi Province

一致曲线上(图7c),另外5个测点(9、12、14、20、21)均存在不同程度的Pb丢失,均位于一致线下方,虽其 $n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$ 年龄均较大(900~1372 Ma),而 $n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$ 年龄却都小于700 Ma。19个高谐和度测点大体上又可以划分为三组,第一组5个测点,加权平均年龄约为820 Ma;第二组6个测点,加权年龄约为770 Ma;而最年轻一组8个测点加权平均年龄为 727.3 ± 6.7 Ma(MSWD = 1.17, n = 8)(图7d),可代表通山莲沱组中部沉凝灰岩的沉积年龄。

4 赣北及邻区莲沱期沉积时限及大地构造背景

4.1 莲沱期沉积时限

关于莲沱组及其相当层位地层的沉积时限及其

构造属性一直存在不同认识,为解决这一问题,近年来相关学者做了不少研究和探索(张启锐等,2008;张世红等,2008;高维等,2009;崔晓庄等,2013,2016;Du Qiuding et al., 2013; Wang Di et al., 2013;汪正江等,2013a, b; Lan Zhongwu et al., 2015;邓奇等,2019; Liu Hao et al., 2019),取得基本一致的认识是,其底界沉积年龄约在780 Ma,不早于800 Ma;其顶界年龄约在720 Ma,不晚于715 Ma,即宜昌峡东莲沱组及其相当层位的沉积时限为780~720 Ma。

对于赣北及邻区的休宁组和莲沱组,本文的测试结果进一步证实其沉积时限与宜昌峡东的莲沱组相当。不论是通山石门塘剖面的莲沱组,还是上饶华坛甘岭剖面休宁组,均表明其最大沉积年龄约为780 Ma,其一段的顶界约为730 Ma(图3)、时限跨

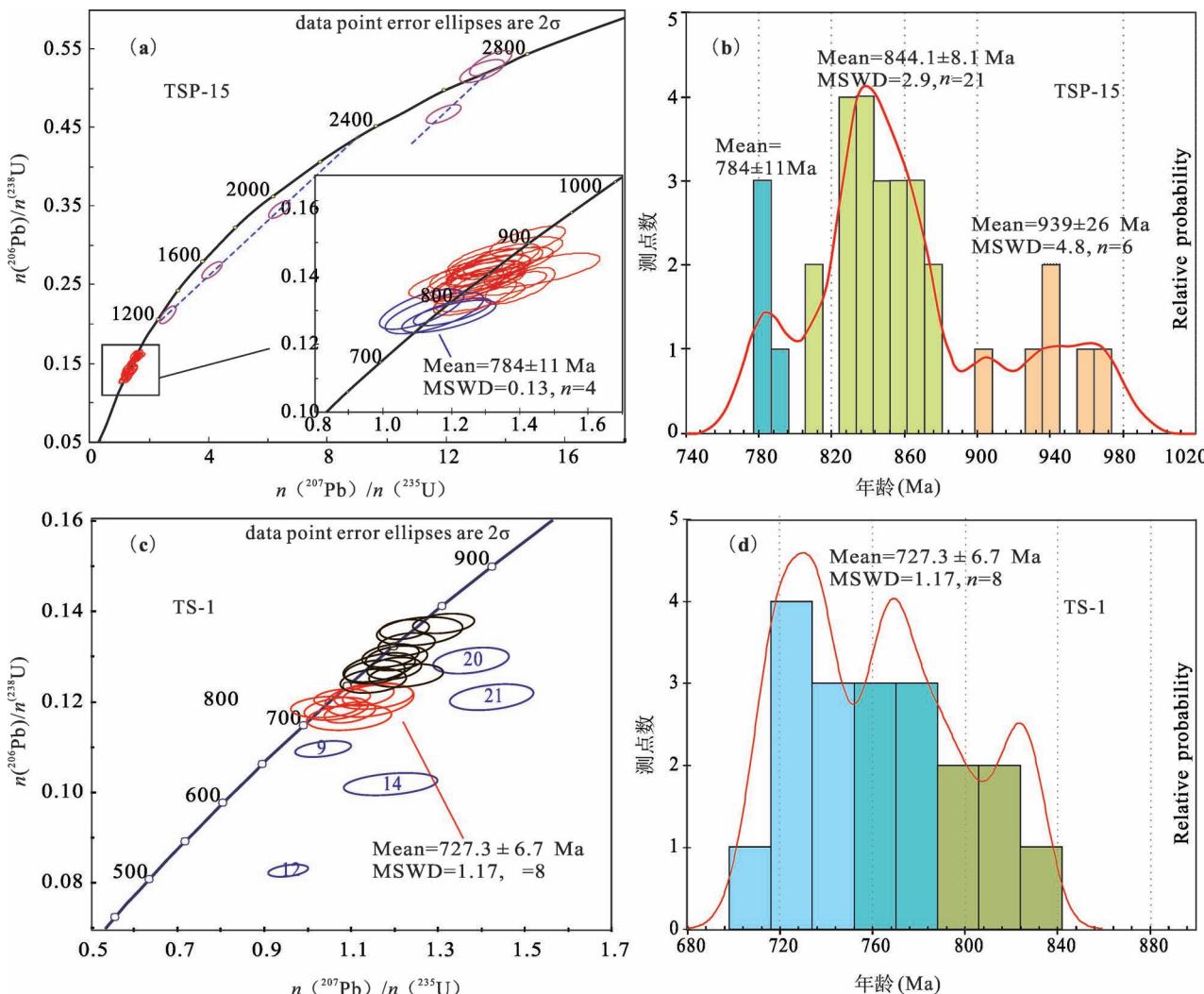


图 7 鄂东南通山石门塘剖面莲沱组砂岩和凝灰岩样品锆石 U-Pb 定年结果

Fig. 7 Zircon U-Pb dating results of the sandstone and tuff samples of the Liantuo Formation from the Shimentang section, Tongshan County, southeastern Hubei Province

度较长,而上段的沉积时限较短,这可能主要是赣北地区的休宁早期经历了较长时间的隆升剥蚀—沉降过程。这一结果与湘黔桂邻区板溪群、下江群、丹州群等上部层位的沉积时限(表 2)相似(Zhang Qirui et al., 2008b; 汪正江等, 2010, 2013a, b; Wang Xuance et al., 2012; Lan Zhongwu et al., 2014; 崔晓庄等, 2016; Song Gaoyuan et al., 2017; Liu Hao et al., 2019)。因此,扬子陆块内部的莲沱组、澄江组及其相当层位地层与东南缘板溪晚期沉积序列是同期异相地层单元,这一结论揭示板溪晚期存在广泛的区域沉降和海侵上超过程,为该套地层区域性的发育提供了可容纳空间。

需要说明的是,最近浙江建德下崖埠剖面的研究结果(邓奇等, 2019):休宁组下部沉凝灰岩年龄

为 785 Ma、顶部沉凝灰岩的沉积年龄为 727 Ma,与本次测试结果存在一定偏移(图 3)。这种偏移的原因可能有二:一是在 Sturtian 冰期中早期,建德下崖埠地区处于相对古地理高,剥蚀量较大,可能相当于华坛甘岭地区的休宁组上段部分被冰川剥蚀;二是建德地区的休宁组下部可能包含有板溪早期的沉积,因为该剖面休宁组下伏地层不是上墅组火山岩,而是双溪坞群砂质板岩(浙江省地质矿产局, 1989, 1996),沉积间断较长。当然不同批次样品,在测试和数据处理过程中,也可能出现一定的系统误差,但下崖埠剖面的测试结果与区域上莲沱期沉积时限总体一致。

4. 2 莲沱期沉积序列特征与区域对比

莲沱组的沉积时限研究较多,然而对于其沉积

表2 扬子陆块新元古代板溪晚期沉积及莲沱组的同位素年代学数据表

Table 5 statistics of the geochronological data from the sediments of the late Banxi Period and the Liantuo Formation in the middle—upper Yangtze Block

地区/剖面	样品层位	测试岩性	测试结果/Ma	文献来源
澄江凤凰山	澄江组顶部	沉凝灰岩	725±11(n=4)	崔晓庄等, 2013
宜昌三峡	莲沱组上部	凝灰岩	748±12(n=23)	马国干等, 1984
宜昌田家院子	莲沱组顶部	沉凝灰岩	724±12(n=2)	高维等, 2009
宜昌王丰岗	莲沱组上部	凝灰质粉砂岩	733±10(n=2)	Lan Zhongwu et al. , 2015
宜昌王丰岗	莲沱组下部	沉凝灰岩	776. 5±3. 8(n=33)	Lan Zhongwu et al. , 2015
石门杨家坪	莲沱组上部	沉凝灰岩	736±5. 8(n=8)	Du Qiuding et al. , 2013
京山六房嘴	莲沱组底部	沉凝灰岩	779±10(n=5)	Du Qiuding et al. , 2013
芷江牛牯坪	牛牯坪组中部	凝灰质粉砂岩	725±12(n=18)	Zhang Qirui et al. , 2008
三江高友	拱洞组顶部	凝灰质粉砂岩	716. 1±3. 4(n=7)	Lan Zhongwu et al. , 2014
罗成四堡	拱洞组顶部	凝灰质粉砂岩	715. 9±2. 8(n=14)	Lan Zhongwu et al. , 2014
罗成黄金	拱洞组中部	凝灰质粉砂岩	731. 3±4. 4(n=8)	Wang Xuance et al. , 2012
罗成龙岸	拱洞组顶部	凝灰质粉砂岩	728. 3±5. 3(n=7)	Liu Hao et al. , 2019
三江斗江	拱洞组顶部	沉凝灰岩	716. 8±6. 8(n=7)	Liu Hao et al. , 2019
龙胜瓢里	拱洞组顶部	沉凝灰岩	734±7(n=10)	汪正江等, 2013
黎平敦寨	隆里组顶部	沉凝灰岩	733±18(n=4)	汪正江等, 2013
张家界四都坪	五强溪组顶部	凝灰质细砂岩	714. 6±5. 2(n=5)	Song Gaoyuan et al. , 2017
建德下崖埠	休宁组上部	凝灰质岩	727. 5±7. 3(n=7)	邓奇等, 2019
祁门历口铺岭	休宁组底部	复成分砂砾岩	763±10 Ma(n=7)	Wang Di et al. , 2013
建德下崖埠	休宁组底部	凝灰质岩	780±10 Ma	尹崇玉等, 2007

序列及其区域对比研究相对较少。这也是相关地质问题一直没有获得很好解决的主要原因。根据宜昌王丰岗剖面分析, 虽然莲沱组均是较浅水沉积, 但总体上发育有两个沉积旋回、10小层(刘鸿允, 1991)。第一个旋回相对完整, 为1~8小层, 总厚58.5 m, 为滨岸相砂砾岩—含砾砂岩—粗砂岩—中细砂岩—粉砂质岩—泥页岩等向上变细的序列, 砾石主要为石英砾, 分选与磨圆均较好, 砂岩中发育多种沉积构造, 具有明显的牵引流沉积特征; 第二旋

回, 为9~10小层, 总厚13 m, 其中一下部含砾砂岩—砂岩层达12 m, 上部粉砂泥质岩仅1 m, 其上即为南沱组冰碛砾岩, 表明该旋回上部不完整。这一特征可能与该地区沉降幅度较小、水体浅, 受后期冰川活动的刨蚀作用较强有关。实际上, 这一情形与同处于扬子克拉通内的长阳佑溪和通山石门塘剖面相似(表3)。

最近, 通山四斗朱剖面成了鄂东南莲沱组研究的代表性剖面(宋芳等, 2016)。该剖面位于大幕山背斜东南翼, 通山县城北约5 km 四斗朱水库旁公路边。相比于背斜北侧的石门塘剖面, 四斗朱剖面地层完全出露, 界线清楚, 层序完整, 交通方便。

该剖面莲沱组厚365.45 m, 为紫红色、青灰色厚—中层状细砂岩、砂岩、砾岩为主, 夹凝灰岩、

凝灰质粉砂岩、薄层粉砂岩等。下部(1~4层)为夹杂紫红色绢白云化细粒凝灰岩的肉红色、青灰色块状—厚层石英细砾岩、变质中粗粒石英砂岩, 为砾岩→粗砂岩→中细砂岩韵律沉积, 可划分出10个韵律, 单个韵律厚约4.5~6.5 m, 总体表现为河道相退积序列, 厚34.12 m。上部(5~31层)为紫红色厚层中—粗砂岩逐渐变化为灰绿色、紫红色厚层中—细砂岩, 偶见粉砂岩、沉凝灰质千枚岩、千枚状

表3 鄂—赣—浙地区莲沱组/休宁组沉积序列及沉积韵律特征对比表

Table 6 Correlation of sedimentary successions of the Liantuo Formation in the adjacent regions of Hubei—Jiangxi—Zhejiang Provinces

剖面	莲沱王丰岗①	长阳佑溪②	通山石门塘③	华坛甘岭④	建德下崖埠⑤
上段/ 旋回2	含砾粗砂岩—细砂岩— 凝灰质砂岩, 厚13 m	凝灰质中砂岩—凝 灰质粉砂岩, 厚107 m	中细砂岩—粉砂质岩— 硅质岩, 厚79 m	中细粒砂岩—粉砂质岩— 硅质岩—泥页岩, 厚888 m	中粗砂岩—凝灰岩—硅 质岩—粉砂质岩, 厚557 m
下段/ 旋回1	砾岩—含砾砂岩—粗砂 岩—凝灰质岩—泥页 岩, 厚58.5 m	砂砾岩—长石石英 砂岩—凝灰岩—凝 灰细砂岩, 厚200 m	砂砾岩—中粗粒砂岩— 粉砂—细砂岩—粉砂质 泥页岩, 厚171 m	复成分砾岩—含砾杂砂 岩—粉砂质岩—凝灰岩— 粉砂质岩—泥页岩, 厚684 m	复成分砾岩—中粗砂 岩—凝灰质岩—硅质岩, 厚439 m
上下旋回 厚度比	0.22	0.53	0.46	1.29	1.26

注:资料来源:①—刘鸿允, 1991; ②—湖北省地质调查院, 2019; ③—湖北省地质矿产局, 1990; ④—江西省地质矿产局, 1997;

⑤—浙江省地质矿产局, 1989, 1996。

变余层状沉凝灰岩及熔结凝灰岩,为粗(中)砂岩→粉砂岩韵律沉积,单个韵律厚约0.1~3.0 m。从底部到顶部为河流相到浅海相过渡的沉积序列,形成了大量的水平层理、平行层理和板状斜层理(宋芳等,2016)。从沉积演化的阶段性看,15层及以上,随着水体变深,其沉积环境也发生了明显变化,紫红色消失,并逐渐加深为深灰色至灰黑色,沉积构造也逐渐趋于单调的水平层理(水动力随之变弱)。

另外,赣西北及鄂东南通山地区莲沱组中部相对发育凝灰岩层,这是一个很好的区域对比标志,也反映出其沉积期仍存在一定程度的火山活动。

相比较而言,上饶华坛甘岭剖面和建德下崖埠剖面,上下旋回的厚度相当,且上段厚度还稍大些(表3,图3)。这可能与两剖面所处的构造位置与莲沱组相区不同所致。华坛甘岭和下崖埠剖面处于江南隆起的南侧,紧邻南侧的江绍断裂和萧山—球川断裂及西侧的弋阳—德兴—歙县断裂。特别是弋阳—德兴断裂带,杨明桂等(2012, 2015)认为其不仅是华南洋的俯冲消减带(发育有新元古代早期的东乡—德兴蛇绿岩片、伏川蛇绿岩片),820 Ma后,又叠加发育有新元古代中期至早古生代的深水裂陷海槽。而萍乡—江山—绍兴断裂带则通常也认为是新元古代南华裂谷的主体(杨明桂等, 2012; 王剑等, 2019),因此,这些深大断裂,在新元古代中期活动性较强,也是区域地层区划与古地理单元的重要边界,对邻区的沉积具有明显的控制作用。

上墅组火山岩活动后,浙—赣邻区可能沉降幅度较大,水体较深,且受同沉积深大断裂影响,是形成华坛甘岭和建德下崖埠休宁组沉积厚度大、保存相对完整,且发育多层硅质岩层(可能与海底热液有关)的主要原因。

根据目前的研究进展,笔者等认为莲沱期(板溪晚期)沉积序列大体上可以划分为4类:

(1)河流—三角洲沉积序列,例如上扬子滇中地区的澄江组(江新胜等, 2012; 卓皆文等, 2013)、中扬子地区鄂西地区和鄂—赣邻区的莲沱组(宋芳等, 2016)、下扬子的皖南地区的休宁组(Wang Di et al., 2013)等,是扬子陆块内部的区域沉降充填序列。

(2)三角洲—浅海陆棚沉积序列,以湘黔桂邻区的高润群、下江群、丹州群上部地层序列为代表(汪正江等, 2013, 2015),是南华裂谷湘—黔—桂盆地相对深水相区的充填序列。

(3)冲洪积扇—扇三角洲沉积序列,以大洪山地区为代表,是陆块内局部断陷的典型序列(Du Qiuding et al., 2013)。

(4)冲洪积扇—浅海陆棚沉积序列,以赣东北上饶甘岭剖面为代表,是受同沉积断裂控制的快速沉降充填序列。

4.3 莲沱期沉积大地构造属性

根据上述讨论及前人研究(表2),华南扬子地区莲沱期沉积在区域上分布是广泛的、可对比的,与湘—黔—桂邻区的板溪群、丹州群及下江群的上部序列也是相当的(汪正江等, 2015; 周传明, 2016),显示其与板溪早期各沉积单元分布局限、沉积分异较大的特征明显不同,说明板溪早期和晚期的沉积盆地动力学机制是有差异的。

与华夏陆块、澳洲陆块等碰撞拼合(~820 Ma)后,位于Rodinia超大陆中央(Li Zhengxiang et al., 2008)的扬子陆块,在Rodinia地幔柱(Plume)携带的大量热流作用下,加上随俯冲板片带入的大量地层水,加剧了刚刚完成拼接的陆块边缘下地壳的快速熔融,导致扬子陆块周缘(东南缘、西缘、北缘)近似同期爆发了大规模幕式(~820 Ma, ~800 Ma, ~780 Ma)、双峰式火山岩浆作用(Li Zhengxiang et al., 1999, 2003; Wang Jian et al., 2003; 汪正江等, 2010; 杨菲等, 2012; Wang Xuance et al., 2012; Song Gaoyuan et al., 2017),形成多个火成岩省(浙—皖—赣—湘—桂北、汉南、康滇等),并伴随着大量火山喷发(桃源组、上墅组、马涧桥组、井潭组、苏雄组、开间桥组、铁船山组、大石沟组等等),华南裂谷系随即开启(~820 Ma)并被快速充填了大量碎屑岩—火山碎屑岩不规则交互混杂的低成熟度的复杂岩石组合。

至780 Ma后,扬子陆块除北缘仍有规模性火山活动外,整体开始趋于平静,开启了一个新的沉积演化阶段—区域热沉降阶段(sagging basin),这就是莲沱组沉积的大地构造背景。这一构造背景也就决定了莲沱组的沉积环境和沉积相组合。由于区域性沉降,导致可容纳空间的快速增加,除局部受断裂带控制外,总体上物源相对匮乏,使莲沱组的早期沉积分布广泛、成熟度较高、沉积分异小(主体为异地滨岸相浅水沉积(Wang Jian et al., 2003))。异地滨岸相沉积的水动力作用强,发育多种沉积构造,如多种交错层理、斜层理、波状层理等等(图3)。

由此可见,从全球Rodinia超大陆裂解及其伴随的大规模火山岩浆活动,到全球性“雪球事件”

(Zhang Qirui et al., 2008b; Hoffman and Li, 2009; Macdonald et al., 2010) 的形成,这是一个“冰与火”的巨大转换,期间出现了一个相对平静期,其沉积序列在整个扬子陆块内是可对比的,沉积时限约在 780~720 Ma(不晚于 715 Ma)。因此,莲沱组及其相当层位地层是在 Rodinia 超大陆裂解背景下,大规模、幕式、双峰式岩浆活动(Li Zhengxiang et al., 1999, 2003, 2008; Ling Wenli et al., 2003; Li Xianhua et al., 2008; 汪正江等, 2010; 杨菲等, 2012)晚期、区域沉降作用形成的,这一盆地动力学机制自然造就了其沉积的区域广泛性和区域可对比性。从这个意义上讲,该套沉积序列也是一个事件沉积,是一次关键事件(Key-event)的沉积响应。

4.4 赣北及邻区新元古代地层格架重建

基于上述讨论,我们不难发现,峡东莲沱组、石门渫水河组、建德休宁组的沉积时限和沉积构造属性已基本明确。在扬子陆块内,浙—皖—赣邻区的莲沱组(休宁组)与宜昌莲沱组、滇中澄江组及湘—黔—桂地区的板溪群及其相当地层的上部沉积时限

大体相当(表 4),为南华冰期开启前,在区域热沉降背景下,南华裂谷系的第一套区域性展布的裂谷盖沉积,其沉积时限约为 780~720 Ma。

莲沱期沉积主体为河流—三角洲或异地滨岸—浅海陆棚沉积序列,各类牵引流沉积构造发育,区域展布基本稳定,区域可对比性好,且并未发现明确的冰川或冰水重力流沉积宏观特征,当归入“板溪系”(820~720 Ma; 汪正江等, 2016; 王剑等, 2019)沉积序列宜。在新元古代地层格架中,莲沱期沉积处于江口冰期或长安冰期之下,属于板溪晚期区域沉降、海侵上超沉积序列,因此,扬子陆块内的莲沱组、休宁组与扬子东南缘的南华系长安组、江口组等为上下关系(张启锐, 2014; 张启锐等, 2016; 陈建书等, 2020)、非可对比的同期异相关系(汪正江等, 2013a, 2015, 2016)。需要说明的是,在扬子陆块内的峡东及赣北邻区,长安冰期总体为大陆冰盖环境,缺失沉积(表 4),因此,这里的古城组或下崖埠组(刘鸿允, 1991; 张启锐等, 1993)等冰成沉积可能不等同于湘—黔—桂邻区的长安组,而是富禄

表 4 赣北及邻区新元古界莲沱期沉积序列的最新划分对比表

Table 4 The latest division and correlation of the sedimentary sequence of the Liantuo time, Neoproterozoic, in northern Jiangxi and its adjacent area

国际地层委员会, 2018/07		全国地层委员会, 2013		杨明桂等, 2015		宋芳等, 2016		周传明, 2016		汪正江等, 2015		王剑等, 2019		本文			
Ediacaran	埃迪卡拉系	震旦系	灯影组	震旦系	灯影组	震旦系	灯影组	震旦系	灯影组	震旦系	灯影组	震旦系	灯影组	震旦系	灯影组		
Cryogenian	成冰系	南华系	南沱组	上统	南沱组	上统	南沱组	南统	南沱组	南统	南沱组	南统	雷公坞组	南华系	雷公坞组		
			大塘坡组	中统	大塘坡组	中统	大塘坡组	南华系	大塘坡组	南华系	富禄组	大塘坡组	雷公坞组	洋安组#	洋安组#		
			古城组	统	古城组	统	古城组	南华系	江口组	南华系	古城组	南华系	雷公坞组	下崖埠组#	下崖埠组#		
Tonian	拉伸系	系	莲沱组	下统	莲沱组	下统	莲沱组	青白口系	莲沱组	青白口系	莲沱组	青白口系	莲沱组	雷公坞组	莲沱组		
			富禄组	下统	休宁组	下统	休宁组	青白口系	休宁组	青白口系	休宁组	青白口系	休宁组	雷公坞组	莲沱组	莲沱组	
			长安组	下统	休宁组	下统	休宁组	青白口系	休宁组	青白口系	休宁组	青白口系	休宁组	雷公坞组	莲沱组	莲沱组	
			板溪群	登山群	登山群	登山群	登山群	登山群	登山群	登山群	登山群	登山群	登山群	雷公坞组	莲沱组	莲沱组	
			青白口系	下统	双桥山群	下统	双桥山群	青白口系	双桥山群	青白口系	双桥山群	青白口系	双桥山群	雷公坞组	莲沱组	莲沱组	
1000 Ma		冷家溪群		双桥山群		冷家溪群		双桥山群		冷家溪群		双桥山群		冷家溪群		冷家溪群	

注: ??表示有待明确或确定; 鱼鳞充填表示有地层缺失。

间冰期内的一次较小规模成冰事件的沉积记录(汪正江等, 2015, 2016)。

5 结论

在前期和前人研究基础上, 本文着重对赣北及邻区莲沱组和休宁组典型剖面进行了沉积学和同位素年代学的再研究, 研究成果再次验证和深化了我们关于莲沱组的主要认识:

(1) 赣北及邻区莲沱组(休宁组)沉积时限为 780 ~ 720 Ma, 为板溪晚期沉积序列。

(2) 赣北莲沱组(休宁组), 与滇中澄江组、峡东莲沱组相似, 主体为河流—三角洲或异地滨岸—浅海陆棚沉积序列, 无冰川或冰水沉积特征, 且早于南华系长安(江口)冰期沉积(启动不早于 720 Ma), 因此, 他们不是可对比的同期异相地层序列。

(3) 扬子陆块内, 板溪晚期是一个相对平静的沉积大地构造背景, 区域性的热沉降作用使板溪晚期沉积呈现出区域性展布特征, 形成了南华冰期开启前南华裂谷系的第一套盖层沉积。

致谢:本文年代学样品测试得到了中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室胡兆初教授的大力支持; 成文过程中曾与王剑研究员、邓奇博士、熊国庆博士等进行了有益探讨; 同时审稿专家的建设性意见和建议为论文的进一步修改完善提供了可能, 在此一并致以诚挚谢意!

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)

- 陈建书, 戴传固, 彭成龙, 卢定彪, 王雪华, 王敏, 包立新, 张德明, 骆珊. 2016. 湘黔桂地区新元古代“下江群”地层划分对比研究——重新启用下江系的探讨. 地质论评, 62(5): 1093 ~ 1114.
- 陈建书, 代雅然, 唐烽, 彭成龙, 张嘉玮, 朱和书, 陈兴, 王文明, 龚桂源. 2020. 扬子地块周缘中元古代末—新元古代主要构造运动梳理与探讨. 地质论评, 66(3): 533 ~ 554.
- 崔晓庄, 江新胜, 王剑, 卓皆文, 熊国庆, 陆俊泽, 邓奇, 伍皓, 刘建辉. 2013. 滇中新元古代澄江组层型剖面锆石 U-Pb 年代学及其地层意义. 现代地质, 27(3): 547 ~ 556.
- 崔晓庄, 江新胜, 邓奇, 王剑, 卓皆文, 任光明, 蔡娟娟, 伍皓, 江卓斐. 2016. 桂北地区丹洲群锆石 U-Pb 年代学及对华南新元古代裂谷作用期次的启示. 大地构造与成矿学, 40(5): 1049 ~ 1063.
- 邓奇, 汪正江, 杨菲, 崔晓庄, 王剑, 任光明, 周效华, 熊小辉, 蔡娟娟. 2019. 浙西北建德地区休宁组沉积时限的厘定: 来自凝灰岩锆石 U-Pb 年代学的制约. 地质学报, 93(2): 414 ~ 427.
- 樊隽轩, 李超, 侯旭东. 2018.《国际年代地层表》(2018/08 版). 地层学杂志, 42(2): 365 ~ 368.

樊隽轩, 彭善池, 侯旭东, 陈冬阳. 2015. 国际地层委员会官网与《国际年代地层表》(2015/01 版). 地层学杂志, 39(2): 125 ~ 132.

冯连君, 储雪蕾, 张启锐, 张同钢. 2003. 化学蚀变指数(CIA)及其在新元古代碎屑岩中的应用. 地学前缘, 10(4): 539 ~ 544.

冯连君, 储雪蕾, 张启锐, 张同钢, 李禾, 姜能. 2004. 湘西北南华系潇水河组寒冷气候成因的新证据. 科学通报, 49(12): 1172 ~ 1178.

冯连君, 储雪蕾, 张同钢, 黄晶. 2006. 莲沱砂岩—南华大冰期前气候转冷的沉积记录. 岩石学报, 22(9): 2387 ~ 2393.

高林志, 戴传固, 刘燕学, 王敏, 王雪华, 陈建书, 丁孝忠. 2010a. 黔东地区下江群凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地层意义. 中国地质, 37(4): 1071 ~ 1080.

高林志, 丁孝忠, 曹茜, 张传恒. 2010b. 中国晚前寒武纪年表和年代地层序列. 中国地质, 37(4): 1014 ~ 1020.

高林志, 丁孝忠, 庞维华, 张传恒. 2011. 中国中—新元古代地层年表的修正——锆石 U-Pb 年龄对年代地层的制约. 地层学杂志, 35(1): 1 ~ 7.

高维, 张传恒. 2009. 长江三峡黄陵花岗岩与莲沱组凝灰岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其构造地层意义. 地质通报, 28(1): 45 ~ 50.

湖北省地质矿产局. 1990. 湖北省区域地质志. 北京: 地质出版社.
湖北省地质调查院. 2019. 湖北省区域地质志. 北京: 地质出版社.
黄晶, 储雪蕾, 张启锐, 冯连君. 2007. 新元古代冰期及其年代. 地学前缘, 14(2): 249 ~ 256

江西省地质矿产局. 1997. 江西省岩石地层. 北京: 中国地质大学出版社.

江西省地质调查院. 2017. 江西省区域地质志. 北京: 地质出版社.
江新胜, 王剑, 崔晓庄, 卓皆文, 熊国庆, 陆俊泽, 刘建辉. 2012. 滇中新元古代澄江组锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究及其地质意义. 中国科学—地球科学, 42(10): 1496 ~ 1507.

刘鸿允, 沙庆安. 1963. 长江峡东地区震旦系新见. 地质科学, (4): 177 ~ 187.

刘鸿允, 董榕生, 李建林, 杨彦均. 1980. 论震旦系划分与对比问题. 地质科学, (4): 304 ~ 321.

刘鸿允. 1991. 中国震旦系. 北京: 科学出版社.

马国干, 李华芹, 张自超. 1984. 华南地区震旦纪时限范围的研究. 中国地质科学院宜昌地质矿产研究所刊, 8: 1 ~ 29.

全国地层委员会. 2001. 中国地层指南及中国地层指南说明书. 北京: 地质出版社.

全国地层委员会. 2014. 中国地层表. 北京: 地质出版社.
宋芳, 牛志军, 刘浩, 何垚砚, 杨文强. 2016. 鄂东南地区南华系沉积特征与接触关系: 扬子陆块内部与东南缘盆地对比的良好借鉴. 地层学杂志, 40(3): 251 ~ 260.

汪正江. 2008. 关于建立“板溪系”的建议及其基础的讨论——以黔东地区为例. 地质评论, 54(3): 296 ~ 306.

汪正江, 王剑, 段太忠, 谢渊, 卓皆文, 杨平. 2010. 扬子克拉通内新元古代中期酸性火山岩的年代学及其地质意义, 中国科学 D 辑, 40(11): 1543 ~ 1551.

汪正江, 江新胜, 杜秋定, 杨菲, 邓奇, 伍皓, 周小琳. 2013a. 湘黔桂邻区板溪期与南华冰期之间的沉积转换及其他地层学涵义. 沉积学报, 31(3): 385 ~ 395.

汪正江, 许效松, 杜秋定, 杨菲, 邓奇, 伍皓, 周晓琳. 2013b. 南华冰期的底界讨论: 来自沉积学与同位素年代学证据. 地球科学进展, 28(4): 477 ~ 489.

汪正江, 王剑, 江新胜, 孙海清, 高天山, 陈建书, 邱艳生, 杜秋定, 邓奇, 杨菲. 2015. 华南扬子地区新元古代地层划分对比研究新进展. 地质论评, 61(1): 1 ~ 22.

- 汪正江, 杜秋定, 邓奇, 杨菲. 2016. 华南扬子新元古代沉积盆地演化与古地理. 北京: 科学出版社.
- 王剑, 李献华, 刘敦一, 宋彪, 李忠雄, 高永华. 2003. 沧水铺火山岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及“南华系”底界新证据. 科学通报, 48(16): 1726 ~ 1731.
- 王剑. 2005. 华南“南华系”研究新进展——论南华系地层划分与对比. 地质通报, 24(6): 491 ~ 495.
- 王剑, 潘桂棠. 2009. 中国南方古大陆研究进展与问题评述. 沉积学报, 27(5): 818 ~ 825.
- 王剑, 江新胜, 卓皆文, 崔晓庄, 江卓斐, 魏亚楠, 蔡娟娟, 廖忠礼. 2019. 华南新元古界裂谷盆地演化与岩相古地理. 北京: 科学出版社.
- 王自强, 尹崇玉, 高林志, 唐烽, 柳永清, 刘鹏举. 2006. 宜昌三斗坪地区南华系化学蚀变指数特征及南华系划分、对比的讨论. 地质论评, 52(5): 577 ~ 585.
- 杨菲, 汪正江, 王剑, 杜秋定, 邓奇, 伍浩, 周晓琳. 2012. 华南西部新元古代中期沉积盆地性质及其动力学分析. 地质论评, 58(5): 854 ~ 864.
- 杨明桂, 祝俊平, 熊清华, 毛素斌. 2012. 中—新元古代华南裂谷系的格局及其演化. 地质学报, 86(9): 1367 ~ 1375.
- 杨明桂, 吴富江, 宋志瑞, 吕少俊. 2015. 赣北: 华南地质之窗. 地质学报, 89(2): 222 ~ 233.
- 尹崇玉, 刘敦一, 高林志, 王自强, 邢裕盛, 简平, 石玉若. 2003. 南华系底界与古城冰期的年龄: SHRIMP II 定年证据. 科学通报, 48: 1721 ~ 1725.
- 尹崇玉, 柳永清, 高林志, 王自强, 唐烽, 刘鹏举. 2007. 震旦(伊迪卡拉)纪早期磷酸盐化生物群—瓮安生物群特征及其环境演化. 北京: 地质出版社.
- 尹崇玉, 高林志. 2013. 中国南华系的范畴、时限及地层划分. 地层学杂志, 37(4): 534 ~ 541.
- 张启锐, 刘鸿允, 陈孟莪, 鲁刚毅. 1993. 皖南震旦系冰期地层的再认识. 地层学杂志, 17(3): 186 ~ 193.
- 张启锐, 储雪雷. 2007. 南华系建系问题探讨. 地层学杂志, 31(3): 321 ~ 327.
- 张启锐, 储雪雷, 冯连君. 2008. 南华系“渫水河组”的对比及其冰川沉积特征的探讨. 地层学杂志, 32(3): 19 ~ 25.
- 张启锐. 2014. 关于南华系底界年龄 780 Ma 数值的讨论. 地层学杂志, 38(3): 336 ~ 339.
- 张启锐, 兰中伍. 2016. 南华系、莲沱组年龄问题的讨论. 地层学杂志, 40(3): 297 ~ 301.
- 张世红, 蒋干清, 董进, 韩以贵, 吴怀春. 2008. 华南板溪群五强溪组 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学新结果及其构造地层学意义. 中国科学, 38(12): 1496 ~ 1503.
- 浙江省地质矿产局. 1989. 浙江省区域地质志. 北京: 地质出版社.
- 浙江省地质矿产局. 1996. 浙江省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 浙江省地质调查院, 2019. 浙江省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1 ~ 1267.
- 周传明. 2016. 扬子区新元古代前震旦纪地层对比. 地层学杂志, 40(2): 120 ~ 135.
- 卓皆文, 江新胜, 王剑, 崔晓庄, 熊国庆, 陆俊泽, 刘建辉, 马铭珠. 2013. 华南扬子古大陆西缘新元古代康滇裂谷盆地的开启时间与充填样式. 中国科学: 地球科学, 43: 1952 ~ 1963.
- All China Commission of Stratigraphy. 2001. China Stratigraphic Guide and China Stratigraphic Guide. Beijing: Geological Publishing House.
- All China Commission of Stratigraphy. 2014. China Stratigraphic Chart. Beijing: Geological Publishing House.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Hubei Province. 1990&. Regional Geology of Hubei Province. Beijing: Geological Publishing House.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Jiangxi Province. 1997#. Stratigraphy (Lithostratigraphic) of Jiangxi Province. Wuhan: China University of Geosciences Press.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Zhejiang Province. 1989&. Regional Geology of Zhejiang Province. Beijing: Geological Publishing House.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Zhejiang Province. 1996#. Stratigraphy (Lithostratigraphic) of Zhejiang Province. Wuhan: China University of Geosciences Press.
- Chen Jianshu, Dai Chuangu, Peng Chenglong, Lu Dingbiao, Wang Xuehua, Wang Min, Bao Lixin, Zhang Deming, Luo Shan. 2016&. Study on stratigraphical division and correlation of the Neoproterozoic “Xiajiang Group” in Hunan, Guizhou and Guangxi province: discuss on the reboot of Xiajiang System. Geological Review, 62(5): 1093 ~ 1114.
- Chen Jianshu, Dai Yaran, Tang Feng, Peng Chenglong, Zhang Jiawei, Zhu Heshu, Chen Xing, Wang Wenming, Gong Guiyuan. 2020&. Discussion on the Mesoproterozoic and Neoproterozoic major tectonic events in marginal area of the Yangtze Block. Geological Review, 66(3): 533 ~ 554.
- Cui Xiaozhuang, Jiang Xinsheng, Wang Jian, Zhuo Jiewen, Xiong Guoqing, Lu Junze., Deng Qi, Wu Hao, Liu Jianhui. 2013&. Zircon U-Pb geochronology for the stratotype section of the Neoproterozoic Chengjiang Formation in Central Yunnan and its geological significance. Geoscience, 27(3): 547 ~ 556.
- Cui Xiaozhuang, Jiang Xinsheng, Deng Qi, Wang Jian, Zhuo Jiewen, Ren Guangming, Cai Juanjuan, Wu Hao, Jiang Zhuofei. 2016&. Zircon U-Pb Geochronological Results of the Danzhou Group in Northern GuanGLi and Their Implications for the Neoproterozoic Rifting Stages in South China. Tectonophysics, 40(5): 1049 ~ 1063.
- Deng Qi, Wang Zhengjiang, Yang Fei, Cui Xiaozhuang, Wang Jian, Ren Guangming, Zhou Xiaohua, Xiong Xiaohui, Cai Juanjuan. 2019&. Depositional age of the Xiuning Formation in the Jiande area, northwestern Zhejiang Province; Constraints from U-Pb zircon tuff geochronology. Acta Geologica Sinica, 93(2): 414 ~ 427.
- Du Qiuding, Wang Zhengjiang, Wang Jian, Qiu Yansheng, Jiang Xinsheng, Deng Qi, Yang Fei. 2013. Geochronology and paleoenvironment of the pre-Sturtian glacial strata: Evidence from the Liantuo Formation in the Nanhua rift basin of the Yangtze Block, South China. Precambrian Research, 233: 118 ~ 131.
- Fan Junxuan, Peng Shanchi, Hou Xudong, Chen Dongyang. 2015&. Official website of the International Commission on Stratigraphy and the release of the International Chronostratigraphic Chart (V. 2015/01). Journal of Stratigraphy, 39(2): 125 ~ 132.
- Fan Junxuan, Li Chao and Hou Xudong. 2018&. The International Chronostratigraphic Chart (V. 2018/08). Journal of Stratigraphy, 42(4): 365 ~ 368.
- Feng Lianjun, Chu Xuelei, Zhang Qirui, Zhang Tonggang. 2003&. CIA (chemical index of alteration) and its implications in the Neoproterozoic clastic rocks. Earth Science Frontiers, 10(4): 539 ~ 544.
- Feng Lianjun, Chu Xuelei, Zhang Qirui, Zhang Tonggang, Li He, Jiang Neng. 2004&. New evidence of deposition under cold climate for the Xieshuihe Formation of the Nanhua System in northwestern

- Hunan, China. *Chinese Science Bulletin*, 49(13): 1420 ~ 1427.
- Feng Lianjun, Chu Xuelei, Zhang Tonggang, Huang Jing. 2006&. Liantuo sandstone: Sedimentary records under cold climate before the Nanhua big glaciation. *Acta Petrologica Sinica*, 22(9): 2387 ~ 2393.
- Gao Linzhi, Dai Chungu, Liu Yanxue, Wang Min, Wang Xuehua, Chen Jianshu, Ding Xiaozhong. 2010a&. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the tuffaceous bed of Xiajiang Group in Guizhou Province and its stratigraphic implication. *Geology in China*, 37(4): 1071 ~ 1080.
- Gao Linzhi, Ding Xiaozhong, Cao Qian, Zhang Chuanheng. 2010b&. New Geological time scale of Late Precambrian in China and geochronology. *Geology in China*, 37(4): 1014 ~ 1020.
- Gao Linzhi, Ding Xiaozhong, Pang Weihua, Zhang Chuanheng. 2011&. New Geologic time scale of Meso- and Neoproterozoic of China and Geochronologic constraint by SHRIMP zircon U-Pb dating. *Journal of Stratigraphy*, 35(1): 1 ~ 7.
- Gao Wei, Zhang Chuanheng. 2009&. Zircon SHRIMP U-Pb ages of the Huangling granite and the tuff beds from Liantuo Formation in Three Gorges area of Yangtze River, China and its geological significance. *Geological Bulletin of China*, 28(1): 45 ~ 50.
- Hoffman P F, Li Z X. 2009. A palaeogeographic context for Neoproterozoic glaciation. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 277: 158 ~ 172.
- Hu Zhaochu, Gao Shan, Liu Yongsheng, Hu Shenghong, Chen Haihong, Yuan Honglin. 2008. Signal enhancement in laser ablation ICP-MS by addition of nitrogen in the central channel gas. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 23: 1093 ~ 1101.
- Huang Jing, Chu Xuelei, Zhang Qirui, Feng Lianjun. 2007&. Constraints on the age of Neoproterozoic global glaciations. *Earth Science Frontiers*, 14(2): 249 ~ 256.
- Hubei Institute of Geology Survey. 2019&. *Regional Geology of Hubei Province*. Beijing: Geological Publishing House.
- Jiang Xinsheng, Wang Jian, Cui Xiaozhuang, Zhuo Jiewen, Xiong Guoqing, Lu Junze, Liu Jianhui. 2012. Zircon SHRIMP U-Pb geochronology of the Neoproterozoic Chengjiang Formation in central Yunnan Province (SW China) and its geological significance. *Science China: Earth Sciences*, 55(11): 1815 ~ 1826.
- Jiangxi Institute of Geology Survey. 2017&. *Regional Geology of Jiangxi Province*. Beijing: Geological Publishing House.
- Lan Zhongwu, Li Xianhua, Zhu Maoyan, Chen Zhongqiang, Zhang Qirui, Li Qiuli, Lu Dingbiao, Liu Yu, Tang Guoqiang. 2014. A rapid and synchronous initiation of the wide spread Cryogenian glaciations. *Precambrian Research*, 255: 401 ~ 411.
- Lan Zhongwu, Li Xianhua, Zhu Maoyan, Zhang Qirui, Li Qiuli. 2015. Revisiting the Liantuo Formation in Yangtze Block, South China: SIMS U-Pb zircon age constraints and regional and global significance. *Precambrian Research*, 263: 123 ~ 141.
- Li Xianhua, Li Wuxian, Li Zhengliang, Liu Ying. 2008. 850~790 Ma bimodal volcanic and intrusive rocks in northern Zhejiang, South China: A major episode of continental rift magmatism during the breakup of Rodinia. *Lithos*, 102: 341 ~ 357.
- Li Zhengxiang, Li Xianhua, Kinny P D, Wang Jian. 1999. The breakup of Rodinia; did it start with a mantle plume beneath South China? *Earth Planet. Sci. Lett.*, 173: 171 ~ 181.
- Li Zhengxiang, Li Xianhua, Kinny P D, Wang Jian, Zhang Shihong, Zhou Hanwen. 2003. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continents: evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia. *Precambrian Research*, 122: 85 ~ 109.
- Li Zhengxiang, Bogdanova S V, Collins A S, Davidson A, DeWaele B, Ernst R E, Fitzsimons I C W, Fuck R A, Gladkochub D P, Jacobs J, Karlstrom K E, Lu Songnian, Natapov L M, Pease V, Pisarevsky S A, Thrane K, Vernikovsky V.. 2008. Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: A synthesis. *Precambrian Research*, 160(1 ~ 2): 179 ~ 210.
- Ling Wenli, Gao Shan, Zhang Benren, Li Huimin, Liu Ying, Cheng Jianping. 2003. Neoproterozoic tectonic evolution of the northwestern Yangtze craton, South China: implications for amalgamation and break-up of the Rodinia Supercontinent. *Precambrian Research*, 122: 111 ~ 140.
- Liu Hao, Wang Zhengjiang, Deng Qi, Du Qiuding & Yang Fei. 2019. Constraints on the onset age of the Sturtian glaciation from the Southeast Yangtze Block, South China. *International Geology Review*, 61(15): 1876 ~ 1886.
- Liu Hongyun, Sha Qingan. 1963#. A new view about the Sinian System in the east of the Yangtze River Gorges. *Scientia Geologica Sinica*, (4): 177 ~ 187.
- Liu Hongyun, Dong Rongsheng, Li Jianlin, Yang Yanjun. 1980&. Problems of classification and correlation of the Sinian System. *Scientia Geologica Sinica*, (4): 304 ~ 321.
- Liu Hongyun. 1991#. *Chinese Sinian System*. Beijing: Science press.
- Liu Yongsheng, Hu Zhaochu, Gao Shan, Günther D, Xu Juan, Gao Changgui, Chen Haihong, 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard. *Chemical Geology*, 257(1 ~ 2): 34 ~ 43.
- Ma Guogang, Li Huaiqin, Zhang Zichao. 1984&. An investigation of the age limits of the Sinian System in South China. *Bull. Yichang Inst. Geol. Mineral Resources Chinese Acad. Geol. Sci.*, 8: 1 ~ 29.
- Macdonald F A, Schmitz M D, Crowley J L, Roots C F, Jones D S, Maloof A C, Strauss J V, Cohen P A, Johnston D T, Schrag D P. 2010. Calibrating the Cryogenian. *Science*, 327(5970): 1241 ~ 1243.
- Song Fang, Niu Zhijun, Liu Hao, He Yaoyan, Yang Wenqiang. 2016&. Stratigraphic sequence and contact relationship of the Nanhua System in south-eastern Hubei Province: A key to the stratigraphic correlation between the inner Yangtze region and the south eastern Basin. *Journal of stratigraphy*, 40(3): 251 ~ 260.
- Song Gaoyuan, Wang Xinqiang, Shi Xiaoying, Jiang Ganqing. 2017. New U-Pb age constraints on the upper Banxi Group and synchrony of the Sturtian glaciation in South China. *Geoscience Frontiers*, 8 (5): 1161 ~ 1173.
- Wang Di, Wang Xiaolei, Zhou Jincheng, Shu Xujie. 2013. Unraveling the Precambrian crustal evolution by Neoproterozoic conglomerates, Jiangnan Orogen: U-Pb and Hf isotopes of detrital zircons. *Precambrian Research*, 233: 223 ~ 236.
- Wang Jian, Li Xianhua, Liu Dunyi, Song Biao, Li Zhongxiong, Gao Yonghua. 2003&. SHRIMP zircon U-Pb ages for the Cangshuipu volcanic rocks and the new evidence for the bottom boundary of the Nanhuan System. *Chinese Science Bulletin*, 48(16): 1726 ~ 1731.
- Wang Jian, Li Zhengxiang. 2003. History of Neoproterozoic rift basins in South China: implications for Rodinia break-up. *Precambrian Research*, 122: 141 ~ 158.
- Wang Jian. 2005&. New advances in the study of “the Nanhuan System”—with particular reference to the stratigraphic division and correlation of the Nanhuan System, South China. *Geological Bulletin of China*, 24(6): 491 ~ 495.

- Wang Jian, Pan Guitang. 2009&. Neoproterozoic South China Palaeocontinents: An overview. *Acta Sedimentologic Sinic*, 27(5): 818 ~ 825.
- Wang Jian, Jiang Xinsheng, Zhuo Jiewen, Cui Xiaozhuang, Jiang Zhuofei, Wei Yanan, Cai Juanjuan, Liao Zhongli. 2019#. Neoproterozoic rift basin evolution and its lithofacies palaeogeography, South China. Beijing: Science Press.
- Wang Xuance, Li Xianhua, Li Zhengxiang, Li Qiuli, Tang Guoqiang, Gao Yuya, Zhang Qirui, Liu Yu. 2012. Episodic Precambrian crust growth: Evidence from U-Pb ages and Hf—O isotopes of zircon in the Nanhua Basin, central South China. *Precambrian Research*, 222 ~ 223; 386 ~ 403.
- Wang Zhengjiang. 2008&. A proposal to establish the Banxi System and discussion on its foundations—Based mainly on studies in eastern Guizhou area. *Geological Review*, 54(3): 296 ~ 306.
- Wang Zhengjiang, Wang Jian, Duan Taizhong, Xie Yuan, Zhuo Jiewen, Yang Ping. 2010. Geochronology of middle Neoproterozoic volcanic deposits in Yangtze Craton interior of South China and its implications to tectonic settings. *Science China: Earth Sciences*, 53(9): 1307 ~ 1315.
- Wang Zhengjiang, Wang Jian, Jiang Xinsheng, Sun Haiqing, Gao Tianshan, Chen Jianshu, Qiu Yansheng, Du Qiuding, Deng Qi, Yang Fei. 2015&. New progress for the stratigraphic division and correlation of Neoproterozoic in Yangtze Block, South China. *Geological Review*, 61(1): 1 ~ 22.
- Wang Zhengjiang, Jiang Xinsheng, Du Qiuding, Yang Fei, Deng Qi, Wu Hao, Zhou Xiaolin. 2013a&. Depositional Transformation from Banxi Period to Nanhua Glacial Period in Southeast Margin of Yangtze Block and its Implications to Stratigraphic Correlation. *Acta Sedimentologica Sinica*, 31(3): 385 ~ 395.
- Wang Zhengjiang, Xu Xiaosong, Du Qiuding, Yang Fei, Deng Qi, Wu Hao, Zhou Xiaolin. 2013b&. Discussion on the bottom of Nanhua System: Evidences from sedimentology and isotopic geochronology. *Advances in Earth Science*, 28(4): 477 ~ 489.
- Wang Zhengjiang, Du Qiuding, Deng Qi, Yangfei. 2016#. Evolution and paleogeography of Neoproterozoic sedimentary basin in Yangtze, South China. Beijing: Science Press.
- Yang Fei, Wang Zhengjiang, Wang Jian, Du Qiuding, Deng Qi, Wu Hao, Zhou Xiaolin. 2012&. An analysis on property and dynamics of the middle Neoproterozoic sedimentary basin in western of South China: Constraint from the sedimentary data of Danzhou Group in Northern Guangxi. *Geological Review*, 2012, 58(5): 854 ~ 864.
- Yang Minggui, Zhu Hunping, Xiong Qinghua, Mao Subin. 2012&. Structural patterns and evolution of the middle-Neoproterozoic South China Rift. *Acta Geologica Sinic*, 86(9): 1367 ~ 1375.
- Yang Mingui, Wu Fujiang, Shong Zhirui, Lu Shaojun. 2015&. North Jiangxi: A geological window of South China. *Acta Geologica Sinic*, 89(2): 222 ~ 233.
- Yin Chongyu, Liu Yongqing, Gao Linzhi, Wang Ziqiang, Tang Feng, Liu Pengju. 2007&. Phosphatized biota in early Sinian (Ediacaran)—Weng'an biota and its environment. Beijing: Geological Publishing House.
- Yin Chongyu, Liu Dunyi, Gao Linzhi, Wang Ziqiang, Xing Yusheng, Jian Ping and Shi Yuruo. 2003. Lower boundary age of the Nanhua System and the Gucheng glacial stage: Evidence from SHRIMP II dating. *Chinese Science Bulletin*, 48(16): 1657 ~ 1662.
- Yin Chongyu, Gao Linzhi. 2013&. Definition, time limit and stratigraphic subdivision of the Nanhuan System in China. *Journal of Stratigraphy*, 37(4): 534 ~ 541.
- Zhang Qirui, Liu Hongyun, Chen Menge, Lu Gangyi. 1993&. Reunderstanding of Sinian glacial formation in Southern Anhui Province. *Journal of Stratigraphy*, 17(3): 186 ~ 193.
- Zhang Qirui, Chu Xuelei. 2007&. Problems in defining the Nanhuan period. *Journal of stratigraphy*, 31(3): 321 ~ 327.
- Zhang Qirui, Chu Xuelei and Feng Lianjun. 2008&. A correlation of the “Xieshuuhe Formation”, Nanhua System, with a discussion to its glacial sedimentary structures. *Journal of Stratigraphy*, 32(3): 19 ~ 25.
- Zhang Qirui, Li Xianhua, Feng Lianjun, Huang Jing, Song Biao. 2008. A New Age Constraint on the Onset of the Neoproterozoic glaciations in the Yangtze Platform, South China. *Journal of Geology*, 116(4): 423 ~ 429.
- Zhang Qirui. 2014&. Comment on the age 780 Ma at the lower boundary of the Nanhuan Period. *Journal of Stratigraphy*, 38(3): 336 ~ 339.
- Zhang Qirui, Lan Zhongwu. 2016&. An update on the chronostratigraphy of the Nanhuan System. *Journal of Stratigraphy*, 40(3): 297 ~ 301.
- Zhang Shihong, Jiang Ganqing, Dong Jin, Han Yigui, Wu Huachun. 2008. New SHRIMP U-Pb age from the Wuqiangxi Formation of Banxi Group: implications for rifting and stratigraphic erosion associated with the early Cryogenian (Sturtian) glaciation in South China. *Science China: Earth Sciences*, 51(11): 1537 ~ 1544.
- Zhou Chuanming. 2016&. Neoproterozoic lithostratigraphy and correlation across the Yangtze Block, South China. *Journal of stratigraphy*, 40(2): 120 ~ 135.
- Zhuo Jiewen, Jiang Xinsheng, Wang Jian, Cui Xiaozhuang, Xiong Guoqing, Lu Junze, Liu Jianhui, Ma Mingzhu. 2013. Opening time and filling pattern of the Neoproterozoic Kangdian Rift Basin, western Yangtze Continent, South China. *Science China: Earth Sciences*, 56: 1664 ~ 1676.

Study on the regional subsidence and its sedimentary response before the first Neoproterozoic glaciation in Yangtze Block

WANG Tian¹⁾, WANG Zhengjiang^{2, 3)}, XIAO Yuanfu¹⁾, YANG Fei²⁾, DU Qiuding^{2, 3)}

1) College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu, 610059;

2) Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu, 610081;

3) Key Laboratory for Sedimentary Basin and Oil and Gas Resources, Ministry of Land and Resources, Chengdu, 610081

Objectives: The Xiuning Formation in the North Jiangxi Province and the Liantuo Formation in the Yichang and Tongshan areas, Hubei Province, are two important stratigraphic units of the middle Neoproterozoic in the Yangtze Block. However, there have been controversies on the sedimentary geotectonic settings and depositional interval. Combined with field sedimentary survey and the LA-ICP-MS U-Pb dating of the sandstone and tuff of the Liantuo Formation, we analyzed the deposition interval and tectonic properties of the Liantuo Formation.

Methods: On the basis of detailed regional sedimentological and regional comparative study, LA-ICP-MS zircon U-Pb dating has been carried out for gravel-bearing sandstone and sedimentary tuff from the bottom and middle of the Liantuo Formation in Shimantang section, Tongshan County, and the dacite from the top of the Shangshu Formation and sedimentary tuff from the middle Xiuning Formation in the Ganling section, Huatan, Shangrao City, respectively.

Results: The maximum deposition age of the Liantuo Formation is 784.0 ± 11 Ma, the middle Liantuo Formation is 728.7 ± 9.6 Ma in the Shimantang section, and the dacite from the topmost of the Shangshu Formation is 779.0 ± 6.6 Ma, the middle Liantuo Formation is 733.6 ± 5.9 Ma in the Ganling section, respectively. The sedimentological investigation shows that the sedimentary structure of the Xiuning Formation in the Ganling section is not developed. Instead, they are represented by deposited facies from alluvial fan—shallow-water shelf—deep-water shelf. The sedimentary structures of the Liantuo Formation in Tongshan County are developed, such as diagonal bedding, cross bedding, sand cross lamination and ripples, which are indicative of coastal to shallow shelf depositional settings.

Conclusions: Based on previous research results, therefore, the deposition interval of the Liantuo Formation or the Xiuning Formation in northern Jiangxi and its adjacent areas is constrained to be about $780 \sim 720$ Ma. The regional comparative study shows that in the Yangtze Block, the Liantuo Formation (the Xiuning Formation) in the northern Jiangxi Province and its adjacent areas, and the Chengjiang Formation in central Yunnan Province, and the upper Banxi Group in Hunan, Guizhou and Guangxi areas are simultaneous heterogeneous deposition sequences, which is the first set of rifting cover deposits in the Nanhua Rift system under the settings of regional thermal subsidence before the onset of the first Neoproterozoic glaciation.

Keywords: northern Jiangxi; Banxi Period; Banxi System; Liantuo Formation; Xiuning Formation; sedimentary sequence; sagging basin; depositional interval

Acknowledgements: This study is supported by the National Science Foundation of China (Nos. 41372124, 41672108, 41772115) and the project of China Geological Survey (No. DD20160193).

First author: WANG Tian, female, born in 1990, is a master student from Chengdu University of Technology, is mainly engaged in Precambrian Geology; Email: 327531284@qq.com

Corresponding author: WANG Zhengjiang, male, born in 1969, is a professor from Chengdu Center, China Geological Survey, is mainly engaged in the research of sedimentary tectonics; Email: wzjcf@sina.com

Manuscript received on: 2019-12-17; Accepted on: 2020-06-05; Edited by: LIU Zhiqiang

Doi: 10. 16509/j. georeview. 2020. 04. 019