

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

陈建书^{1,2)}, 代雅然¹⁾, 唐烽²⁾, 彭成龙¹⁾, 张嘉玮¹⁾, 朱和书³⁾, 陈兴¹⁾, 王文明¹⁾, 龚桂源¹⁾

1) 贵州省地质调查院, 贵阳, 550018; 2) 中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037;

3) 贵州省地质资料馆, 贵阳, 500001

内容提要: 限于地层年代及地层划分对比的差异, 对扬子地块周缘中元古代末—新元古代晋宁与武陵造山运动、甚或雪峰运动的界定, 一直存在争议。近年来我国前寒武纪地层年代研究取得众多新的进展与成果, 为地层序列建立、划分对比和相关构造运动的研究与限定提供了新的客观依据。本文以扬子地块周缘中—新元古代地层年代研究及地层划分对比成果为基础, 对晋宁运动、武陵运动及雪峰运动进行了重新梳理与探讨界定, 对深入研究扬子地块周缘中—新元古代地层划分对比、盆地演化及其成矿资源响应具有重要意义。

关键词: 晋宁运动; 武陵运动; 雪峰运动; 中元古代末—新元古代; 扬子地块周缘

在扬子地块周缘广泛出露新元古代地层, 中元古代地层主要零星出露于扬子西缘与北缘(图1), 一直是地质学家们研究中—新元古代基础地质的重点与热点地区。20世纪90年代前后, 以扬子地块周缘各省(区)市区域地质志、中国区域地质概论(程裕淇, 1994)、中国地层典—中元古界及新元古界(中国地层典编委会, 1999, 1996)、中国地质图集(马丽芳等, 2002)、中国岩相古地理图集(王鸿祯, 1985)、中国南方岩相古地理图集——震旦—三叠纪(刘宝珺等, 1994)等为代表的基础地质研究成果相继出版, 这些成果将滇东昆阳群、川西会理群(盐边群、盐井群、峨边群、登相营群)、鄂西神农架群与鄂中打鼓石群、皖南上溪群与溪口群、浙西双溪坞群及河上镇群骆家门组、赣东北张村群、赣西北双桥山群、湘北—湘中—湘西南冷家溪群、黔东南梵净山群、桂北四堡群等等地层划分对比于中元古界长城系—蓟县系, 其年代大致限定在1800~1000 Ma; 将鄂西马槽园群、鄂中花山群、皖南历口群、赣西落可崇群(组)、赣东北登山群、浙西河上镇群虹赤村组——上墅阻、湘北—湘西—黔东南板溪群、湘中高洞群、黔东南下江群、桂北丹州群等等地层划分对比于

新元古界青白口系, 其年代大致限定在1000~800 Ma; 将滇东澄江组——南沱组、川西苏雄组与开建桥组——列古六组、鄂西—鄂中—赣西北莲沱组——古城组——大塘坡组——南沱组、赣东北—皖南休宁组——古城组——大塘坡组——雷公坞组、浙西志棠组——古城组——大塘坡组——雷公坞组、湘中江口组——大塘坡组——南沱组、黔东南两界河组——铁丝坳组——大塘坡组——南沱组、黔东南—桂北长安组——富禄组——黎家坡组等等地层划分对比于震旦系下统, 其年代大致限定在800~680 Ma。

在地层年代限定及地层序列厘定基础上, 扬子地块周缘各省(区)对中元古代末—新元古代的主要构造运动进行了厘定及对比。将分隔中元古代末与新元古代早期及新元古代与震旦纪间的构造运动分别称为神农运动、花山运动(湖北省地质矿产局, 1987)、皖南Ⅰ运动、皖南Ⅱ运动(安徽省地质矿产局, 1987)、神功运动、落可崇运动(浙江省地质矿产局, 1989)、晋宁Ⅰ运动(双桥运动)、晋宁Ⅱ运动(江西省地质矿产局, 1984)、武陵运动(梵净运动、四堡运动)、雪峰运动(湖南省地质矿产局, 1987; 贵州省

注: 本文为国家自然科学基金资助项目(编号:41572024)、中国地质科学院基本科研业务项目(编号:YYWF201602)、中国地质调查局地质调查项目(编号:12120114058401、121211121106)、黔地矿科合[2019]22号; 贵州省科技计划项目(贵州省地质调查院院士工作站, 编号:黔科合平台人才[2018]5626)的成果。

收稿日期:2020-01-03; 改回日期:2020-04-21; 责任编辑:章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2020.03.002

作者简介: 陈建书, 男, 1967年生, 研究员, 主要从事区域地质调查及研究; Email: chenjianshu@yeah.net。通讯作者: 唐烽, 男, 1965年生, 研究员, 主要从事前寒武纪地层古生物学研究; Email: 523734337@qq.com。

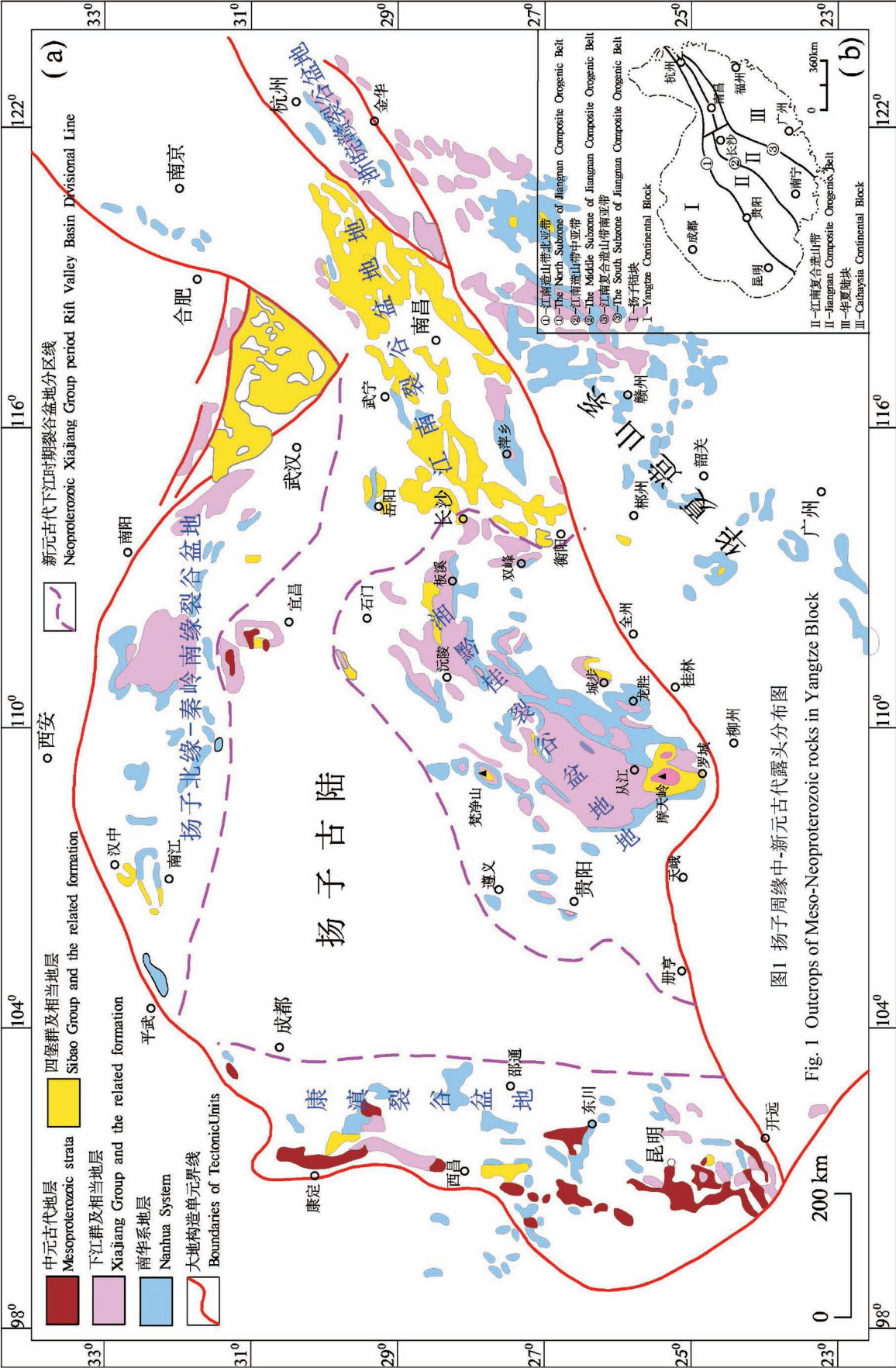


图1 扬子周缘中-新元古代露头分布图

(a) 据王剑 (2000)、李献华等 (2012)、耿元生等 (2017) 修编; (b) 据戴传固等 (2010)

(a) Modified from Wang Jian(2000#), Li Xianhua et al. (2012#), Geng Yuansheng et al. (2012#); (b) modified from Dai Chuangu et al. (2010#)

地质矿产局,1987;广西壮族自治区地质矿产局,1985;赵自强等,1997;都浔等,1997),前者结束时大致限定在1000 Ma左右、后者在800 Ma左右;云南、四川将中元古界昆阳群(会理群、盐边群、盐井群、峨边群、登相营群)与上覆震旦系澄江组(苏雄组)和澄江组(苏雄组)与上覆南沱组(列古六组)间的构造运动分别称为晋宁运动、澄江运动,结束时大致限定在900 Ma左右、700 Ma左右(云南省地质矿产局,1988,1997;四川省地质矿产局,1991)。

相关学者将晋宁(或晋宁Ⅰ或双桥)运动与武陵(梵净)运动、神农运动、神功运动、皖南Ⅰ运动、四堡运动等对比或等同,甚或将晋宁与武陵造山运动和全球范围内形成Rodinia超大陆的Grenville造山运动相对比或等同(刘鸿允,1991;郝杰等,1992,2004;单翔麟,1993;花友仁,1995;李献华,1998;Li Zhengxiang et al.,1995,1999;Li Xianhua et al.,1999;凌文黎等,2000;王剑,2000;汪正江等,2015;周传明,2016);或对比等同于澄江运动、晋宁Ⅱ运动、花山运动、皖南Ⅱ运动、雪峰运动(李廷栋,1982,1984;王鸿祯,1985,1986;杨森楠,1989;熊家壩,1993;程裕淇,1994;程裕淇等,1995,2006);或认为晋宁运动与武陵、四堡运动为结束于820 Ma左右的同期构造运动(高林志等,2012;汪正江等,2015;周传明,2016;江西省地质调查院,2017;湖南地质调查院,2017;安徽省地质调查院,2017)。由此引发了相关地层年代、地层划分对比、地层序列建立及晋宁运动与武陵运动、甚或雪峰运动涵义界定及其地质响应等等的争论,一直延续至今。

关于中元古代末与新元古代间及新元古代内部构造运动界定与划分对比存在争议的关键,在于相关地层保存与出露不全,地层年代资料成果的粗放或缺,导致地层序列的厘定、地层划分对比出现差异和不同认识,进而导致对中元古代末—新元古代相关构造运动及其界面界定的分歧。目前中—新元古代地层年代研究取得众多新的资料成果,为新的地层序列建立及划分对比提供了依据,为客观研究和合理限定这些构造运动提供了基础。本文依据近20年来涌现的大量新资料成果,以区域性重大地质事件为统领,主要对扬子地块周缘中—新元古代地层年代、地层序列与晋宁造山运动、武陵造山运动及其构造旋回进行重新梳理与探讨界定,对表现为隆升(造陆)性质的雪峰运动亦进行了界定(表1)。对深入研究扬子地块周缘中—新元古代地层划分对比、构造运动、构造旋回、盆地属性和演化及其成矿

资源响应具有重要意义。

1 扬子地块周缘中元古代中晚期—新元古代地层年代研究新进展

建立于地层年代基础上的客观地层序列及划分对比,是构造运动研究和界定的基础。近20年来、特别是启动于2008年的全国各省(区)市新一代区域地质志相继研编完成和出版,我国前寒武纪基础地质调查及研究又取得了众多重大进展和新的成果,以地层年代的精确限定及新地层序列的厘定为突出。首先是北方蓟县层型剖面原划归新元古界青白口系的下马岭组,地层年龄限定在1370 Ma左右(高林志等,2007,2008b),属中元古代;其后是扬子地块周缘原划归中元古界的梵净山群、四堡群、冷家溪群、双桥山群、溪口群、张村群、柳坝塘组、盐边群等地层,年龄限定在900~820 Ma间,双溪坞群及骆家门组年龄限定在930~860 Ma与860~824 Ma左右,骆家门组归属双溪坞群上部地层,属新元古代早中期地层;双溪坞群、盐边群具有岛弧岩石组合建造特征,而双桥山群、冷家溪、梵净山群、四堡群则具弧后盆地岩石组合建造特点;原中元古界昆阳群(黄草岭组、黑山头组、富良棚组、大龙口组、美党组;中国地质调查局科外部,2010)、会理群年龄限定在1200~1000 Ma左右,神农架群(含原新元古界马槽园群)、打鼓石群(局限于大洪山南侧姚家咀一带),主要反映为裂谷盆地碎屑岩、碳酸盐岩夹火山岩及侵入基性—超基性岩建造,年龄限定在1400~1000 Ma左右,属中元古代中晚期;原青白口系板溪群、下江群、高涧群、丹州群、历口群、登山群及河上镇群虹赤村组和上墅组等等年龄在820~720 Ma左右(中国地层表限定为820~780 Ma;全国地层委员会等,2014),属新元古代中期,反映为裂谷盆地砂泥岩夹火山碎屑岩组合;原青白口系花山群与分布出露于大洪山南侧姚家咀一带以外其余区域的原中元古界打鼓石群解体为由碎屑浊积岩为主夹玄武岩、辉长岩、碳酸盐岩、硅泥质岩、砾岩、角砾岩等岩块构成的混杂岩组合,并新建为大红山混杂岩群与土门岩组,年龄限定在950~830 Ma;在神农架群之上新建了新元古代早期郑家垭组(最年轻碎屑锆石年龄980 Ma左右)与凉风垭组;原震旦系下统澄江组、苏雄组、开建桥组、莲沱组、休宁组、志棠组、漂水河组等,年龄限定在800~720 Ma左右,属新元古代中晚期,系裂谷盆地最大海泛时期滨岸后移退积环境下的滨岸—冲积平原砂砾岩建造;南华系(中国地层表限

定为 780~635 Ma; 全国地层委员会等, 2014) 长安组、富禄组、古城组、大塘坡组、黎家坡组、南沱组、列古六组、雷公坞组年龄限定在 720~635 Ma 左右(李献华, 1999; 李献华等, 2008; 王剑, 2000, 2005; 尹崇玉等, 2003; 曾雯等, 2005; 储雪蕾等, 2005; 张启锐等, 2007, 2008; 耿元生等, 2007, 2008, 2014, 2017; 张传恒等, 2007; 高林志等, 2008a, b, 2010a, b, 2011a, b, c, 2012, 2014, 2015, 2018; Li Xianhua et al., 2009; 周金城等, 2009; 孙志明等, 2009; 高维等, 2009; 汪正江, 2008; 汪正江等, 2009, 2010, 2013, 2015; 张彦杰等, 2010; 王敏等, 2011; 尹福光等, 2011a, b, 2012; 孙海清等, 2012, 2013; 周效华等, 2012, 2014; 杨明桂等, 2012; 江新胜等, 2012; 李怀坤等, 2013, 2016; 邓奇等, 2013, 2019; 邱艳生等, 2013; 杜利林等, 2013; 崔晓庄等, 2013; 陆俊泽等, 2013; 杜秋定等, 2013; Lan Zhongwu et al., 2014, 2015; 卓皆文等, 2015, 2017; 张恒等, 2015; 胡正祥等, 2015; 庞维华等, 2015; 韩瑶等, 2016; 陈建书等, 2016a, b; 田辉等, 2017; 贵州省地质调查院, 2017; 湖南省地质调查院, 2017; 江西省地质调查院, 2017; 安徽省地质调查院, 2017; 刘浩, 2017; 刘军平等, 2018; 唐增才等, 2018; 广西壮族自治区区域地质调查研究院, 2019; 浙江省地质调查院, 2019; 湖北省地质调查院, 2019)。

对澄江组、苏雄组、开建桥组、莲沱组、休宁组、志棠组、溁水河组等年龄已限定在 800~720 Ma 左右, 部分学者新近在溁水河组上部获取最年轻年龄为 692 Ma 左右, 并见及冰川遗迹构造, 因而将其对比于南华系古城组(张启锐等, 2008, 2016; Lan Zhongwu et al., 2015)。依据区域地层时空展布格局及《湖南省区域地质志》(湖南省地质矿产局, 1987)、《中国区域地质志——湖南志》(湖南省地质调查院, 2017)、陈建书等(2016a, b)资料成果, 本文将划分对比于下江群及相当地层中晚期(800~720 Ma 左右)地层(表 1)。

原中元古界登相营群、峨边群等出露零星, 上被原震旦系苏雄组、澄江组角度不整合覆盖(四川省地质矿产局, 1991), 目前其地层年代及地层序列厘定尚存争议。登相营群获火山岩取年龄为 824 Ma、1030 Ma(耿元生等, 2008; 任光明等, 2014); 峨边群获取火山岩年龄 779 Ma、1018 Ma(熊国庆等, 2013; 陈风霖等, 2018), 侵入辉绿岩脉年龄 813 Ma(崔晓庄等, 2012), 其地层序列及划分对比尚需进一步研究。

上述中元古代中晚期—新元古代地层年代资料

成果与新的地层序列的建立及划分对比, 为晋宁造山运动、武陵造山运动、雪峰造陆运动及晋宁、武陵构造旋回(层)的梳理和重新界定提供了坚实的基础资料及客观地质物质记录。

2 晋宁运动

2.1 晋宁运动的界定

晋宁运动是 Mish(1942)提出, 指云南省晋宁地区下震旦统“澄江砂岩”与中元古界“昆阳变质岩系”陆块基底及峨山花岗岩之间角度不整合面所代表的一次强烈的区域性造山运动。目前随着扬子地块周缘中元古代中晚期—新元古代地层年代及地层序列的确立, 武陵、雪峰或澄江等运动结束时限和构造界面已确定, 但因中元古界昆阳群可与上覆新元古代不同时期地层呈角度不整合接触, 使以昆阳群为下伏地层限定的晋宁运动构造界面可被分解为多个, 如昆阳群与柳坝塘组之间、或昆阳群与澄江组间、或昆阳群与南沱组(甚或陡山沱组)间的角度不整合界面。由此引发了“哪一个角度不整合面代表晋宁运动界面?”的认识分歧(郝杰等, 1992, 2004), 导致出现对晋宁运动界面及结束时限的不同界定, 出现不同的方案, 进而出现与扬子地块周缘中—新元古代间及新元古代内部不同构造运动进行对比与等同的困惑与混乱局面, 给扬子地块周缘中—新元古代间及新元古代内部不同阶段的构造运动及地质响应的研究与界定带来混乱与不便。

相关学者在地层进行划分对比研究基础上, 对扬子西缘中元古代末期与新元古代早期间的构造运动及其界面进行了众多的研究, 并相继命名为易门运动(邓家藩^①), 满银沟运动(四川省地质局 403 队和成都地质矿产研究所 1970 年命名, 据黄邦强, 1979)、唐房运动(吴懋德, 1978; 吴懋德等, 1990)、三风口运动(廖光宇, 1980)与会理、西昌运动(刘德华^②; 吴根耀, 1982; 薛步高, 1995, 2000)。源于地层年代限定、地层序列建立及划分对比的争议, 对这些运动的界定亦出现百家争鸣事态。认为易门运动、满银沟运动、三风口运动、唐房运动结束于距今 1100~1000 Ma 左右, 其性质或界定为造山运动、或隆升(造陆)运动, 并进行了各自的研究对比(申玉莲, 1973; 黄邦强, 1979; 竺国强等, 1981; 李希勤等, 1984, 1993; 鄢芸樵, 1986; 孙家聪, 1988; 高林志等, 2018)。杨暹和(1985)认为满银沟运动结束于距今 1400 Ma 左右, 并对比等同于四堡运动; 熊家壩(1993)认为晋宁运动界面之下, 存在结束于距今

1000 Ma 左右的造山构造运动,并确定为三风口运动或满银沟运动;尹福光等(2012)认为三风口运动与满银沟运动分别结束于距今 1300 Ma、1000 Ma。

由上述可以确定,在扬子地块西缘客观存在中元古代末与新元古代早期间、结束于 1000 Ma 左右的造山构造运动,这一客观的地质物质记录,在出露中元古代地层的扬子北缘亦存在。郝杰等(2004)认为晋宁运动是发生在中元古代晚期扬子古陆块西缘与川滇藏古陆块间的洋—陆俯冲和陆—陆碰撞的一次区域性造山运动构造事件,以下震旦统(澄江组)底界年龄作为晋宁运动结束时限的认识有悖于命名地的地质事实,也违反了角度不整合面地质意义的判定原则。结合目前扬子地块周缘新的地层年代及地层序列的建立,武陵、雪峰及相当运动结束时限的修订,笔者等认为这一造山构造运动理应梳理界定并确立为晋宁造山运动,符合 Mish(1942)创名的晋宁运动原义。不能以中元古界上覆地层为新元古代早中期(1000~820 Ma 左右)、或中期(820~720 Ma)、或晚期(720~635 Ma)、甚或震旦系陡山沱组等来界定与取舍各自强调的构造运动结束时限及构造界面。在地质历史发展演化中,同一地区不同时期的多个构造运动界面叠合为一个界面,即“一底多盖”和“一盖多底”的地质现象,是客观与普遍存在的地质事实。唐房运动、易门运动、满银沟、三风口运动从命名原义与实质上看与晋宁运动原义相当,但其构造性质、结束时限及界面特征等一直存在争议,且使用与对比较混乱。笔者等认为按优先命名原则、使用习惯和社会影响,将结束于距今 1000 Ma 左右的中元古代末与新元古代早期间的造山构造运动界定为晋宁运动,是客观合理的,结合晋宁造山运动前在扬子西缘存在距今 1300 Ma 左右的三风口造山运动(尹福光等,2012),故晋宁构造(层)旋回大致限定在 1300~1000 Ma 左右。

2.2 晋宁造山运动界面特征

晋宁造山运动构造界面,目前仅在出露中元古代的扬子西缘和北缘能及并确定。在扬子西缘的滇东晋宁柳坝塘,安宁军哨、唐房、安宁水库一带,新元古界军哨组、柳坝塘组与下伏中元古界昆阳群美党组呈角度不整合接触,柳坝塘组又与上覆新元古界澄江组呈角度不整合接触(云南省地质矿产局,1988,1997;李希勤,1993;熊家壩,1993;沈少雄,1999)。昆阳群与柳坝塘组间的角度不整合接触界面,反映为晋宁造山运动构造界面,该构造运动界面上覆缺失新元古代早期 1000~900 Ma 时期地层;柳

坝塘组与澄江组角度不整合接触界面反映为武陵造山构造运动界面(结束于距今 820 Ma 左右,见后述),该构造运动界面上覆缺失新元古代中期 820~800 Ma 左右时期地层。在晋宁六街王家湾剖面上昆阳群黑山头组与上覆澄江组呈角度不整合接触(图 2a),其间缺失 1000~800 Ma 左右时期地层,反映晋宁运动与武陵运动二个角度不整合构造界面叠合为一个构造界面;在会泽白雾、昆阳磷矿区等地则表现为震旦系陡山沱组与下伏昆阳群黑山头组呈角度不整合接触(图 2b),其间缺失 1000~635 Ma 时期地层,在玉溪江川古埂、晋宁王家湾一带见澄江组与南沱组呈不整合接触(图 3),故在会泽白雾、昆阳磷矿一带反映了晋宁运动、武陵运动角度不整合构造界面与雪峰运动(澄江运动)平行不整合三个构造界面叠合为一个界面,雪峰运动(澄江运动)结束于距今 720 Ma 左右(见后述)。至于围岩为昆阳群的峨山花岗岩(854~823 Ma,胡金等,2018)与澄江组呈角度不整合接触,反映为武陵造山运动的构造—岩浆事件。

在川西新元古界盐边群与下伏中元古界会理群呈角度不整合接触,为晋宁造山运动的反映,晋宁运动界面上覆缺失大致 1000~900 Ma 左右时期地层;盐边群又与上覆苏雄组、或开建桥组呈角度不整合接触,为武陵运动的反映,武陵运动界面上覆缺失新元古界 820~800 Ma 左右时期地层;盐边群与南华系列古六组呈角度不整合接触,为武陵运动角度不整合界面、雪峰运动(澄江运动)平行不整合二个构造界面叠合为一个界面的反映,构造界面上缺失 820~660 Ma 左右时期地层;会理群与列古六组呈角度不整合接触、甚或陡山沱组与会理群呈角度不整合接触,反映晋宁造山运动、武陵运动、雪峰运动(澄江运动)三个构造界面叠合为一个界面,构造界面上缺失 1000~660 Ma 左右、甚或 1000~635 Ma 时期地层。峨边群、登相营群出露零星(未见底),目前尚缺乏系统精确的年代及地层序成果资料,是否存在晋宁运动,需进一步研究。

据《中国区域地质志——湖北志》(湖北省地质调查院,2019)资料成果,在扬子北缘神农架地区中元古界神农架群与新元古界郑家垭组、凉风垭组呈角度不整合接触,为晋宁造山运动的反映;郑家垭组、凉风垭组与上覆新元古界莲沱组呈角度不整合接触,为武陵造山运动的反映;莲沱组与上覆南华系南沱组呈平行不整合接触,为雪峰(澄江)运动的反映;神农架群与莲沱组、或南沱组、甚或陡山沱组呈

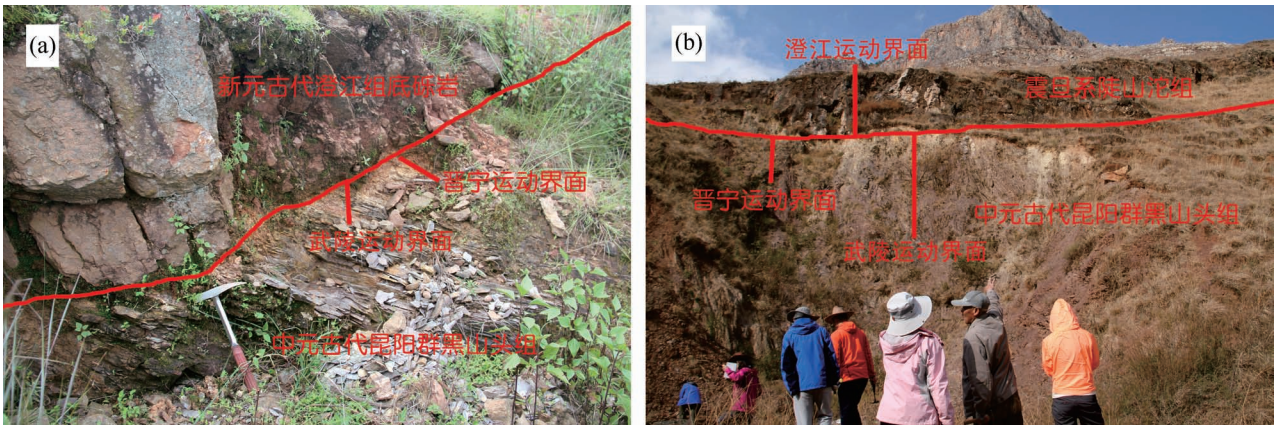


图 2 晋宁运动角度不整合界面: (a) 云南晋宁王家湾; (b) 云南会泽白雾
Fig. 2 The angular disconformity of Jinling Movement: (a) Wangjiawan, Jinning County, Yunnan;
(b) Baiwu, Huize County, Yunnan

角度不整合接触,为上述二个、或三个运动界面叠合为一个界面的反映。在大红山地区狭义的中元古界打鼓石群与上覆莲沱组呈角度不整合接触,或打鼓石群直接与南沱组呈角度不整合接触,前者为晋宁运动与武陵运动叠合为一个构造界面的反映,后者为晋宁运动、武陵运动和雪峰运动(澄江运动)三个构造界面叠合为一个构造界面的反映;新元古界大红山岩群及土门岩组与莲沱组呈角度不整合接触,莲沱组又与上覆南华系南沱组呈平行不整合接触,或大红山岩群、土门岩组直接与南沱组呈角度不整合接触,反映为武陵运动构造界面及武陵运动与雪峰(澄江)运动二个构造界面叠合为一个构造界面的特征。在宜昌一带新元古界吴家台组(划分对比于郑家垭组及相当地层)与古元古界黄凉河组、或

太古界崆岭片岩与新元古界莲沱组之间、或古元古界黄陵花岗岩和莲沱组呈角度不整合接触界面,湖北省地质调查院(2019)称为西岔运动和黄陵运动,结束限定在 820 Ma 左右,根据地层序列及地层年代,笔者等认为在该地区至少存在晋宁运动构造界面(1000 Ma 左右)及晋宁运动与武陵运动构造界面(820 Ma 左右)叠合为一个界面的地质事实。

上述地质事实客观反映了在扬子西缘与北缘中元古界和新元古界地层出露区域,因存在不同时期的地层缺失,使晋宁运动、武陵运动、雪峰运动(澄江运动)构造界面下伏地层均可以是中元古界昆阳群、神农架群、会理群、打鼓石群,甚或古元古界黄凉河组、黄陵花岗岩或太古界崆岭片岩,而上覆可以分别是新元古界 1000~820 Ma 左右时期地层、或 800

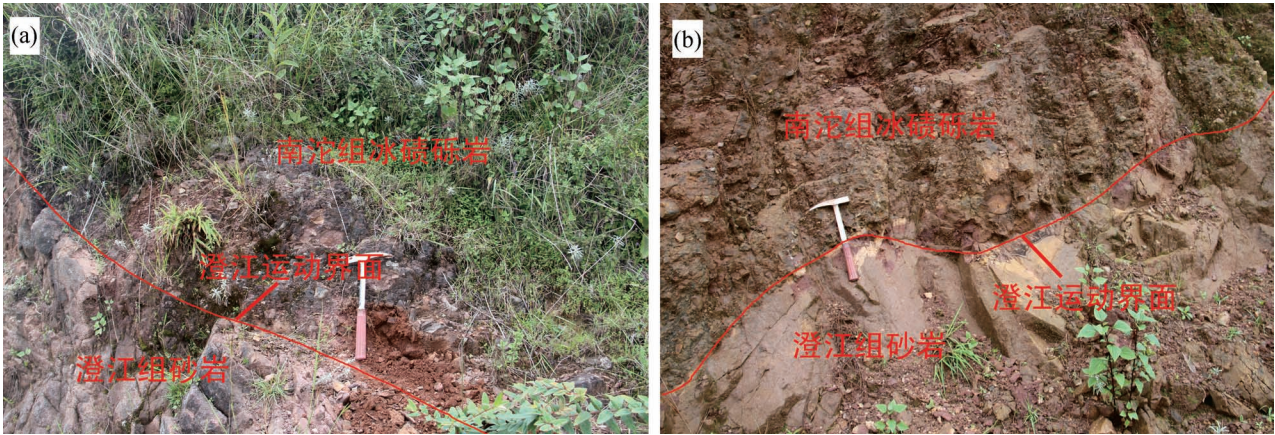


图 3 澄江运动角度不整合界面: (a) 云南晋宁王家湾; (b) 云南江川古埂
Fig. 3 The angular disconformity of Chengjiang Movement: (a) Wangjiawan, Jinning County, Yunnan;
(b) Gugeng, Jiangchuan County, Yunnan

Ma 左右的澄江组及相当地层、或南华系南沱组(列古六组)、甚或震旦系陡山沱组,表现出至少缺失 1000~900 Ma 左右、或 1000~800 Ma 左右、1000~720 Ma 左右、甚或 1000~635 Ma 时期地层,虽给这三个构造运动的识别带来干扰与困难,但通过保留与出露相应地层年代的限定、地层序列厘定和区域划分对比,完全能够清晰厘定晋宁运动、武陵运动、雪峰运动及其客观存在的地质物质记录,反映了其中二个或三个构造运动界面叠合为一个界面的“一底多盖”与“一盖多底”的独特地质景观(表 1),更反映了扬子古陆不同区域在中—新元古代发展演化的复杂多样性与独特性。

目前在扬子东缘—南缘未见中元古代地层出露,出露的新元古代早—中期四堡群、梵净山群、冷家溪群、双桥山群、张村群、溪口群、双溪坞群等等地层均未见底,其下伏是否存在晋宁构造运动及其界面情况不明。

2.3 晋宁运动的地质响应

晋宁造山运动对扬子陆块的形成和演化历程有着极其重要的影响,该运动使扬子古微陆块群拼合为统一的扬子古陆块,并构成结晶基底。打鼓石群、神农架群、昆阳群在中元古代不属于同一陆块,在现今扬子陆块范围内呈现为多个次级地块组成的多岛洋格局(孔令耀等, 2017; 湖北省地质调查院, 2019)。源于晋宁运动使其聚合为扬子古陆块,在扬子西缘与北缘中元古代发育大量岛弧背景下的基性辉长岩、中性闪长岩、俯冲—碰撞造山环境的钙碱性、酸性火山岩、同造山或同碰撞花岗岩及代表古缝合带的庙湾蛇绿岩、大洪山岩群洋盆地层建造(耿元生等, 2007, 2008; 张传恒等, 2007; 杨崇辉等, 2009; 任光明等, 2014; 尹福光等, 2011, 2012; 李怀坤等, 2013; 庞维华等, 2015; 湖北省地质调查院, 2019),是晋宁构造旋回期强烈的构造—岩浆事件的响应。昆阳群、会理群、神农架群、打鼓石群等地层为低绿片岩相板岩、千枚岩、变质砂岩及碳酸盐岩,区域上呈面型展布,反映其经历了晋宁造山运动导致的区域低温动热浅变质作用;上覆柳坝塘组、盐边群、郑家垭组、凉风垭组等地层为低绿片岩相板岩、千枚岩、变质砂(砾)岩,在区域上亦呈面型展布,则反映经历了武陵造山构造运动区域低温动热浅变质作用;澄江组、苏雄祖、开建桥组、莲沱组未变质。晋宁运动构造界面上、下地层变形及褶皱样式差异显著,反映昆阳群及相当地层经历了强烈晋宁造山构造运动带来的变形事件(姜勇彪等, 2006)。

同时伴随该造山运动的强烈构造—岩浆热事件,形成了丰富的铜、铁、钨、锡、铅、锌、铀、稀土矿等矿产资源。

晋宁造山运动后扬子陆块发生裂解,在扬子地块周缘被边缘海和洋环绕,表现为显著的沟—弧—盆格局(张克信等, 2018),发育了岛弧及弧后盆地背景下的岩石建造,开启了扬子古陆块新的发展演化历程。

3 武陵造山运动

3.1 武陵运动的界定

武陵运动由原湖南省地质局 413 队于 1959 年命名于湘西武陵山区,指新元古界板溪群与下伏原中元古界冷家溪群之间的角度不整合造山运动(湖南省地质矿产局, 1987),据相关地层及侵入岩年龄资料,将其结束时期限定在距今 1000 Ma 左右,后被相关学者广泛应用并对比等同于扬子地块周缘该时期普遍发育且具重大意义和影响广泛的造山构造运动,但其应用和对比存在较大(多)的分歧与争议(见前述)。目前随中—新元古代地层年代的相对精确限定及地层序列建立与划分对比资料成果的集中涌现,该运动结束时限已由原 1000 Ma 左右修正为 820 Ma 左右,其涵义限定为新元古代 1000~820 Ma 时期的四堡群及相当地层和 820~720 Ma 时期的下江群及相当地层间的角度不整合界面所代表的造山构造运动(表 1)。武陵运动在扬子地块周缘广泛发育,普遍保存较好,以湘黔桂地区发育显著而典型(图 4),相应的武陵构造旋回(层)应界定在 1000~820 Ma 左右间,已为业内广泛认同并使用,按命名优先原则,结合发育特征的典型性和代表性,本文建议将该期构造运动统一确定为武陵造山运动。但目前仍有部分学者将该运动对比等同于晋宁运动(见前述),由前述客观地质事实反映,晋宁运动与武陵运动是扬子地块周缘中元古代末期与新元古代早期及新元古代内部客观存在的二期极为重要、意义重大的造山构造运动,二者为上、下新老关系,不能对比和等同。

3.2 武陵运动界面特征

目前在扬子地块周缘的湘、黔、桂、赣、皖五省(区)将武陵运动界面置于冷家溪群(梵净山群)与板溪群(高涧群)、四堡群与下江群(丹州群)、双桥山群与落可崇组、张村群与登山群、溪口群与历口群不同组段间,二者表现为角度不整合接触,并进行了较为一致的对比等同,其余省份尚存争议。在浙江

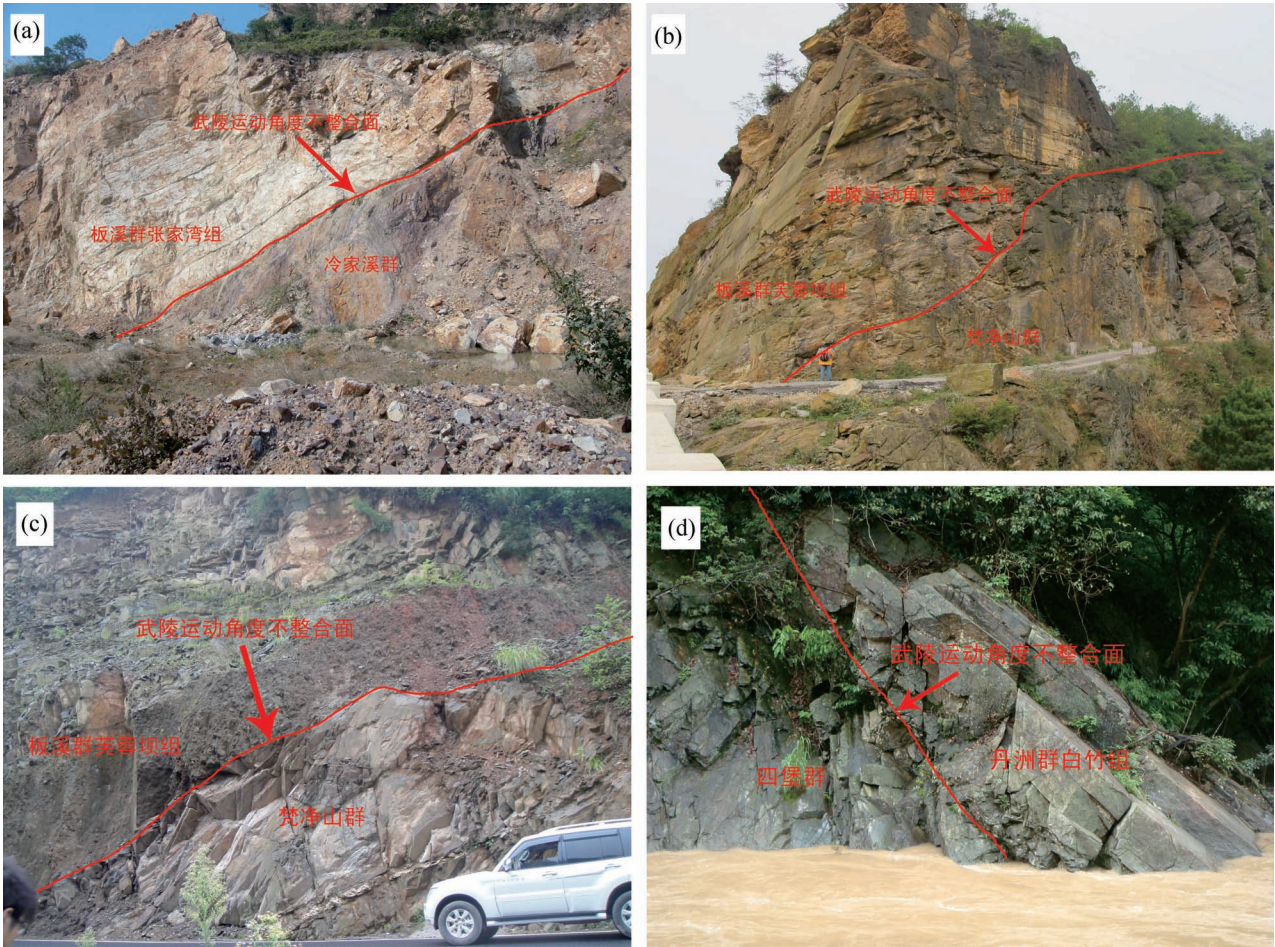


图 4 武陵运动角度不整合界面：(a) 湖南临湘陆城；(b) 贵州梵净山芙蓉坝；
(c) 贵州梵净山黑湾河；(d) 广西罗城四堡

Fig. 4 The angular unconformity of Wuling Movement: (a) Lucheng, Linxiang County, Hunan; (b) Furongba, Fanjing Mountain, Guizhou; (c) Heiwanhe, Fanjing Mountain, Guizhou; (d) Sibao, Luocheng County, Guangxi

原置于双溪坞群与河上镇群骆家门组之间,已有资料反映骆家门组年龄在 860~824 Ma 左右,即双溪坞群与骆家门组之间的界面年龄应大于 820 Ma,在 830 Ma 左右(张恒等,2015),与武陵运动的结束时限存在差异。部分学者认为双溪坞群与上覆河上镇群骆家门组之间不存在角度不整合界面,骆家门组底部砾岩属于水下扇的沟道沉积,不具备底砾岩的特征,反映为双溪坞岛弧的弧后盆地环境岩石建造特征,属双溪坞群的上部地层,即神功运动不存在(周效华等,2014;浙江省地质调查院,2019)。在建德地区骆家门组(白沙群)与上覆休宁组(志棠组)呈角度不整合接触(邓奇等,2019)。笔者等在系统分析与研究已有资料成果基础上,建议废弃神功运动,将骆家门组(白沙群)与上覆休宁组、志棠组间及骆家门组与上覆虹赤村组之间存在的构造运动界

面确定为武陵造山运动界面,该运动结束时限为距今 820 Ma 左右,界面上覆缺失 820~800 Ma 左右时期地层。

在扬子北缘神农架一带,中元古界神农架群与上覆原新元古界马槽园群之间呈角度不整合接触的构造运动,被命名为神农运动,结束于 1000 Ma 左右(湖北省地质矿产局,1987)。目前资料成果将马槽园群年代修正为中元古代晚期,其与神农架群接触的底部底砾岩实为台缘斜坡环境下滑塌滑移的砾屑碳酸盐岩沉积建造(邓奇等,2013;邱艳生等,2013;耿元生等,2017;湖北省地质调查院,2019),即神农架群与马槽园群之间不存在角度不整合接触界面。按新的资料成果与原界定涵义及区域对比,本文建议废弃神农运动。将新元古代郑家垭组、凉风垭组与上覆莲沱组间的构造运动确定为武陵运动,结束

时限为 820 Ma 左右。前已阐述在宜昌及大红山一带,新元古界吴家台组与古元古界黄凉河组呈角度不整合接触,太古宇崆岭片岩与新元古界莲沱组、或古元古代黄陵花岗岩和莲沱组呈角度不整合接触,吴家台组与莲沱组、或南沱组呈角度不整合接触,莲沱组又与南沱组呈平行不整合接触,莲沱组或南沱组角度不整合覆于大洪山岩群和土门岩组之上。反映至少存在武陵运动界面及武陵运动和雪峰运动(澄江运动)二个构造界面叠合为一个构造界面的地质事实。在鄂南湘北一带,莲沱组、张家湾组角度不整合覆于冷家溪群,为武陵运动的反映。

前已述及在扬子西缘滇东地区,澄江组、南沱组、甚或陡山沱组与下伏昆阳群、柳坝塘组之间呈角度不整合接触,在川西地区苏雄祖、开建桥组、列古六组与下伏盐边群呈角度不整合接触,甚或陡山沱组与会理群呈角度不整合接触,反映武陵运动客观存在。而峨边群、登相营群与上覆苏雄祖、开建桥组、澄江组、或陡山沱组呈角度不整合接触(四川省地质矿产局,1989),为武陵运动构造界面、武陵运动和雪峰运动(澄江运动)二个构造界面叠合为一个界面的客观反映。

目前已有的区域地质资料成果反映,在扬子陆块东南缘的湘黔桂相邻区武陵运动界面上覆地层为 820~720 Ma 的下江群、丹州群(高洞群)及南华系地层,且发育完整而连续,武陵造山运动和雪峰运动界面特征清晰而典型,为扬子地块周缘相应构造运动的梳理和厘定提供了客观实在的依据。在扬子东缘的皖、浙、赣及北缘的湖北与西缘滇东、川西地区,亦因存在不同时段的地层缺失,武陵运动界面上覆地层可以为 800~720 Ma 的张家湾组、落可崇组、虹赤村组、莲沱组、澄江组、苏雄祖、开建桥组,亦可为南沱组、甚或陡山沱组(表 1),使武陵运动、雪峰(澄江)运动可以独立反映,亦可反映为这二个构造运动界面叠合在一起的面貌特征,系扬子地块周缘不同地质背景及古地理格局下地史发展演化存在差异的客观反映。

3.3 武陵造山运动的地质响应

已有的资料成果显示晋宁运动后,随洋—陆转换性质的武陵构造旋回期地史演化的开启,在扬子地块周缘形成了一系列弧—盆系格局,发育洋板地层、岛弧及弧后盆地基性—超基性岩、中酸性侵入岩、火山岩建造及碰撞造山—隆升背景下的花岗岩组合(Wang Xiaolei et al., 2006, 2008; 周金城等, 2009; 高林志等, 2010a, b; 王敏等, 2011; 周效华等,

2012; 杜利林等, 2013; 江西省地质调查院, 2017; 湖南省地质调查院, 2017; 贵州省地质调查院, 2017; 田辉等, 2017; 张克信等, 2018; 浙江省地质调查院, 2019; 广西壮族自治区区域地质调查研究院, 2019; 湖北省地质调查院, 2019)。系武陵构造旋回期裂解—汇聚—碰撞造山演化历程中构造—岩浆事件响应的客观物质记录。武陵造山运动导致扬子陆块与周缘弧—盆系渐次碰撞造山,形成广阔的武陵构造旋回期造山带,使新元古代早中期冷家溪群及相当地层褶皱和变质变形,并构成扬子古陆变质褶皱基底。在扬子东南缘形成一条著名的宽百余千米、延伸约 1500 km 的弧形新元古代江南造山带(舒良树, 2012),江南复合造山带之武陵构造旋回期造山带(戴传固等, 2010)。同时冷家溪群及相当地层以低绿片岩相的板岩、千枚岩、变质砂岩等产出,区域上呈面型展布,新生变质矿物主要为绿泥石、绢云母及少量黑、白云母。反映其经历了区域低温动热变质和变形作用,地层褶皱样式以紧闭型为主。处于扬子陆块外缘东南缘的板溪群及相当地层以宽缓褶皱样式为主,系广西造山运动导致的变质变形和构造岩浆热事件的反映,新生变质矿物主要为绿泥石、绢云母。处于扬子陆块内缘的澄江组及相当地层未见变质、或变质轻微。伴随着武陵造山运动强烈的构造—岩浆热事件,产出了铜、铅、锌、镍、铋、钼、金、钨、锡、锑等多金属矿产资源。

武陵构造运动后在扬子陆块周缘及陆内开启了新元古代中晚期系列裂谷盆地发展演化历程(图 1),各裂谷系地层特征因所处大地构造背景及古地理环境的差异而出现明显的分野。系列裂谷盆地以扬子陆块外缘的湘黔桂裂谷盆地相对发育完整(表 1),自下而上产出海浸退积的滨岸砂砾(泥)岩—陆棚钙质岩系的正粒序岩石建造。在 800 Ma 左右裂谷盆地发展至最大,产出了陆棚滞留还原环境下的黑色含炭质岩系(乌叶组、砖墙湾组、合桐组),在裂陷中心的桂北龙胜三门街一带产出了代表初始洋壳的枕状玄武岩和流纹英安岩构成的双峰式火山岩建造(戴传固等, 2012)。在靠近扬子陆块内缘的湘北、鄂、浙、皖、赣等地区,则产出了最大裂陷(最大海泛)时期海浸滨岸后移退积背景下,以张家湾组、莲沱组、休宁组、志棠组等冲积平原—滨岸环境的砂砾(泥)岩夹火山碎屑岩建造,上墅组火山岩夹碎屑岩建造;在扬子西缘则产出了陆内陆相裂谷火山岩夹碎屑岩(苏雄组、开建桥组)、河湖砂砾(泥)岩(澄江组)建造。这亦是本文综合地层年代、地层序列、

地层的区域时空展布格局,将目前大多数学者划归南华系的澄江组、苏雄组、开建桥组、莲沱组、休宁组、志棠组、溁水河组等等地层,重新厘定划归南华系下伏下江群及相当地层,并对比于其中晚期地层的依据(表1),这些地层归属的客观厘定、地层序列的合理确立及区域划分对比,为武陵运动、雪峰运动(澄江运动)界定及其地质发展演化研究提供了客观的物质记录。

武陵运动是扬子陆块周缘洋—陆构造背景转换历程中重要的造山构造运动,经该运动后,扬子陆块周缘转入被动大陆边缘及陆内裂谷盆地发展演化阶段。

4 雪峰运动及其地质响应

雪峰运动由田奇瑞(1948)提出,是指湘西原“下震旦统”南沱组冰碛层与板溪群间的不整合,相关学者认为其结束于距今800 Ma左右(湖南省地质矿产局,1987),部分学者认为与晋宁运动相当(见前述);澄江运动由Mish(1942)提出,指云南省晋宁地区原“下震旦统澄江砂岩”与南沱组之间的角度不整合构造运动。新的成果资料将雪峰运动(澄江运动)界面上覆南华系地层限定在720~635 Ma左右(中国地层表限定为780~635 Ma左右,全国地层委员会等,2014),前已阐述澄江组、苏雄组、开建桥组、莲沱组、落可崇组、休宁组、志棠组、张家湾组、溁水河组等年龄在800~720 Ma左右,划分对比于下江群及相当的中晚期地层,故雪峰运动(澄江运动)应界定在下江群及相当地层与上覆南华系之间,结束时限限定在720 Ma左右。因古地理地貌格局差异,区域上该构造界面上覆地层表现为长安组、或富禄组(古城组、大塘坡组)、或南沱组(列古六组)、甚或震旦系陡山沱组(表1)。在雪峰运动命名的湘黔桂相邻区,该运动界面下伏下江群(丹州群、高涧群)与上覆南华系长安组—黎家坡组地层发育连续,出露完整,层序清晰,便于区域对比与界定,故本文建议将该以升降(造陆)性质为主的运动统一命名为雪峰运动,是扬子地块周缘820~720 Ma时期陆缘、陆内裂谷盆地向被动陆缘、陆内陆表海盆地转换的重要构造运动。

因寒冷气候或差异升降的雪峰运动影响,扬子地块周缘820~720 Ma左右时期发育的裂谷盆地大部分在720 Ma左右已萎缩关闭隆起,仅湘黔桂相邻区的贵州三都—锦屏—湖南会同—隆回与广西灌阳—龙胜之间残留了海域沉积(陈建书等,2016a,

b;湖南省地质调查院,2017;贵州省地质调查院,2017;广西壮族自治区区域地质调查研究院,2019),表现为南华系长安组与下江(丹洲、高涧)群为海相连续沉积。贵州三都—锦屏—湖南会同—隆回一线之北西渐次缺失长安组、富禄组中下部沉积,使缺失中下部的富禄组、古城组(对比于富禄组上部)呈平行不整合或微角度不整合,渐次上超叠覆到板溪群不同层位之上。在扬子陆块东缘及鄂西南地区亦因古地貌差异,缺失南华系长安组及富禄组中—下部沉积,表现为古城组、或南沱组平行不整合或微角度不整合于与板溪群沉积中晚期(800~720 Ma左右)相当的溁水河组、莲沱组、休宁组、志棠组之上;在扬子北缘鄂东南及扬子西缘,则缺失长安组、富禄组及大塘坡组,表现为南沱组、列古六组平行不整合或微角度不整合于莲沱组、苏雄组、开建桥组、澄江组之上,或角度不整合于土门岩组、大红山岩群、盐边群之上,或角度不整合于中元古界打鼓石群、神农架群、会理群、昆阳群之上,甚或震旦系陡山沱组角度不整合于打鼓石群、神农架群、昆阳群之上。反映出晋宁运动、武陵运动、雪峰运动中二个或三个构造运动界面的重合叠置为一个界面。客观记录了扬子陆块不同区域、不同构造古地理格局下地史发展演化的差异,亦表现为“一盖多底”与“一盖多底”的复杂而丰富的地质奇观(表1)。

雪峰运动下伏820~720 Ma时期裂谷盆地发展演化历程中,表现出较为剧烈的板内构造—岩浆热事件。在湘黔桂相邻地区的古丈、黔阳、通道、从江、龙胜三门等地产出了800~760 Ma左右花岗岩、基性—超基性岩、双峰式火山岩(葛文春,2001;Wang Xiaolei et al.,2008;Zhou Jibin et al.,2007;柏道远等,2010;戴传固等,2010,2012;陈建书,2014);在川西及浙西地区产出了基性、中酸性火山岩(四川省地质矿产局,1989;浙江省地质调查院,2019)。剧烈的构造—岩浆热事件产出了丰富的矿产资源,以从江地区产出于下江群中的金、银、铜、铅、锌等热液蚀变型矿产为代表。

雪峰运动后,扬子地块周缘大部分区域已隆升成陆,遭受剥蚀,海域仅残留于湘—黔—桂相邻区。随后冰融海浸,首先在湘—黔—桂相邻区沉积了南华系下统长安组,随后海水渐次向扬子陆块内部漫漫,至大塘坡—南沱组沉积时期海水已漫漫扬子陆块大部分地区。在大塘坡组沉积时期受次级裂陷及深大断裂控制,产出了著名的大塘坡式锰矿。南华冰期沉积结束后,扬子地块周缘转入被动陆缘盆地

发展阶段,海水由周缘全面向扬子陆块内部海浸,至震旦纪出现了较稳定沉积环境下的初始碳酸盐岩台地,随即早期生命大爆发和辐射来临,产出了著名的瓮安、蓝田、庙河、翁会、梅树村、澄江、凯里等生物群和震旦纪黔中、鄂西、湘西及早寒武纪早期昆阳、会泽、雷波、马边、峨眉、宁强、织金等等磷矿、天柱大河边重晶石矿。至寒武纪牛蹄塘组沉积时期沉积盆地发展至最大,产出了镍、钼、钒等多金属矿及页岩气,随后盆地萎缩,在早古生代末期扬子地块周缘被动陆缘盆地关闭,发生重大而影响广泛的广西(加里东)造山运动,扬子陆块转入陆内陆表海盆地发展阶段。

5 讨论

5.1 晋宁运动结束时限

目前在扬子地块周缘尚未见及出露完整、层序连续的新元古代早期(1000~900 Ma)地层,给新元古代早期地层序列建立、地史演化及晋宁运动结束时限的精确限定带来困难。未见底的双溪坞群年龄为930~860 Ma左右(浙江省地质调查院,2019),神农架地区郑家垭组最年轻碎屑锆石年龄为980 Ma左右、大红山地区大红山岩群和土门岩组年龄为950~820 Ma左右(湖北省地质调查院,2019)。晋宁运动命名的晋宁一带,柳坝塘组出露局限,年龄在900~830 Ma左右(高林志等,2015,2018)。本文依据出露的中元古代及新元古代早期地层及在1000 Ma左右发育较为广泛的构造—岩浆和变质变形事件,认为晋宁运动的客观存在确定无疑,但将晋宁运动结束时限限定在1000 Ma左右,尚缺乏客观实在的直接地质物质记录。扬子古陆在1000~900 Ma间究竟发生了怎样的地质事件和地史演化?其客观的物质记录在何处?是无沉积或是被剥蚀?在扬子东南缘未见底的冷家溪群及相当地层下伏存在隐伏的晋宁运动吗?确是急迫需要进一步深入研究与探讨的重大地质问题。

5.2 晋宁运动与武陵运动、雪峰运动

前人将晋宁与武陵运动认为是同一期构造运动的一个前提是昆阳群、神农架群、打鼓石群、张村群、溪口群、双溪坞群、双桥山群、冷家溪群、梵净山群、四堡群等等地层属中元古界(1800~1000 Ma),马槽园群、历口群、河上镇群、登山群、板溪群、下江群、高涧群、丹州群等属新元古界(1000~800 Ma);另外一个前提是在扬子西缘与北缘仅重视与强调了角度不整合界面下伏为昆阳群、会理群、打鼓石群、神农架

群,上覆为澄江组、苏雄组、开建桥组、莲沱组,而忽视了在部分地区澄江组、苏雄组、开建桥组及莲沱组等与下伏柳坝塘组、盐边群、原花山群间亦为角度不整合接触,同时柳坝塘组、盐边群、原花山群与下伏昆阳群、会理群、打鼓石群还存在一角度不整合接触界面的客观事实。

将晋宁运动与雪峰运动(澄江运动)运动等同与对比的原因,在于将现今新元古代800~720 Ma左右的澄江组、苏雄组、开建桥组、莲沱组、休宁组、志棠组等与现今南华系对比,并一同划归原震旦系下统或现今南华系。澄江组、苏雄组、开建桥组、莲沱组、或南沱组、甚或陡山沱在部分地区又与下伏中元古界昆阳群、神龙架群、打鼓石群、会理群呈角度不整合接触,出现晋宁运动和澄江运动界面下伏地层均为中元古界,故错误地将晋宁运动对比等同于澄江运动和雪峰运动。

5.3 晋宁运动与格林威尔造山运动

目前相关学者将晋宁运动、武陵造山运动与Grenville造山运动相对比,认为华南发生于中—新元古代(1000 Ma左右)间的造山运动,是对全球Grenville造山运动形成Rodinia超大陆的响应(刘鸿允,1991;陆松年,1998;陆松年等,2004,2010;李献华,1998;李献华等,2012;Li Zhengxiang et al., 1995;1999;Li Xianhua, 1999;凌文黎等,2000;王剑等,2000;徐备,2001;郝杰等,2004;汪正江等,2015;周传明,2016)。但目前已限定结束于距今820 Ma左右的武陵运动较Grenville造山运动晚180 Ma左右,显然不能等同于Grenville造山运动及其形成的Rodinia超大陆的响应。而晋宁造山运动结束于距今1000 Ma左右,可能确与Grenville造山运动相当。虽然在扬子古陆能明确确定为晋宁造山运动存在的区域有限,但这一时期的地质记录是恢复扬子古陆及其与Rodinia超大陆地质演化关系的重要依据,理应将扬子陆块放入全球视野进行系统研究。但不同地域、不同大地构造背景与古地理环境下的造山运动会有不同的地质构造响应,由此处碰撞造山隆升的中心与上覆地层呈现高角度不整合,远离碰撞造山中心区域则渐次变为低角度不整合,到彼处的平行不整合至整合。此处地壳伸展—离散—裂解为洋,彼处却可能汇聚—造山—隆升成陆,这是通过客观的地质物质记录,认识与研究地质历史发展演化的基本思路,即任何重大的地质事件(造山、岩浆活动、变质变形、成矿等)均应有特定的时空影响范围。全球重大的地质事件不是孤立,都应该有彼此

的联系或响应,将晋宁造山运动及华南板块的地质演化历程,与 Grenville 造山运动类比或置入 Rodinia 超大陆裂解的地质演化体系进行研究,意义重大,但尚需进行系统而全面的深入研究,才可能合理界定二者的联系与发展演化特征和异同。

5.4 新元古代地层序列及南华系底界

目前随着北方青白口系层型剖面的解体,新元古代地层序列及标准剖面的建立,是我国新元古代地层年代表中地层序列建立及划分对比的关键问题。年代地层格架的建立来源于岩石地层标准剖面,限定年代的标准剖面上的岩石地层序列充填于年代地层格架的地层表中,起区域地层划分与对比标准的作用。中国地层表(全国地层委员会等,2014)将武陵造山运动界面之下的梵净山群及相当地层(900~820 Ma)与武陵造山运动界面之上,南华系之下的下江群及相当地层(820~780(720) Ma)一并划归为“青白口系”,存在天然不足与缺憾。为了统一标准与应用一致,目前扬子地块周缘各省(区)市在新一代区域地质志中均采用了该方案,但亦有《中国区域地质志——贵州志》(贵州地质调查院,2017)提出,将 1000~820 Ma 左右武陵构造旋回期地层暂划归“青白口系”,在南华系已建立的情况下,将武陵运动与雪峰运动限定的 820~720 Ma 时期下江群及相当地层,应新建确立为一个系的建议。在扬子乃至华南地区精确识别与限定 1000~720 Ma 左右的地层,对完善我国新元古代地层序列有重大的现实和科学意义。已确定的地层序列宜先建立划分对比方案,尚不确定的继续深入研究,这对经历复杂地质演化而导致出露零星的前寒武纪地层研究,不失为客观合理与合适的方法。在湘黔桂相邻区发育完好而序列清楚的 820~635 Ma 左右时期地层,为补充完善中国地层表岩石地层序列,建立标准地层剖面提供了客观实在的地质物质记录。720~635 Ma 间的南华系已确立,对 820~720 Ma 时期以下江群为代表的地层,具有层序完整、出露连续、划分对比标准显著,已具备新建一个系级单位标准剖面的地质物质基础。汪正江(2008)曾建议将其建立为“板溪系”,陈建书等(2016a)建议将其启用确立为“下江系”。

目前大量的资料成果已将南华系底界限定在 720 Ma,国际地层表已于 2015 年至今将成冰系底界调整为 720 Ma,中国地层表(全国地层委员会等,2014)将南华系底界定于 780 Ma,给新元古界系级地层单元的地层序列的建立和划分与对比,武陵运

动、雪峰运动的研究与界定带来混乱与不便。如目前扬子地块周缘部分省区新一代区域地质志按中国地层表(全国地层委员会等,2014),将 800~720 Ma 南华裂谷盆地最大裂陷海泛时期的滨岸—冲积平原河湖环境下沉积的澄江组、莲沱组、休宁组、志棠组砂砾岩,陆相喷溢的上墅组、苏雄祖、开建桥组火山岩、碎屑岩组合人为划归为南华系寒冷气候事件地质物质记录(江西省地质调查院,2017;安徽省地质调查院,2017;浙江省地质调查院,2019;湖北省地质调查院,2019)。在澄江组、莲沱组、休宁组、志棠组中发育较多的火山碎屑沉积物,甚或苏雄祖、开建桥组以火山岩为主,从地层的区域时空展布与武陵运动后古地貌格局等的系统分析与研究,笔者等认为澄江组、莲沱组、休宁组、志棠组等应划分对比于湘黔桂相邻区的五强溪组、番召组、架枳田组及以上地层,这些地层发育大量的火山碎屑沉积物,与上墅组、苏雄祖、开建桥组以火山岩为主的岩石组合的岩浆事件构成对应,或可能提供了火山碎屑物源。从盆地演化及岩石建造特征上看,这些陆相沉积地层亦不是寒冷气候事件下的地质物质记录。陈建书等(2016a,b)、湖南地质调查院(2017)等对此进行了阐述及划分对比研究,故建议将南华系底界修订为 720 Ma,从而与国际成冰系底界对应,客观统一新元古代地层序列确立及划分对比,结束对晋宁运动、武陵运动和雪峰运动界定的分歧与混乱局面,为新元古代 820~635 Ma 时期大地构造属性、盆地演化及其成矿资源响应研究,提供客观实在的基础地质资料。

6 结论

(1) 晋宁造山运动结束于 1000 Ma 左右,是使昆阳群及相当地层变形变质,伴随的强烈构造—岩浆和成矿作用的重要造山事件,构成了扬子古陆结晶基底。晋宁构造旋回期时限应当限定为 1300~1000 Ma。

(2) 扬子地块周缘普遍发育的武陵造山运动结束于 820 Ma 左右,使梵净山群及相当地层褶皱和变形变质,并伴随了强烈的岩浆—成矿响应,构成扬子古陆的褶皱基底,武陵构造旋回期时限应当限定于 1000~820 Ma。

(3) 雪峰运动是以差异隆升(造陆)性质为主的构造运动,结束于 720 Ma 左右,是开启雪球地质事件发展演化的重要构造运动。

(4) 晋宁运动不等同于武陵运动,更不能等同

于雪峰运动或澄江运动,但三者在某些地区可能叠合成同一个不整合面或其中的两者在某些地区叠合成同一个不整合面。

致谢:中国地质科学院地质研究所高林志研究员、丁孝忠研究员、张恒博士、昆阳磷矿原总地质师张世山、云南省地质调查院李静研究员、刘军平高级工程师和云南国土资源规划院段向东研究员等协助野外考察及讨论论文手稿,UCL 宋思存修改英文,审稿专家提出有益建议,在此诚挚感谢!

注 释 / Notes

- ① 邓家藩,谢振西,申玉莲. 1963. 云南前震旦系层序及几个地质问题,中国地质学会云南省分会 1963 年首届学术年会论文集选集.
- ② 文献“薛步高. 1995. 昆阳群·地质矿产论文集.昆明: 云南科技出版社”报道说刘德华 1980 年首先命名会理、西昌运动.

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)

安徽省地质矿产局. 1987. 安徽省区域地质志. 北京:地质出版社.

安徽省地质调查院. 2017. 中国区域地质志——安徽志. 北京:地质出版社.

柏道远,贾宝华,刘伟,陈必河,刘耀荣,张晓阳. 2010. 湖南城步火成岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其对江南造山带新元古代构造演化的约束. 地质学报, 84(12): 1715~1726.

陈凤霖,谢渊,崔晓庄,孙志明,任光明,邓奇. 2018. 扬子西缘峨边群玄武岩年代学、地球化学特征及构造意义. 矿物岩石, 38(3): 76~86

陈建书,戴传固,彭成龙,杨凯迪,王敏,卢定彪. 2014. 黔东南从江地区新元古代下江期花岗岩斑岩的特征及其地质意义. 沉积与特提斯地质, 34(1): 61~67.

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. 2016a. 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): 1093~1113.

陈建书,戴传固,彭成龙,王敏,卢定彪,王雪华,骆珊. 2016b. 湘黔桂相邻区新元古代时期裂谷盆地充填序列与地层格架. 中国地质, 43(3): 899~920.

程裕淇,王鸿桢,李廷栋. 2006. 地质科学大辞典. 北京:地质出版社.

程裕淇,沈永和,张良臣,曹国权,范承钧,陈家义,杨明桂. 1995. 中国大陆的地质构造演化. 中国区域地质, 14(4): 289~294.

程裕淇. 1994. 中国区域地质概论. 北京:地质出版社.

储雪蕾, Wolfgang T, 张启锐, 陈福昆, 黄晶. 2005. 南华—震旦系界线的锆石 U-Pb 年龄. 科学通报, 50(6): 600~602.

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 年代学及其地质意义. 现代地质, 27(3): 547~556.

崔晓庄,江新胜,王剑,卓皆文,熊国庆,陆俊泽,刘建辉,汪正江,邓奇. 2012. 川西峨边地区金口河辉绿岩脉 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其对 Rodinia 裂解的启示. 地质通报, 31(7): 1131~1141.

戴传固,张慧,王敏,陈建书,卢定彪,曾昭光. 2010. 江南造山带西南段地质构造特征及其演化. 北京:地质出版社.

戴传固,王敏,陈建书,王雪华,卢定彪,彭成龙. 2012. 黔桂交界龙胜地区玄武岩—流纹英安岩组合特征及其地质意义. 地质通报,

31(9): 1379~1386.

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.

邓奇,王剑,汪正江,邱艳生,杨青雄,江新胜,杜秋定. 2013. 扬子北缘元古宇马槽群时代归属新证据—对地层对比和古地理格局的启示. 地质通报, 32(4): 631~638.

都汭,张永康. 1997. 东南区区域地层. 武汉:中国地质大学出版社.

杜利林,郭敬辉,耿元生,杨崇辉,刘福来,任留东,周喜文,刘平华. 2013. 扬子西南缘盐边群时代及构造环境: 来自碎屑沉积岩的约束. 岩石学报, 29(2): 641~72

杜秋定,汪正江,王剑,邱艳生,江新胜,杜秋定,杨菲. 2013. 湘中长安组碎屑锆石 LA-ICP-MS U—Pb 年龄. 地质论评, 59(2): 334~344

高林志,张传恒,史晓颖,周洪瑞,王自强. 2007. 华北青白口系下马岭组凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年. 地质通报, 26(3): 249~255.

高林志,杨明桂,丁孝忠,刘燕学,刘训,凌连海,张传恒. 2008a. 华南双桥山群及河上镇群凝灰岩中的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄——对江南新元古代造山带地质演化的制约. 地质通报, 27(10): 1744~1758.

高林志,张传恒,史晓颖,宋彪,王自强,刘耀明. 2008b. 华北古陆下马岭组归属中元古界的锆石 SHRIMP 年龄新证据. 科学通报, 53(21): 2617~2623.

高林志,戴传固,刘燕学,王敏,王雪华,陈建书,丁孝忠,张传恒,曹茜,刘建辉. 2010a. 黔东南—桂北地区四堡群凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地层学意义. 地质通报, 29(9): 1259~1267.

高林志,戴传固,刘燕学,王敏,王雪华,陈建书,丁孝忠. 2010b. 黔东南地区下江群甲路组凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地层意义. 中国地质, 37(4): 1071~1082.

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

高林志,陈峻,丁孝忠,刘耀荣,张传恒,张恒,刘燕学,庞维华,张玉海. 2011b. 湘东北岳阳地区冷家溪群及板溪群凝灰岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄——对武陵运动的制约. 地质通报, 30(9): 1001~1008.

高林志,戴传固,丁孝忠,王敏,刘燕学,王雪华,陈建书. 2011c. 侵入梵净山群白岗岩锆石 U-Pb 年龄及白岗岩底砾岩对下江群沉积的制约. 中国地质, 38(6): 1413~1420.

高林志,丁孝忠,张传恒,陆松年,刘燕学,庞维华. 2012. 江南古陆变质基底地层年代的修正和武陵运动构造意义. 资源调查与环境, 33(2): 71~76.

高林志,陆济璞,丁孝忠,王汉荣,刘燕学,李江. 2013. 桂北地区新元古代地层凝灰岩锆石 U-Pb 年龄及地质意义. 中国地质, 40(5): 1443~1452.

高林志,陈建书,戴传固,丁孝忠,王雪华,刘燕学,王敏,张恒. 2014. 黔东南地区梵净山群与下江群凝灰岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄. 地质通报, 33(7): 950~959.

高林志,尹崇玉,张恒,唐烽,丁孝忠,王约,张传恒. 2015. 云南晋宁地区柳坝塘组凝灰岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其对晋宁运动的制约. 地质通报, 34(9): 1595~1604

高林志,张恒,张传恒,丁孝忠,尹崇玉,武振杰,宋彪. 2018. 滇东昆阳群地层序列的厘定及其在中国地层表的位置. 地质论评, 64(2): 283~298.

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.

葛文春,李献华,李正祥,周汉文. 2001. 龙胜地区镁铁质侵入体年龄及其地质意义. 地质科学, 36(1): 112~118.

耿元生,旷红伟,柳永清,杜利林. 2017. 扬子地块西、北缘中元古代地层的划分与对比. 地质学报, 91(10): 2151~2174.

耿元生,陆松年. 2014. 中国前寒武纪地层年代学研究的进展和相关问题. 地学前缘, 21(2): 102~118.

耿元生,杨崇辉,王新社,杜利林,任留东,周喜文. 2008. 扬子地块西缘变质基底演化. 北京: 地质出版社.

耿元生,杨崇辉,王新社,任留东,杜利林,周喜文. 2007. 扬子地台西缘结晶基底的时代. 高校地质学报, 13(3): 429~441.

广西壮族自治区地质矿产局. 1987. 广西壮族自治区区域地质志. 北京: 地质出版社.

广西壮族自治区区域地质调查研究院. 2019. 中国区域地质志——广西志. 北京: 地质出版社.

贵州省地质矿产局. 1987. 贵州省区域地质志. 北京: 地质出版社.

贵州省地质调查院. 2017. 中国区域地质志——贵州志. 北京: 地质出版社.

韩瑶, 张传恒, 蒋先强, 游国庆, 刘子荟. 2016. 浙西北钟吕群流纹岩锆石 U-Pb 年龄及其年代地层学意义. 科技导报, 34(2): 104~109.

郝杰,翟明国. 2004. 罗迪尼亚超大陆与晋宁运动和震旦系. 地质科学, 39(1): 139~152.

郝杰,李曰俊,胡文虎. 1992. 晋宁运动和震旦系有关问题. 中国区域地质, (2): 131~140.

胡金,张世涛,杨昌华,郑绍刚. 2018. 峨山花岗岩及矿化岩体石英斑晶中流体包裹体特征及成矿意义. 矿产与地质, 32(3): 493~500

胡正祥,毛新武,田望学,李雄伟. 2015. 扬子陆块北缘大洪山地区发现晋宁期造山带. 中国地质调查, 2(2): 33~39.

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. 中国区域地质志——湖北志. 北京: 地质出版社.

湖南省地质矿产局. 1987. 湖南省区域地质志. 北京: 地质出版社.

湖南省地质调查院. 2017. 中国区域地质志——湖南志. 北京: 地质出版社.

花友仁. 1995. 扬子板块的地壳演化与地层对比. 地质与勘探, 31(2): 15~22.

黄邦强. 1979. 满银沟运动及两会地区紫红色含铁岩系的层位. 成都地质学院学报, 4(1): 21~27.

江西省地质矿产局. 1984. 江西省区域地质志. 北京: 地质出版社.

江西省地质调查院. 2017. 中国区域地质志——江西志. 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.

姜勇彪,张世红,吴怀春,韩以贵. 2006. 华南地块西南缘格林威尔期区域构造解析. 大地构造与成矿学, 30(2): 127~135.

孔令耀,毛新武,陈超,邓乾忠,张汉金,杨青雄,李琳静,李启文. 2017. 扬子北缘大洪山地区中元古代打鼓石群碎屑锆石年代学及其地质意义. 地球科学, 42(4): 485~501.

李怀坤,田辉,周红英,张健,刘欢,耿建珍,叶丽娟,相振群,瞿乐生. 2016. 扬子克拉通北缘大洪山地区打鼓石群与神农架地区神农架群的对比: 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及 Hf 同位素证据. 地学前缘, 23(6): 186~201.

李怀坤,张传林,相振群,陆松年,张健,耿建珍,瞿乐生,王志先. 2013. 扬子克拉通神农架群锆石和斜锆石 U-Pb 年代学及其构造意义. 岩石学报, 29(2): 673~697.

李廷栋. 1984. 中国构造运动期序和构造发展阶段. 中国区域地质, 2(1): 12~25.

李廷栋. 1982. 中国地质构造发展历程. 中国地质科学院院报, 第 4 号: 1~15.

李希勤,吴懋德. 1984. 昆阳群的层序及顶底问题. 地质论评, 30(5): 399~407.

李希勤. 1993. 建立康滇地轴区中一晚元古代层型部面的建议. 云南地质, 12(1): 101~108.

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.

李献华,王选策,李武显,李正祥. 2008. 华南新元古代玄武质岩石成因与构造意义: 从造山运动到陆内裂谷. 地球化学, 41(4): 382~398.

李献华. 1999. 广西北部新元古代花岗岩的锆石 U-Pb 年代学及其构造意义. 地球化学, 28(1): 1~9.

李献华. 1998. 华南晋宁期造山运动——地质年代学和地球化学制约. 地球物理学报, 41(增刊): 185~194

廖光宇. 1980. 对云南东川地区前寒武系地质几个问题的看法. 西南地质科技情报, (3): 3~4.

凌文黎,程建萍. 2000. Rodinia 研究意义、重建方案华南晋宁期构造运动. 地质科技情报, 19(3): 7~11.

刘宝珺,许效松. 1994. 中国南方岩相古地理图集(震旦—三叠纪). 北京: 科学出版社.

刘浩,徐大良,魏运许,邓新,彭练红. 2017. 湖北大洪山打鼓石群沉积时限—来自碎屑锆石 U-Pb 年龄的证据. 地质通报, 36(5): 715~724.

刘鸿允. 1991. 中国震旦系. 北京: 科学出版社: 117~125 .

刘军平,曾文涛,徐云飞,胡绍斌,孙柏东,宋冬虎,吕勃桦,王伟. 2018. 滇中峨山地区中元古界昆阳群黑山头组火山岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 地质通报, 37(11): 2063~2070.

陆俊泽,江新胜,王剑,卓皆文,熊国庆,崔晓庄. 2013. 滇东北巧家地区新元古界澄江组 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 矿物岩石, 33(2): 65~71.

陆松年,李怀坤,相振群. 2010. 中国中元古代同位素地质年代学研究进展述评. 中国地质, 37(4): 1002~1013.

陆松年,李怀坤,陈志宏,于海峰,金巍,郭坤一. 2004. 新元古时期中国古大陆与罗迪尼亚超大陆的关系. 地学前缘(中国地质大学, 北京) 11(2): 515~523.

陆松年. 1998. 新元古时期 Rodinia 超大陆研究进展述评. 地质论评, 44: 489~495

马丽芳,乔秀夫,闵隆瑞,范本贤,丁孝忠. 2002. 中国地质图集. 北京: 地质出版社.

庞维华,任光明,孙志明,尹福光. 2015. 扬子地块西缘古一中元古代地层划分对比研究: 来自通安组火山岩锆石 U-Pb 年龄的证据. 中国地质, 42(4): 921~936.

邱艳生,胡正祥,杨青雄,周世卿,田望学,李雄伟. 2013. 华南“马槽园群”年代及其地层学意义. 资源环境与工程, 27(3): 28~334.

全国地层委员会,中国地质调查局. 2014. 中国地层表. 北京: 地质出版社.

任光明,庞维华,孙志明,尹福光. 2014. 扬子西缘会理地区通安组角闪岩锆石 U-Pb 定年及其地质意义. 矿物岩石, 34(2): 33~39.

单翔麟. 1993. 中国南方青白口系的厘定. 石油实验地质, 15(2): 146~159.

申玉莲. 1973. “满银沟运动”的地质特征. 西南地质科技情报, (1): 2~4.

沈少雄. 1999. 昆阳群柳坝塘组层位的再次确认及有关问题的讨论. 云南地质, 18(2): 190~195.

- 舒良树. 2012. 华南构造演化的基本特征. 地质通报, 53(21): 1035~1053.
- 四川省地质矿产局. 1991. 四川省区域地质志. 北京: 地质出版社.
- 孙海清, 黄建中, 江新胜, 罗来, 马慧英, 伍皓. 2013. 扬子东南缘“南华纪”盆地演化—来自新元古代花岗岩的年龄约束. 中国地质, 40(6): 1725~1733.
- 孙海清, 黄建中, 郭乐群, 陈俊. 2012. 湖南冷水溪群划分及同位素年龄约束. 华南地质与矿产, 28(1): 20~26.
- 孙家聪. 1988. 论昆阳群的划分及对比. 昆明工学院学报, 3: 16~51.
- 孙志明, 尹福光, 关俊雷, 刘建辉, 李军敏, 耿全如, 王立全. 2009. 云南东川地区昆阳群黑山组凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地层学意义. 地质通报, 28(7): 896~900.
- 唐增才, 陈忠大, 胡开明, 周汉文, 吴小勇, 董学发, 赵旭东, 余盛强. 2018. 浙西开化地区新元古代(~828 Ma) 弧后盆地扩张—来自类复理石和辉绿岩墙的年代学和地球化学证据. 地球科学, 43(S2): 1~15.
- 田辉, 李怀坤, 周红英, 张健, 张阔, 耿建珍, 相振群, 瞿乐生. 2017. 扬子板块北缘花山群沉积时代及其对 Rodinia 超大陆裂解的制约. 地质学报, 91(11): 2387~2408.
- 田奇瑞. 1948. 湖南雪峰地轴与古生代海侵之关系. 地质论评, 13(Z2): 203~210.
- 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, 许效松, 江新胜, 杜秋定, 杨菲, 邓奇, 伍皓. 2013. 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, 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, 40(11): 1543~1551.
- 汪正江, 王剑, 谢渊, 杨平, 卓皆文. 2009. 重庆秀山凉桥板溪群红子溪组凝灰岩 SHRIMP 锆石测年及其意义. 中国地质, 36(4): 761~768.
- 汪正江. 2008. 关于建立“板溪系”的建议及其基础的讨论—以黔东南地区为例. 地质论评, 54(3): 298~306.
- 王鸿祯. 1986. 论中国前寒武地质时代及年代地层的划分. 地球科学, 11(5): 447~453.
- 王鸿祯. 1985. 中国古地理图集. 北京: 地图出版社.
- 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, 包超民, 高永华. 2000. 浙北富阳神功村二长花岗斑岩脉 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 地质通报, 22(9): 729~732.
- 王剑. 2000. 华南新元古代裂谷盆地演化——兼论与 Rodinia 解体的关系. 北京: 地质出版社.
- 王敏, 戴传固, 王雪华, 陈建书, 马会珍. 2011. 贵州梵净山白云母花岗岩锆石年代、铅同位素及对华南地壳生长的制约. 地学前缘, 18(5): 213~223.
- 吴根耀. 1982. 川西滇东地区前震旦系地层若干新知. 云南地质, (1): 72~84.
- 吴懋德, 段锦荪. 1990. 云南昆阳群地质. 昆明: 云南科技出版社.
- 吴懋德. 1978. 滇中前寒武系含铁层位及某些富铁矿有关问题的探讨, 矿产专辑, 铁矿(一). 北京: 地质出版社.
- 熊国庆, 江新胜, 崔晓庄, 卓皆文, 陆俊泽, 刘建辉, 汪正江, 王剑. 2013. 扬子西缘元古宙峨边群烂包坪组地层归属及其锆石 SHRIMP U-Pb 年代学证据. 地学前缘, 20(4): 350~360.
- 熊家壩. 1993. 云南东部中一新元古代地层界线的厘定与对比. 云南地质, 12(1): 37~43.
- 徐备. 2001. Rodinia 超大陆构造演化研究的新进展和主要目标. 地质科技情报, 20(1): 15~19.
- 薛步高. 2000. 昆阳群层序与对比问题. 云南地质, 20(4): 376~384.
- 薛步高. 1995. 昆阳群. 地质矿产论文集. 昆明: 云南科技出版社.
- 鄢芸樵. 1986. 对“昆阳群的层序及顶底问题”一文的商榷. 地质论评, 22(3): 295~299.
- 杨崇辉, 耿元生, 杜利林, 任留东, 王新社, 周喜文, 杨铸生. 2009. 扬子地块西缘 Grenville 期花岗岩的厘定及其地质意义. 中国地质, 36(03): 647~657.
- 杨明桂, 刘亚光, 黄志忠, 吴富江, 宋志瑞. 2012. 江西中新元古代地层的划分及其与邻区对比. 中国地质, 39(1): 43~53.
- 杨森楠. 1989. 华南裂陷系的建造特征和构造演化. 地球科学——中国地质大学学报, 14(1): 29~36.
- 杨邈和. 1985. 川滇地区元古宙地壳演化初探. 四川地质学报, 1(1): 28~39.
- 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 定年证据. 科学通报, 48(16): 1721~1725.
- 尹福光, 孙志明, 任光明, 王冬兵. 2012. 上扬子陆块西南缘早一中元古代造山运动的地质记录. 地质学报, 86(12): 1917~1932.
- 尹福光, 孙志明, 白建科. 2011a. 东川、滇中地区中元古代地层格架. 地层学杂志, 35(1): 49~54.
- 尹福光, 孙志明, 张璋. 2011b. 会理—东川地区中元古代地层—构造格架. 地质论评, 57(6): 770~778.
- 云南省地质矿产局. 1997. 云南省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 云南省地质矿产局. 1988. 云南省区域地质志. 北京: 地质出版社.
- 曾雯, 周汉文, 钟增球, 曾昭光, 李惠民. 2005. 黔东南新元古代岩浆单颗粒锆石 U-Pb 年龄及其构造意义. 地球化学, 34(6): 1401~1427.
- 张传恒, 高林志, 武振杰, 史晓颖, 阎全人, 李大建. 2007. 滇中昆阳群凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄: 华南格林威尔期造山的证据. 科学通报, 52(7): 818~824.
- 张恒, 高林志, 李廷栋, 耿树方, 刘燕学, 丁孝忠, 史志刚. 2015. 浙西地区新元古代骆家门组 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 地质通报, 34(2~3): 447~455.
- 张克信, 徐亚东, 何卫红, 于洋, 王丽君, 王嘉轩, 寇晓虎, 骆满生. 2018. 中国新元古代青白口纪早期(1000~820 Ma) 洋陆分布. 地球科学, 43(11): 3837~3852.
- 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.
- 张启锐, 储雪蕾, 冯连均. 2008. 南华系“溧水河”的对比及其冰川沉积特征的探讨. 地层学杂志, 32(3): 246~252.
- 张启锐, 储雪蕾. 2007. 南华系建系问题探讨. 地层学杂志, 31(3): 321~327.
- 张彦杰, 周效华, 廖圣兵. 2010. 皖赣鄱公山地区新元古代地壳组成及造山过程. 地质学报, 84(10): 1401~1427.
- 赵自强, 熊恩锡. 1997. 中南区区域地层. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 浙江省地质矿产局. 1989. 浙江省区域地质志. 北京: 地质出版社.
- 浙江省地质调查院. 2019. 中国区域地质志——浙江志. 北京: 地质出版社.
- 中国地层典编委会. 1996. 中国地层典. 新元古界. 北京: 地质出版社.
- 中国地层典编委会. 1999. 中国地层典. 中元古界. 北京: 地质出版社.
- 中国地质调查局科技外事部. 2010. 扬子地台西缘前寒武纪地层野外现场会纪要. 地层学杂志, 34(3): 336.
- 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.

- 周金城,王孝磊,邱检生. 2009. 江南造山带形成过程中若干新元古代地质事件. 高校地质学报, 15(4):453~459.
- 周效华,高天山,马雪,邢光福,袁强. 2014. 在聚焦“神功运动”. 资源调查与环境, (2):76.
- 周效华,张彦杰,廖圣兵,余明刚,陈志洪,赵希林,姜杨,蒋仁. 2012. 皖赣相邻地区双桥山群火山岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 高校地质学报, 18(4):609~622.
- 竺国强,戈定一,张伯南,何廷贵,陈健. 1981. 论“满银沟运动”及其意义. 成都地质学院学报, 10(1):32~42.
- 卓皆文,江新胜,王剑,崔晓庄,伍皓,熊国庆,陆俊泽,江卓斐. 2015. 川西新元古界开建桥组底部沉凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义. 矿物岩石, 35(1):91~99.
- 卓皆文,江卓斐,江新胜,王剑,蔡娟娟,熊国庆,陆俊泽,崔晓庄,刘建辉. 2017. 川西新元古代苏雄组层型剖面 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 地质论评, 63(1):177~188.
- All China Commission of Stratigraphy, China Geological Survey. 2014#. Stratigraphic Chronology of China, Beijing: Geological Publishing House.
- Anhui Institute of Geological Survey. 2017#. Regional Geology of Anhui Province. Beijing: Geological Publishing House.
- Bai Daoyuan, Jia Baohua, Liu Wei, Chen Bihe, Liu Yaorong, Zhang Xiaoyang. 2010#. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the igneous rocks from Chenbu, Hunan; Constraint on the Neoproterozoic tectonic evolution of the Jiangnan Orogenic Belt. Acta Geologica Sinica, 84(12):1715~1726.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Anhui Province. 1987#. Regional Geology of Anhui Province. Beijing: Geological Publishing House.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Guangxi Province. 1987#. Regional Geology of Guangxi Autonomous Province. Beijing: Geological Publishing House.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Guizhou Province. 1987#. Regional Geology of Guizhou Province. 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 Hubei Province. 1997#. Lithostratigraphy of Yunnan Province. Wuhan: Publishing House of China University of Geosciences.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Hunan Province. 1987#. Regional Geology of Hunan Province. Beijing: Geological Publishing House.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Jiangxi Province. 1987#. Regional Geology of Jiangxi Province. Beijing: Geological Publishing House.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Sichuan Province. 1991#. Regional Geology of Sichuan Province. Beijing: Geological Publishing House.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Yunnan Province. 1988#. Regional Geology of Yunnan Province. Beijing: Geological Publishing House.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Zhejiang Province. 1989#. Regional Geology of Zhejiang Province. Beijing: Geological Publishing House.
- Chen Fenglin, Xie Yuan, Cui Xiaozhuang, Sun Zhiming. 2018#. Geochronology, geochemistry and tectonic Implications of basalts from the Ebian Group in the western Yangtze block, South China. J. mineral. Petrol., 38(3):76~86.
- Chen Jianshu, Dai Chuangu, Peng Chenglong, Yang Kaide, Wang Min, Lu Dingbiao. 2014#. Characteristics and geological implications of the Xiajiangian (Neoproterozoic) granite porphyry in the Congjiang region, Southeastern Guizhou. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 34(1):61~71.
- Chen Jianshu, Dai Chuangu, Peng Chenglong, Lu Dingbiao, Wang Xuehua, Wang Min, Bao Lixin, Zhang Deming, Luo Shan. 2016a#. 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):1093~1113.
- Chen Jianshu, Dai Chuangu, Peng Chenglong, Wang Min, Lu Dingbiao, Wang Xuehua, Luo Shan. 2016b#. The filling sequence and stratigraphic framework of rift basin during the Neoproterozoic 820~635 Ma in Hunan, Guizhou and Guangxi Province. Geology in China, 43(3):899~920.
- Cheng Yuqi, Wang Hongzhen, Li Tingdong. 2006#. Dictionary of Geological Science. Beijing: Geological Publishing House.
- Cheng Yuqi, Shen Yonghe, Zhang Liangchen, Cao Guoquan, Fan Chengjun, Chen Jiayi, Yang Minggui. 1995#. Geological tectonic evolution of China continent. Regional Geology of China, 14(4):289~294.
- Cheng Yuqi. 1994#. An Introduction to Regional Geology of China. Beijing: Geological Publishing House.
- Chu Xuelei, Wolfgang T, Zhang Qirui, Huang Jing. 2005#. Zircon U-Pb dating for the boundary between Nanhuaan and Sinian. Chinese Sci. Bull., 50(6):600~602.
- Cui Xiaozhuang, Jiang Xinsheng, Wang Jian, Zhuo Jiewen, Xiong Guoqing, Lu Junze, Liu Jianhui, Wang Zhengjiang, Deng Qi. 2012#. Zircon SHRIMP U-Pb age of Jinkouhe diabase dykes in Ebian area of western Sichuan Province and its implications for the breakup of Rodinia. Geological Bulletin of China, 31(7):1131~1141.
- Cui Xiaozhuang, Jiang Xinsheng, Wang Jian, Deng Qi, Wu Hao, Zhuo Jiewen, Lu Junze. 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.
- Dai Chuangu, Wang Min, Chen Jianshu, Wang Xuehua, Lu Dingbiao, Peng Chenglong. 2012#. Basalt dacite assemblage in Longsheng district of the Guizhou—Guangxi border area and its geological implications. Geological Bulletin of China, 31(9):1379~1386.
- Dai Chuangu, Zhang Hui, Wang Min, Chen Jianshu, Lu Dingbiao, Zeng Zhaoguang. 2000#. Geological Characteristics and Tectonic Evolution of the Southwestern Segment of the Jiangnan Orogen. Beijing: Geological Publishing House.
- Dan xianglin. 1993#. On the stipulation of the Qingbaikou System in the south China. Experimental Petroleum Geology. 15(2):146~159.
- Deng Qi, Wang Jian, Wang Zhengjiang, Qiu Yansheng, Yang Qingxiong, Jiang Xinsheng, Du Qiuding. 2013#. New evidence for the age of the Macaoyuan Group on the northern margin of the Yangtze block, South China—implications for stratigraphic correlation and palaeogeographic framework. Geological Bulletin of China, 32(4):631~638.
- Deng Qi, Wang Zhengjiang, Yang Fei, Cui Xiaozhuang, Wang Jian, Reng 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 Lilin, Guo Jinghui, Geng Yuansheng, Yang Chonghui, Liu Fulai, Ren Liudong, Zhou Xiwen, Liu Pinghua. 2013&. Age and tectonic setting of the block: Sinian Yanbian Group in the southwestern Yangtze: Constraints from clastic sedimentary rocks. *Acta Petrologica Sinica*, 29(2):641~672.
- 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.
- Du Xun, Zhang Yongkang. 1997#. Regional strata in Southeast China. Wuhan: Publishing House of China University of Geosciences.
- Editorial Committee of the Stratigraphic Standard of China. 1996#. Stratigraphic Standard of China, Neoproterozoic, Beijing: Geological Publ House.
- Editorial Committee of the Stratigraphic Standard of China. 1999#. Stratigraphic Standard of China, Mesoproterozoic. Beijing: Geological Publ House.
- Gao Linzhi, Zhang Chuanheng, Shi Xiaoying, Zhou Hongrui, Wang Ziqiang. 2007&. SHRIMP U-Pb dating of the tuff bed in the Xiamaling Formation of the Qingbaikouan System in North China. *Geological Bulletin of China*, 26(3):249~255.
- Gao Linzhi, Yang Minggui, Ding Xiaozhong, Liu Yanxue, Liu Xun, Ling Lianhai, Zhang Chuanheng. 2008a&. SHRIMP U-Pb Zircon dating of tuff in the Shuangqiaoshan and Heshangzhen Groups in south China: Constraints on the evolution of the Jiangnan Neoproterozoic Organic Belt. *Geological Bulletin of China*, 27(10):1744~1758.
- Gao Linzhi, Zhang Chuanheng, Shi Xiaoying, Song Biao, Wang Ziqiang, Liu Yaoming. 2008b&. Mesoproterozoic age for Xiamaling Formation in North China Plate indicated by zircon SHRIMP dating. *Chinese Science Bulletin*, 53(21):2617~2623.
- Gao Linzhi, Dai Chuangu, Liu Yanxue, Wang Min, Wang Xuehua, Chen Jianshu, Ding Xiaozhong, Zhang Chuanheng, Cao Qian, Liu Jianhui. 2010a&. Zircon SHRIMP U-Pb dating of tuff bed of the Sibao Group in southern Guizhou northern Guangxi area, China and its stratigraphic implication. *Geological Bulletin of China*, 29(9):1259~1267.
- Gao Linzhi, Dai Chuangu, Liu Yanxue, Wang Min, Wang Xuehua, Chen Jianshu, Ding Xiaozhong. 2010b&. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the tuffaceous bed of Xiajiang Group in Guizhou Province and its stratigraphic implication. *Geology in China*, 37(4):1071~1082.
- Gao Linzhi, Ding Xiaozhong, Pang Weihua, Zhang Chuanheng. 2011a&. 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 Linzhi, Chen Jun, Ding Xiaozhong, Liu Yaorong, Zhang Chuanheng, Zhang Heng, Liu Yanxue, Pang Weihua, Zhang Yuhai. 2011b&. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the tuff bed of Lengjiaxi and Banxi Groups, northeastern Hunan: Constraints on the Wuling Movement. *Geological Bulletin of China*, 30(7):1001~1008.
- Gao Linzhi, Dai Chuangu, Ding Xiaozhong, Wang Min, Liu Yanxue, Wang Xuehua, Chen Jianshu. 2011c&. SHRIMP U-Pb dating of intrusive alaskite in the Fanjingshan Group and alaskite basal conglomerates: Constraints on the deposition of the Xiajiang Group. *Geology in China*, 38(6):1413~1420.
- Gao Linzhi, Ding Xiaozhong, Zhang Chuanheng, Lu Songnian, Liu Yanxue, Pang Weihua. 2012&. Amendment of the ages of the metamorphic basement strata of the ancient continent in the south of the Yangtze River and the tectonic significance of the Wuling Movement. *Resource Survey and Environment*, 33(2):71~76.
- Gao Linzhi, Lu Jipu, Ding Xiaozhong, Wang Hanrong, Liu Yanxue, Li Jiang. 2013&. Zircon U-Pb dating of Neoproterozoic tuff in south Guangxi and its implications for stratigraphic correlation. *Geology in China*, 40(5):1443~1452.
- Gao Linzhi, Chen Jianshu, Dai Chuangu, Ding Xiaozhong, Wang Xuehua, Liu Yanxue, Wang Min, Zhang Heng. 2014&. SHRIMP zircon U-Pb dating of tuff in Fanjingshan Group and Xiajiang Group from Guizhou and Hunan Provinces and its stratigraphic implications. *Geological Bulletin of China*, 33(7):950~959.
- Gao Linzhi, Yin Chongyu, Zhang Heng, Tang Feng, Ding Xiaozhong, Wang Yue, Zhang Chuanheng. 2015&. SHRIMP U-Pb dating of the Liubatang Formation in the Jinning area Yunnan Province, and its implication for the Jinning Movement. *Geological Bulletin of China*, 34(9):1595~1604.
- Gao Linzhi, Zhang Heng, Zhang Chuanheng, Ding Xiaozhong, Yin Chongyu, Wu Zhenjie, Song Biao. 2018&. Collate and stipulate the sequences of the Mesoproterozoic Kunyang Group in eastern Yunnan and its position in stratigraphic column of China. *Geological Review*, 64(2):283~298.
- Gao Wei, Zhang Chuanheng. 2009&. Zircon SHRIMP U-Pb age of Huangling and Liantuo Formation tuff in the Three Gorges of Yangtze River and its tectonic stratigraphic significance. *Geological Bulletin of China*, 28(1):45~50.
- Ge Wenchun, Li Xianhua, Li Zhengxiang, Zhou Hanwen. 2001&. Mafic intrusions in Longsheng area age and its geological implications. *Chinese Journal of Geology*, 36(1):112~118.
- Geng Yuansheng, Kuang Hongwei, Liu Yongqing, Du Lilin. 2017&. Subdivision and correlation of the Mesoproterozoic stratigraphy in the western and northern margins of Yangtze Block. *Acta Geologica Sinica*, 91(10):2151~2174.
- Geng Yuansheng, Lu Songnian. 2014&. Advances in the study of Precambrian chronostratigraphy in China: A review. *Earth Science Frontiers*, 21(2):102~118.
- Geng Yuansheng, Yang Chonghui, Wang Xinshe, Du Lilin, Ren Liudong, Zhou Xiwen. 2007&. Age of crystalline basement in western margin of Yangtze terrane. *Geological Journal of China Universities*, 13(3):429~441.
- Geng Yuansheng, Yang Chonghui, Wang Xinshe, Du Lilin, Ren Liudong, Zhou Xiwen. 2008&. Metamorphic Basement Evolution in Western Margin of Yangtze Block. Beijing: Geological Publishing House.
- Guangxi Institute of Geological Survey. 2019&. Regional Geology of Guizhou Province. Beijing: Geological Publishing House.
- Guizhou Institute of Geological Survey. 2017&. Regional Geology of Guizhou Province. Beijing: Geological Publishing House.
- Han Yao, Zhang Chuanheng, Jiang Xianqiang, You Guoqing, Liu Zihui. 2016&. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the rhyolite from the Zhonglü Group, northwestern Zhejiang Province, and its chronostratigraphic significance. *Technology Guide*, 34(2):104~109.
- Hang Bangqiang. 1979#. "Man Yingou movement" and the horizon of purple red iron bearing rock series in Huili and Huidong area. *Journal of Chengdu Institute of Geology*, 4(1):21~27.
- Hao Jie, Li Yuejun, Hu Wenhui. 1992#. Problems related to the Jinning Movement and the Sinian system. *Regional Geology of China*, (2):

- 131~140.
- Hao Jie, Zhai Mingguo. 2004. Jinning Movement and Simian System in China, their relationship with Rodinia Supercontinent. *Scientia Geologica Sinica*, 39(1):139~152.
- Hu Jin, Zhang Shitao, Yang Changhua, Zheng Shaogang. 2018. Characteristics and metallogenic significance of fluid inclusions in quartz phenocryst from both granite and ore bearing granite in the Eshan granite batholiths. *Mineral Resources and Geology*, 32(3):493~500.
- Hu Zhengxiang, Mao Xinwu, Tian Wangxue, Li Xiongwei. 2015. Discovery of the Jinning Orogenic Belt on the northern margin of Yangtze Craton in Mountain Dahong. *Geological Survey of China*, 2(2):33~39.
- Hua Youren. 1995. Crust evolution and stratigraphic correlation of Yangtze Plate. *Geology and Prospecting*, 31(2):15~22.
- Hubei Institute of Geological Survey. 2019. Regional Geology of Hubei Province. Beijing: Geological Publishing House.
- Hunan Institute of Geological Survey. 2017. Regional Geology of Hunan Province. Beijing: Geological Publishing House.
- Jiangxi Institute of Geological Survey. 2017. Regional Geology of Jiangxi Province. Beijing: Geological Publishing House.
- Jiang Xinsong, Wang Jian, Cui Xiaozhuang, Zuo Jiwen, 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 (Series D): Earth Science*, 42(10):1496~1507.
- Jiang Yongbiao, Zhang Shihong, Wu Huaichun, Han Yigui. 2006. Structural analysis on Grenville-aged deformation in the southwest margin of South China Block. *Geotectonica et Metallogenia*, 30(2):127~135.
- Kong Lingyao, Mao Xinwu, Chen Chao, Deng Qianzhong, Zhang Jinhan, Yang Qingxiong, Li Linjing, Li Qiwen. 2017. Chronological study on detrital zircons and its geological significance from Mesoproterozoic Dagushi Group in the Dahongshan area, north margin of the Yangtze Block. *Earth Science*, 42(4):485~501.
- Lan Zhongwu, Li Xianhua, Zhang Qirui, Li Qiuli. 2015. Global synchronous initiation of the 2nd episode of sturion glaciations: SIMS zircon U-Pb and O isotope evidence from the Jiangkou Group, south China. *Precambrian Research*, 267:28~38.
- Lan Zhongwu, Li Xianhua, Zhu Maoyan, Chen Zhongqiang, Zhang Qirui, Li Qiuli, Lu Dingbiao, Liu Yu. 2014. A rapid and synchronous initiation of the wide spread Cryogenian glaciations. *Precambrian Research*, (255):401~411.
- Li Huaikun, Tian Hui, Zhou Hongying, Yao Chunqun, Liu Huan, Geng Jianzhen, Ye Lijuan, Xiang Zhenqun, Qu Lesheng. 2016. Correlation between the Dagushi Group in the Dahongshan area and the Shennongjia Group in the Shennongjia area on the northern margin of the Yangtze Craton: Constraints from zircon U-Pb ages and Lu-Hf isotopic systematics. *Earth Science Frontiers*, 23(6):186~201.
- Li Huaikun, Zhang Chuanlin, Xiang Zhenqun, Lu Songnian, Zhang Jian, Geng Jianzhen, Qu Lesheng, Wang Zhixian. 2013. Zircon and baddeleyite U-Pb geochronology of the Shennongjia Group in the Yangtze Craton and tectonic significance. *Acta Petrologica Sinica*, 9(2):673~69.
- Li Tingdong. 1982. The development of geological structures in China. *Bulletin Chinese Acad. Geol. Sci.*, (4):1~15.
- Li Tingdong. 1984. The Sequence of the tectonic movements and the megastages of tectonic development in China. *Regional Geology of China*, 2(1):12~25.
- Li Xianhua, Li Wuxian, Li Zhengxiang, Lo Chinghua, Wang Jian, Ye Meifang, Yang Yueheng. 2009. Amalgamation between the Yangtze and Cathaysia Blocks in south China: Constraints from SHRIMP U-Pb zircon ages, geochemistry and Nd-Hf isotopes of the Shuangxiwu volcanic rocks. *Precambrian Research*, 174:117~128.
- Li Xianhua, Li Zhengxiang, Ge Wenchun, Zhou Hanwen, Li Wuxian, Liu Ying, Mishael T D W. 2003. Neoproterozoic granitoids in south China: Crustal melting above a mantle plume at ca. 825 Ma. *Precambrian Research*, 122:45~83.
- Li Xianhua. 1999. U-Pb zircon ages of granites from the southern margin of the Yangtze Blocks: Timing of Neoproterozoic Jinning orogeny in SE China and implications for Rodinia assembly. *Precambrian Research*, 97:43~57.
- Li Xianhua. 1998. The Jinning Orogeny in southeast China: Geochronological and Geochemical constraints. *Acta Geophysica Sinica*, 41(Supp.):185~194.
- Li Xianhua. 1999. U-Pb zircon ages of granites from northern Guangxi and their tectonic significance. *Geochimica*, 28(1):1~9.
- Li Xiji, Wu Maode. 1984. The stratigraphic sequence of the Kunyang Group and its top and bottom boundaries. *Geological Review*, 30(5):399~407.
- Li Xiji. 1993. Preliminary discussion on establishment of Middle and Late Proterozoic stratotype section in the Xikang—Yunnan axis region. *Yunnan Geology*, 12(1):101~108.
- Li Zhengxiang, Li Xianhua, Kinny P D. 1999. The breakup of Rodinia: Did it start with a plume beneath south China. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 173:171~181.
- Li Zhengxiang, Zhang Linghua. 1995. South China Rodinia: Part of the missing link between Australia—East Antarctica and Laurentia. *Geology*, 23:407~410.
- Liao Guangyu. 1980. Some views on Precambrian geology in Dongchuan area, Yunnan Province. *Southwest Geological Science and Technology Information*, (3):3~4.
- Ling Wenli, Cheng Jianping. 2000. Significance and reconstruction models of Rodinia supercontinent and Jinningian tectonics in south China. *Geological Science and Technology Information*, 19(3):7~11.
- Liu Baojun, Xu Xiaosong. 1994. Lithofacies paleogeographic Atlas of South China (Sinian—Triassic). Beijing: Science Press.
- Liu Hao, Xu Daliang, Wei Yunxu, Deng Xin, Peng Lianhong. 2017. Depositional age of the Dagushi Group in the Dahong Mountain, Hubei Province: Evidence from U-Pb ages of detrital zircons. *Geological Bulletin of China*, 36(5):715~725.
- Liu Hongyun, Dong Rongsheng, Li Jianlin and Yang Yanjun. 1980. Problems of classification and correlation of the Sinian System. *Chinese Jour. Geol. (formerly, Scientia Geologica Sinica)*, (4):307~321.
- Liu Hongyun. 1991. The Sinian System in China. Beijing: Science Press:117~125.
- Liu Junping, Zeng Wentao, Xu Yunfei, Hu Shaobin, Sun Baidong, Song Donghu, Lü Boye, Wang Wei. 2018. U-Pb age of zircons of the volcanic rocks from Heishantou Formation of Mesoproterozoic Kunyang Group in Eshan County, central Yunnan Province, and its geological significance. *Geological Bulletin of China*, 37(11):2063~2070.

- Lu Junze, Jiang Xinsheng, Wang Jian, Zhuo Jiewen, Xiong Guoqing, Cui Xiaozhuang. 2013#. SHRIMP zircon U-Pb age and its geological significance of Neoproterozoic Chengjiang Formation in Qiaojia area, northeast Yunnan. *J. Mineral. Petrol.*, 33(2):65~71.
- Lu Songnian, Li Huaikun, Chen Zhihong, Yu Haifeng, Jin Wei, Guo Kunyi. 2004#. Relationship between Neoproterozoic cratons of China and the Rodinia. *Earth Science Frontiers*, 11(2):515~523.
- Lu Songnian, Li Huaikun, Xiang Zhenqun. 2010#. Advances in the study of Mesoproterozoic geochronology in China: A review. *Geology in China*, 37(4):1002~1013.
- Lu Songnian. 1998#. Review on the research Progress of supercontinent in Neoproterozoic. *Geological Review*, 44(5):489~495.
- Ma Lifang, Qiaoxiufu, Min Longrui, Fan Benxian, Ding Xiaozhong. 2002#. *Geological Atlas of China*. Beijing: Geological Publishing House.
- Mish B F. 1942. The Sinian strata in the eastern—central Yunnan Province. *Bull. Geol. Soc. China*, 16:1~12.
- Pang Weihua, Ren Guangming, Sun Zhiming, Yin Fuguang. 2015#. Division and correlation of Paleo—Mesoproterozoic strata on the western margin of Yangtze Block: Evidence from the U-Pb age of tuff zircon in the Tong'an Formation. *Geology in China*, 42(4):921~936.
- Qiu Yansheng, Hu Zhengxiang, Yang Qingxiong, Zhou Shiqing, Tian Wangxue, Li Xiongwei. 2013#. LA-ICP-MS U-Pb dating for the Macaoyuan Group in south China and its stratigraphic significance. *Resources Environment and Engineering*, 27(3):328~334.
- Ren Guangming, Pang Weihua, Sun Zhiming, Yin Fuguang. 2014#. Zircon U-Pb chronology of the amphibolites of Tongan formation and its geological significance. *J. Mineral. Petrol.*, 34(2):33~39.
- Science and Technology Department, China Geological Survey. 2010#. Minutes of meetings of Precambrian stratigraphic field in the West of Yangtze Plate. *Journal of Stratigraphy*, 34:336.
- Shen Shaoxiong. 1999#. Reconfirmation of Liubatang Formation of Kunyang Group and discussion of related problems. *Yunnan Geology*, 18(2):190~195.
- Shen Yulian. 1973#. Geological characteristics of “Manyingou movement”. *Southwest Geological Science and Technology Information*, (1):2~4.
- Shu Liangshu. 2012#. An analysis features of tectonic in South China Block. *Geological Bulletin of China*, 53(21):1035~1053.
- Sun Haiqing, Huang Jianzhong, Guo Lequn, Chenjun. 2012#. Subdivision and isotopic age of Lengjiaxi Group in Hunan Province. *Geology and Mineral Resources of South China*, 28(1):20~26.
- Sun Haiqing, Huang Jianzhong, Jiang Xinsheng, Luo Lai, Ma Huiying, Wu Hao. 2013#. The evolution of “Nanhuaian” rift basin on the southeastern margin of Yangtze Platform: Age constraints from the Neoproterozoic granites. *Geology in China*, 40(6):1725~1733.
- Sun Jiacong. 1988#. On Division of Kunyang Group in middle east Yunnan. *Journal of Kunming Institute of Technology*, 13(3):16~51.
- Sun Weihua, Zhou Meifu. 2012. The 860 Ma, Cordillerean-type Guandaoshan dioritic pluton in the Yangtze Block, SW China: Implications for the origin of Neoproterozoic magmatism. *The Journal of Geology*, 116:238~253.
- Sun Zhiming, Yin Fuguang, Guan Junlei, Liu Jianhui, Li Junmin, Geng Ruquan, Wang Liquan. 2009#. SHRIMP U-Pb dating and its stratigraphic significance of tuff zircons from Heishan Formation of Kunyang Group, Dongchuan area, Yunnan Province. *Geological Bulletin of China*, 28(7):896~900.
- Tang Zengcai, Chen Zhongda, Hu Kaiming, Zhou Hanwen, Wu Xiaoyong, Dong Xuefa, Zhao Xudong, Yu Shengqiang. 2018#. Neoproterozoic (~828 Ma) expansion of back-arc basin: Implications from geochronology and geochemistry of the diabase and gabbros in Kaihua area, western Zhejiang. *Earth Science*, 43(Supp. 2):1~15.
- Tian Hui, Li Huaikun, Zhou Hongying, Zhang Jian, Zhang Kuo, Geng Jianzhen, Xiang Zhenqun, Qu Lesheng. 2017#. Depositional age of the Huashan Group on the northern margin of the Yangtze Plate and its constraints on breakup of the Rodinia Supercontinent. *Acta Geologica Sinica*, 91(11):2387~2408.
- Tian Qijun. 1948. The relationship between Xuefeng Uplift and Paleozoic transgression in Hunan Province. *Geological Review*, 13(22):203~210.
- Wang Hongzhen. 1986#. Discussion for Precambrian geological time and chronostratigraphic classification of China. *Earth Science*, 11(5):447~453.
- Wang Hongzhen. 1985#. *Atlas of the Palaeogeography of China*. Beijing: Map Publishing House.
- Wang Jian. 2000#. Neoproterozoic Rifting History of South China and Significance to Rodinia Breakup. Beijing: Geological Publishing House.
- Wang Jian. 2005#. New advances in the study of “the Nanhuaian System”—with particular reference to the stratigraphic division and correlation of the Nanhuaian System, South China. *Geological Bulletin of China*, 24(6):491~495.
- Wang Min, Dai Chuangu, Wang Xuehua, Chen Jianshu, Ma Huizhen. 2011#. In-situ zircon geochronology and Hf isotope of muscovite-bearing leucogranites from Fanjingshan, Guizhou Province, and constraints on continental growth of the Southern China Block. *Earth Science Frontiers*, 18(5):213~223.
- Wang Xiaolei, Zhou Jincheng, Qiu Jiansheng. 2008. Geochronology and geochemistry of Neoproterozoic mafic rocks from western Hunan, south China: Implications for petrogenesis and postorogenic extension. *Geol. Mag.*, 145(2):215~233.
- Wang Xiaolei, Zhou Jincheng, Qiu Jiansheng, Zhang Wenlan, Liu Xiaoming, Zhang Guilin. 2006. LA-ICPMS U-Pb zircon geochronology of the Neoproterozoic igneous rocks from northern Guangxi, South China: Implications for petrogenesis and tectonic evolution. *Precambrian Research*, 145:111~130.
- Wang Zhengjiang, Wang Jian, Xie Yuan, Yang Ping, Zhuo Jiewen. 2009#. SHRIMP zircon U-Pb dating for crystal tuff from Hongzixi Formation of Banxi Group in Xiushan area, Chongqing, and its significance. *Geology in China*, 36(4):761~768.
- Wang Zhengjiang, Wang Jian, Duan Taizhong. 2010#. Geochronology of middle Neoproterozoic volcanic deposits in Yangtze Craton interior of south China and its implications to tectonic settings. *Science China (Earth Science)*, 40(11):1543~1551.
- 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, Xu Xiaosong, Jiang Xinsheng, Du Qiuding, Yang Fei, Deng Qi, Wu Hao. 2013#. Discussion on the bottom of Nanhuaian System: Evidences from sedimentology and isotopic geochronology. *Advances in Earth Science*, 28(4):477~489.

- 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.
- Wu Maode, Duan Jinsun. 1990#. *Geology of Kunyang Group in Yunnan*. Kunming: Yunnan Science and Technology Publishing House.
- Wu Maode. 1978#. The Discussion of Precambrian Iron Layer and Some Rich Iron Ore in the Centre of Yunnan Province. *Mineral Album* (1), Iron Ore. Beijing: Geological Publishing House.
- Xiong Guoqing, Jiang Xinsheng, Cui Xiaozhuang, Zhuo Jiewen, Lu Junze, Wang Zhengjiang, Wang Jian. 2013&. Strata Location of the Laibaoping Formation of the Proterozoic Ebian Group in the Western Yangtze Block and its chronological evidence of zircon SHRIMP U-Pb age. *Earth Science Frontiers*, 20(4): 350~360.
- Xiong Jiayong. 1993#. Defining and Comparing for Mid—Late Proterozoic strata in east Yunnan. *Yunnan Geology*, 12(1): 37~43.
- Xu Bei. 2001&. Recent study of the Rodinia Supercontinent evolution and its main goal. *Geological Science and Technology Information*, 20(1): 15~19.
- Xue Bugao. 1995#. *Kunyang Group and Ore Deposits Collection of Geological Theses*. Kunming: Yunnan Science and Technology Publishing House.
- Xue Bugao. 2000#. Problems in stratigraphic sequence and correlation of Kunyang Group. *Yunnan Geology*, 20(4): 376~384.
- Yan Yunqiao. 1986#. A discussion of the Paper “the stratigraphic sequence of the Kunyang Group and its top and bottom boundaries”. *Geological Review*, 22(3): 295~299.
- Yang Chonghui, Geng Yuansheng, Du Lilin, Ren Liudong, Wang Xinshe, Zhou Xiwen, Yang Zhusheng. 2009&. The identification of the Grenvillian granite on the western margin of the Yangtze Block and its geological implications. *Geology in China*, 36(3): 647~657.
- Yang Minggui, Liu Yaguang, Huang Zhizhong, Wu Fujian, Song Zhirui. 2012&. Subdivision of Meso—Neoproterozoic strata in Jiangxi and a correlation with the neighboring areas. *Geology in China*, 39(1): 43~53.
- Yang Sennan. 1989#. The formation features and tectonic evolution of the South China taphrogenic System. *Earth Science*, 14(1): 29~36.
- Yang Xianhe. 1985#. On the Proterozoic crustal evolution in Sichuan, Yunnan area. *Acta Geologica Sichuan*, 1(1): 28~39.
- Yin Chongyu, Liu Dunyi, Gao Linzhi, Wang Ziqiang, Xing Yusheng, Jian Ping, Shi Yurao. 2003&. Age of the lower boundary of Nanhuan and of Gucheng glaciation: Evidence of SHRIMP U-Pb dating. *Chinese Sci. Bull.*, 48(16): 1721~1725.
- Yin Fuguang, Sun Zhiming, Bai Jianke. 2011a&. Stratigraphic framework of the Mesoproterozoic in Dongchuan and Central Yunnan region. *Journal of Stratigraphy*, 35(1): 49~54.
- Yin Fuguang, Sun Zhiming, Zhang Zhang. 2011b&. Mesoproterozoic stratigraphic—structure framework in Huili—Dongchuan area. *Geological Review*, 57(6): 770~778.
- Yin Fuguang, Sun Zhiming, Ren Guangming, Wang Dongbing. 2012&. Geological record of Paleo—Mesoproterozoic orogenesis in the western margin of upper Yangtze Block. *Acta Geologica Sinica*, 86(12): 1917~1932.
- Zeng Wen, Zhou Hanwen, Zhong Zengqiu, Zeng Zhaoguang, Li Huimin. 2005&. Single zircon U-Pb ages and their implications of Neoproterozoic magmatic rocks in southeastern Guizhou, China. *Geochimica*, 34(6): 548~556.
- Zhang Chuanheng, Gao Linzhi, Wu Zhenjie, Shi Xiaoying, Yan Quanren, Li Dajian. 2007&. Zircon SHRIMP U-Pb ages of tuff in the Kunyang Group in central Yunnan Province: Orogenic evidence for Grenville period in South China. *Chin. Sci. Bull.*, 52(7): 818~824.
- Zhang Heng, Gao Linzhi, Li Tingdong, Geng Shufang, Liu Yanxue, Ding Xiaozhong, Shi Zhigang. 2015&. SHRIMP zircon U-Pb dating of the Luojiamei Formation in western Zhejiang Province and its geological implications. *Geological Bulletin of China*, 34(2/3): 447~455.
- Zhang Kexin, Xu Yadong, He Weihong, Yu Yang, Wang Lijun, Wang Jiaxuan, Kou Xiaohu, Luo Mansheng. 2018&. The pattern of early Neoproterozoic ocean and blocks in China. *Earth Science*, 43(11): 3837~3852.
- Zhang Qirui, Chu Xuelei. 2007&. Problems in defining the Nanhuan Period. *Journal of Stratigraphy*, 31(3): 221~227.
- Zhang Qirui, Lan Zhongwu. 2016&. An update on the Chronostratigraphy of the Nanhuan System. *Journal of Stratigraphy*, 40(3): 297~301.
- Zhang Qirui, Chu Xuelei, Feng Lianjun. 2008&. A study on the correlation of “Xishuihe Formation” of Nanhuan System and its glacial sedimentary characteristics. *Journal of Stratigraphy*, 31(3): 321~327.
- Zhang Yanjie, Zhou Xiaohua, Liao Shengbing. 2010&. Neoproterozoic crustal composition and orogenic process of the Zhanggongshan area, Anhui—Jiangxi. *Acta Geologica Sinica*, 84(10): 1401~1427.
- Zhao Ziqiang, Xiong Enxi. 1997#. *Regional Strata in Central South Area China*. Wuhan: Publishing House of China University of Geosciences.
- Zhejiang Institute of Geological Survey. 2019&. *Regional Geology of Zhejiang Province*. Beijing: Geological Publishing House.
- Zhou Chuanming. 2016&. Neoproterozoic lithostratigraphy and correlation across the Yangtze Block, south China. *Journal of stratigraphy*, 40(2): 120~135.
- Zhou Jibin, Li Xianhua, Ge Wenchun. 2007. Age and origin of middle Neoproterozoic mafic magmatism in southern Yangtze Block and relevance to the break-up of Rodinia. *Gondwana Research*, (12): 184~197.
- Zhou Jincheng, Wang Xiaolei, Qiu Jiansheng. 2009&. Some Neoproterozoic geological events involved in the development of the Jiangnan Orogen. *Geological Journal of China Universities*, 15(4): 453~459.
- Zhou Meifu, Yan Danping, Kennedy A K, Li Yunqiang, Ding Jun. 2002. SHRIMP U-Pb zircon geochronological and geochemical evidence for Neoproterozoic arc-magmatism along the western margin of the Yangtze Block, south China. *Earth and Planetary Science Letters*, 196(1/2): 51~67.
- Zhou Xiaohua, Gao Tianshan, Ma Xue, Xing Guangfu, Yuan Qiang. 2014&. Refocus on the “magic movement”. *Resources Survey and Environment*, (2): 76.
- Zhou Xiaohua, Zhang Yanjie, Liao Shengbing, Yu Minggang, Chen Zhihong, Zhao Xilin, Jiang Yang, Jiang Ren. 2012&. LA-ICP-MS zircon U-Pb geochronology of volcanic rocks in the Shuangqiaoshan Group at Anhui—Jiangxi boundary region and geological implication. *Geological Journal of China Universities*, 18(4): 609~622.
- Zhu Guoqiang, Ge Dingyi, Zhang Bainan, He Tinggui, Chen Jian. 1981#. On “Manyingou movement” and its geological significance. *Journal of Chengdu Institute of Geology*, 10(1): 32~42.
- Zhuo Jiewen, Jiang Zhuofei, Jiang Xinsheng, Wang Jian, Cai Juanjuan,

Xiong Guoqing, Lu Junze, Cui Xiaozhuang, Liu Jianhui. 2017&. SHIMP Zircon Neoproterozoic Suxiong Fromation in Wesern Sichuan Province and Their Geological Significance. Geological Review, 63 (1):177~188.

Zhuo Jiewen, Jiang Xinsheng, Wang Jian, Cui Xiaozhuang, Wu Hao, Xiong

Guoqing, Lu Junze, Jiang Zhuofei. 2015&. Zircon SHRIMP U-Pb age sedimentary tuff at the bottom of Neoproterozoic Kaijianqiao Formation in western Sichuan, and its geological implication. J. Mineral. Petrol., 35(1):91~99.

Discussion on the Mesoproterozoic and Neoproterozoic major tectonic events in marginal area of the Yangtze Block

CHEN Jianshu^{1,2)}, DAI Yaran¹⁾, TANG Feng²⁾, PENG Chenglong¹⁾, ZHANG Jiawei¹⁾,
ZHU Heshu³⁾ CHEN Xing¹⁾, WANG Wenming¹⁾, GONG Guiyuan¹⁾

1) Guizhou Geological Survey, Guiyang, 550018;

2) Institute of Geology, Chinese Academy of Geoscience, Beijing, 100037;

3) Guizhou Geology Archives, Guiyang, 550001

Abstract: The boundary between the Mesoproterozoic and Neoproterozoic in the Yangtze Block in southern China is correlated with a series of orogenies. The stratigraphic correspondence between the Jinning Orogeny, the Wuling Orogeny and the Xuefeng Orogeny is controversial due to the deficient age data in high resolution that causes the chaotic stratigraphic divisions. We combined previous studies of the Mesoproterozoic—Neoproterozoic boundary and discussed the petrography, geochemistry and isotopic chronology. With new evidence of the plate tectonics and characteristics of lithology, we discussed the stratigraphy of the Jinning, Wuling and Xuefeng Orogenies. We found evidence that the Jinning, Wuling and Xuefeng Orogenies are overlapped in some areas of Yangtze Block. The end of Jinning Orogeny is around 1000 Ma correlated to strong metamorphism of the strata in Kunyang Group and create the igneous basement of the Yangtze Block. The specified boundaries of the orogenic events are critical to further stratigraphy divisions and correlations of the Yangtze Block for the Mesoproterozoic and Neoproterozoic.

Keywords: Jinning movement; Wuling movement; Xuefeng movement; Meso—Neoproterozoic era; Yangtze Block

Acknowledgement: This study was supported by the National Science Foundation of China (No. 41572024), Basic Scientific Research Funding from Chinese Academy of Geological Sciences (No. YYWF201602), Geological Survey Project of China Geological Survey (Nos. 12120114058401 and 121211121106). The author sincerely appreciate Professor GAO Linzhi, Professor DING Xiaozhong and Doctor ZHANG Heng for their helpful review and comments and suggestions. We appreciated SONG Sicun from University College of London for assistance with the figures and draft. We thank Senior Engineer ZHANG Shishan from Yunnan Phosphate Chemical Group, LI Jing, LIU Junping from Yunnan Geological Survey Institution and DUAN Xiangdong from the Department of Natural Resources of Yunnan Province, who associated the field work and provided advice.

First author: CHEN Jianshu, male, born in 1967, research fellow, mainly engaged in regional geological survey and research; Email: chengjianshu@yeah.net

Corresponding author: TANG Feng, male, born in 1965, research fellow. Mainly engaged in Precambrian paleontology research, Email: 523734337@qq.com

Manuscript received on: 2020-01-03; Accepted on: 2020-04-21; Edited by: ZHANG Yuxu

Doi: 10.16509/j.georeview.2020.03.002