

文章编号: 1000-0550(2009) 05-0818-08

中国南方古大陆研究进展与问题评述

王 剑 潘桂棠

(成都地质矿产研究所 成都 610082)

摘 要 纵观近年来中国南方中新元古代古大陆研究的现状与进展,取得的成果主要体现在以下两个方面:(1)与华南古大陆演化有关的新元古代裂谷作用研究、冰川沉积事件研究、板溪群地层划分对比等取得了一系列重要成果;(2)与古大陆演化有关的火山—岩浆事件及其岩石地球化学研究、同位素地球化学研究及年代学研究等获得了一系列新的数据与新的认识。针对目前华南古大陆研究中存在的主要问题,特别是晋宁—四堡不整合面之上“楔状地层”的划分对比问题、沉积演化及其大地构造背景问题,不整合面之下变质岩系的时代归属及沉积盆地性质问题等,作者开展了较详细的讨论,试图引起国内外同行的重视,以期达到抛砖引玉之目的。

关键词 中国南方 古大陆 新元古代

第一作者简介 王剑 男 1962 年出生 研究员 沉积能源 E-mail: jianwang@mail.sc.cninfo.net

中图分类号 P531 **文献标识码** A

0 概述

中新元古代之交至新元古代末,全球发生了一系列重要的地质事件,这些事件包括与 Rodinia 超大陆汇聚及裂解有关的岩浆侵入与火山爆发事件、古大陆风化剥蚀之后的沉积超覆事件、全球“雪地球”事件、冰川沉积事件、以及全球“生物大爆发”事件等等。自 20 世纪 90 年代以来,中国南方古大陆研究在全球超大陆重建研究中已越来越受到全球地质学家的重视,从一开始的“中国南方位置不明”^[1~3]到今天各种各样大地构造模式^[4~15]的提出,充分反映了中国华南板块在全球构造讨论中的重要位置,尽管这些模式的观点不尽相同,或甚至相悖。

本文就近年来华南古大陆研究方面的历史与现状、主要进展及目前取得的主要成果与认识作一个简单的回顾与综合性概述,并针对目前华南古大陆研究中存在的主要问题开展讨论,试图引起国内外同行对中国南方古大陆研究的重视,但本文难免以偏概全,作者仅仅以其抛砖引玉。

1 研究历史与现状

最先把华南古大陆与 Rodinia 超大陆联系起来的是澳大利亚学者李正祥研究员^[6],他通过详细研究华南四堡造山带,结合刘宝珺等的新元古代(震旦系)岩相古地理图研究成果^[16,17],首先把华南置于澳

大利亚与 Laurentia 大陆之间,并认为华南是连接澳大利亚和 Laurentia 的纽带,华南位于 Rodinia 超大陆内一个超级地幔柱的核心部位之上,地幔柱作用“诱发”了一系列构造—岩浆事件,从而导致了 Rodinia 超大陆在新元古代中晚期的解体。李正祥等的 Rodinia 再造模型不但弥补了 Hoffman 的再造模型中没有华南的位置这一空白^[1,6],后来也得到了国内外许多同行研究成果的支持^[9,18~35]。

当然,也有不少学者从其它的研究途径(主要是地球化学)出发,提出了不同于上述观点的模式,认为华南新元古代中期扬子东南边缘(也包括西缘和北缘)是具弧盆系统的活动大陆边缘^[10,14,36~38],俯冲碰撞造山及后造山“垮塌”构造作用过程,是形成这一时期火山—岩浆作用的原因^[8,11,12,39~42],而不赞成超级地幔柱模式。最近,潘桂棠等在总结前人最新资料的基础上,提出了晋宁—四堡期扬子东南边缘为多岛弧盆系构造格局,弧陆碰撞之后其南侧还存在华南洋盆,华夏西北缘中新元古代至早古生代仍然存在被动边缘沉积记录,这一模式较好地解释了扬子与华夏之间在地质构造等诸多方面所存在的差异^[54]。

在华南大地构造属性问题上,20 世纪 80 年代掀起了以研究“板溪群”大地构造属性为核心的学术高潮,不少学者提出了“板溪洋”及“华南中生代阿尔卑斯碰撞造山”模式,认为华南是一个印支期关闭的从新元古代延续到了中生代的大洋^[13,43~49]。尽管这一

模式后来受到了很多学者的质疑^[50-52],但现在仍然有人提出了一些新的古生物证据(如深海放射虫、近似海月水母等)而支持上述观点^[15-31]。

概括起来,在华南新元古代(1 000~ 542 Ma)古大陆研究方面,目前已主要形成了以下基本认识:(1)以 Hoffman 等为代表的大地构造学家,提出了全球几个主要的大陆,通过格林威尔造山作用(1 300~ 900 Ma)在新元古代初期形成了一个统一的 Rodinia 超级大陆^[1-31];(2)新元古代时期, Rodinia 超级大陆可能在地幔柱或超级地幔柱的作用下,通过大陆裂谷作用而最终在 750~ 700 Ma 左右裂解^[4, 5, 7, 20, 52, 55, 56];(3)华南裂谷可能与 Rodinia 超大陆的解体有关,裂谷作用的开启时间在 820 Ma 左右^[9, 22-27],伴随着超大陆的裂解全球很可能发生了大规模的真极移事件,从而使超级大陆最终解体;(4)Kirschvink 等根据古地磁资料及全球同时期的冰川沉积作用提出了低纬度冰川事件,即“雪地球”假说^[57-61]。此外,发生在 6 亿年左右新元古代冰期结束之后的“生物大爆发”及其在全球变化与生命演化过程的重要意义,是近十多年来晚新元古代古大陆研究的另一个重要课题^[62-66]。

2 重要成果与进展

我国地质学者们密切注视国际中新元古代研究动态,并从中国的实际出发,开展了大量开创性研究工作,缩短了国内与国际的研究差距。纵观我国近年来在南华中新元古代大地构造及地球动力学领域的主要进展,取得的成果主要体现在以下两个方面:(1)与华南古大陆演化有关的新元古代裂谷作用研究、冰川沉积事件研究、板溪群地层划分对比等取得了一系列重要成果;(2)与古大陆演化有关的火山—岩浆事件及其岩石地球化学研究、同位素地球化学研究及年代学研究等获得了一系列新的数据与认识。

2.1 裂谷盆地演化、冰川事件

在中国南方震旦系与晋宁—四堡造山不整合面之间,存在着的一套侧向延伸不连续、地层厚度与相变极大、底界面不等时的“楔状地层”^[9, 23, 25-27],其分布主要位于南华盆地的湘桂次级盆地及浙北次级盆地中,与上扬子古陆、江南古隆起及华夏古陆等次级古地理高(Paleogeographic High)一起,构成了中国南方新元古代地垒、地堑台盆相间的古地理格局(图 1)。

华南新元古代“楔状地层”为裂谷成因的观点已越来越被国内外地质学家所认同^[66-71],裂谷由裂谷

基、裂谷体及裂谷盖三部分构成:晋宁四堡不整合面及其下伏变质岩地层为裂谷基;“楔状地层”组成了裂谷体;广泛分布于南华盆地的震旦系(陡山沱组及灯影组)构成了裂谷盖^[9, 23, 25-27]。通过大量新的年代学及沉积学资料分析,进一步确定了裂谷作用的开启时间在 820 Ma 左右。王剑等从沉积盆地分析入手,研究了扬子地块东南边缘及扬子地块西缘盆地的演化史,从而确立了扬子新元古代裂谷盆地的早期演化特征^[23]。初步研究成果表明,代表裂谷盆地早期形成阶段的成因相组合有:冲洪积相组合、陆相(或海相)火山岩及火山碎屑岩相组合、滨浅海相沉积组合、淹没碳酸盐台地及欠补偿盆地黑色页岩相组合,整体上反映了一个由陆到海的演化特征。

新元古代的冰川沉积与“雪地球”事件一直是地质界研究的热点之一,世界许多地区新元古代地层中发育一至两层冰碛岩^[58, 72],中国南华系中也存在两期冰期沉积事件,即以长安冰期为代表的下冰期和以南沱冰期为代表的上冰期,二者之间为大塘坡(或与之相当的含锰层位)间冰期。关于上述两个冰期的国际对比问题,由于过去从大塘坡间冰期所获得的 Rb—Sr 和 Sm—Nd 年龄不够精确和可靠^[73],不同研究者也得出了南沱冰期与澳大利亚的斯图特(Sturtian)冰期或马雷诺(Marinoan)冰期进行对比的不同结果。然而,最近几年新的研究成果表明,与 Sturtian 下冰期相当的长安冰期,其上下时限大致在 750~ 660 Ma 之间,以一套海相冰川沉积为特征,海相冰水重力流沉积或低密度碎屑流沉积发育;而与 Marinoan 上冰期相当的南沱冰期,其上下时限大致在 660~ 635 Ma 之间,沉积类型复杂,包括了海相冰川沉积、陆相冰川沉积、冰川泥石流沉积、冰水重力流沉积或碎屑流沉积等^[74-79]。尽管如此,对上述两次冰期的形成时间仍然存在着争议,特别是对 Sturtian 下冰期,无论是其最初形成时间还是结束时间,争论还依然存在^[80]。

2.2 同位素年代学研究

在华南,最先接受沉积的地堑盆地中,晋宁—四堡不整合面之上“楔状地层”的最低层位代表了华南晋宁—四堡造山运动之后新元古界新一轮沉积的“起点”,如湘北沧水铺组、黔东南甲路组、桂北白竹组、湘西北石桥铺组等,这些地层底部的火山岩年龄代表了华南四堡运动造山之后新元古界开始接受沉积的最早时间,也就是华南新元古代盆地的开启时间^[9, 23-27]。近年来,华南新元古代“楔状地层”形成

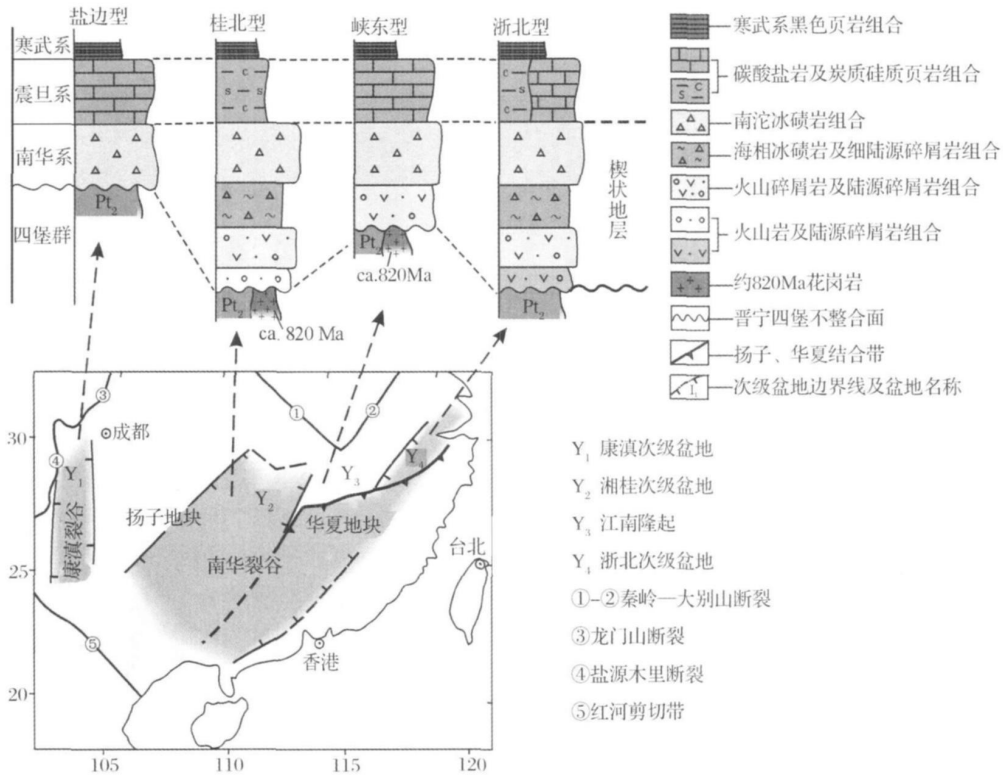


图 1 华南新元古代古大陆构造格局及“楔状地层”剖面类型 (据 Wang et al., 2003)

Fig 1 Neoproterozoic tectonic pattern of south china palaeo continents and profile types of the wedge-shaped strata

年龄方面获得了一系列高精度定年数据: 湘北沧水铺组英安质集块岩的锆石 SHRMP 年龄为 $812 \pm 12 \text{ Ma}^{[22, 25]}$, 湘西北古丈县五强溪组的起点沉积时间应略大于 $809 \pm 12 \text{ Ma}^{[81]}$; 桂北鹰扬关群基性火山岩的 TMS 锆石 U—Pb 年龄为 $819 \pm 11 \text{ Ma}^{[35]}$; 康滇地区苏雄组火山岩高精度 SHRMP 锆石定年结果为 $803 \pm 12 \text{ Ma}^{[18]}$; 扬子西北缘铁船山组流纹岩的锆石 SHRMP 年龄为 $817 \pm 5 \text{ Ma}^{[82]}$; 赣东北桃源组火山岩高精度 SHRMP 锆石定年结果为 $818 \sim 827 \text{ Ma}^{[22, 83]}$; 浙北虹赤村组火山岩高精度 SHRMP 锆石定年结果为 $797 \pm 11 \text{ Ma}^{[23, 55]}$; 闽西北马面山群中部火山岩高精度 SHRMP 锆石定年结果为 $818 \pm 9 \text{ Ma}^{[34]}$ 。

被“楔状地层”底部移地滨岸相地层沉积超覆的花岗岩、基性岩墙群的同位素年代学研究也取得了新的进展: 如桂北的三防、元宝山和本洞岩体 ($819 \sim 824 \text{ Ma}$)、滇中峨山岩体 ($819 \pm 8 \text{ Ma}$)、皖南许村岩体 ($823 \pm 8 \text{ Ma}$)、赣北九岭岩体 ($819 \pm 9 \text{ Ma}$)、峡东黄陵花岗岩 ($819 \pm 7 \text{ Ma}$) 等, 它们的结晶年龄平均值在 $820 \sim 826 \text{ Ma}$ 之间^[7, 19, 20, 55, 56, 84~86]。最近在黔东南地区, 侵入四堡群上部的花岗岩中获得的高精度 SHRMP 锆石 U—Pb 年龄为 $823 \pm 12 \text{ Ma}^{[27, 87]}$, 与该地区摩夭岭

花岗岩体 TMS 锆石 U—Pb 年龄 $825.0 \pm 2.4 \text{ Ma}$ 基本一致^[32]。

上述资料表明, 华南新元古代“楔状地层”开始接受沉积的最早时间可能在 820 Ma 左右, 也就是说, 这一年龄数据是华南晋宁—四堡不整合面之上新一轮构造旋回沉积开启的年龄。这一结论对于重新认识华南新元古代沉积盆地性质、区域地层划分与对比等, 都具有十分重要的意义。

2.3 岩石地球化学研究

华南新元古代盆地的形成演化伴随着大量的火山—火山沉积事件, 对这些火山—火山碎屑岩的研究, 主要在于其岩石地球化学特征所反映的构造背景研究。许多学者认为, 被新元古代“楔状地层”沉积超覆的花岗岩类和镁铁质侵入体 ($830 \sim 820 \text{ Ma}$ 左右) 被认为是地幔柱作用的产物。李献华等最先依据康滇地区基性岩脉的岩石化学特征较早地提出了这一观点, 该地区新元古代苏雄组火山岩岩石地球化学特征也显示了类似的特征。在华南, 与裂谷盆地开启之后“楔状地层”的沉积超覆作用相关的铁船山组、马面山群、虹赤村组、鹰扬关群等火山岩的地球化学特征显示明显具裂谷成因^[7, 18, 20, 34, 35, 56, 82]; 而许多

被“楔状地层”沉积超覆的侵入岩也显示出裂谷构造背景,如桂北宝坛—元宝山地区镁铁—超镁铁岩^[88]、桂北龙胜地区细碧岩和镁铁—超镁铁岩^[30]、川西南关刀山花岗岩^[86]等,这些资料都支持华南存在地幔柱及地幔柱作用形成的裂谷作用。

然而, Zhou M F 等依据出露于华南地区的花岗岩、镁铁—超镁铁质侵入岩地球化学特征提出了不同的认识,认为华南新元古代中期扬子东南缘及西缘和北缘具弧盆系统的活动大陆边缘^[10 36 89-91],该时期火山—岩浆作用的形成与俯冲、碰撞及后造山“垮塌”构造作用有关^[8]。

2.4 板溪群地层划分与对比

板溪群的命名地在湖南益阳板溪村,但代表性剖面位于湖南沅陵县马底驿。多年来,关于板溪群的时限、地层划分及大地构造属性一直存在着许多争议。早期争论的焦点是:“板溪”究竟是板溪混杂岩^[44-48]还是板溪群?湘浙赣缝合带的性质,是中生代缝合带还是“晋宁—四堡”期缝合带?近年来,尽管越来越多的人认为板溪群是一套成层有序的正常沉积地层^[9 23 92-96],但有的学者至今仍然还持不同的意见^[53]。

1: 5万区域地质调查表明^[96-98],在横向上,从湘北的张家湾组—武陵雪峰山区的板溪群—湘西、湘中的高涧群—湘东南的大江边组(群),体现了板溪期沉积海盆从滨岸—滨海、陆棚—斜坡—盆地的沉积格局与相序变化特征。王剑等根据层序地层学及年代地层学初步研究^[9 23 26],认为:①板溪群及其相当的高涧群是一套成层有序的、呈面状分布的沉积岩地层;②板溪群大体可与桂北丹洲群、江西登山群、皖南历口群、浙东北河上镇群相对比,其顶界具等时性,但其底界不等时;③板溪群与莲沱之间不是上下关系,也非同期异相关系,它们具有等时的顶界面和不等时的底界面。

板溪群的底界,实际上就是“楔状地层”的底界。从前面的研究成果可知,就现有资料与认识而言,在华南晋宁—四堡不整合面之上,目前得到的“楔状地层”的最低层位(包括板溪群、丹州群、登山群、江口群及河上镇群及其相当地层的底界)的最早沉积时代应在 820 Ma 左右。因此,这些资料表明,在华南不整合面之上不存在、或基本不存在目前我们所认为的“青白口系”,也就是说,现在的中国地层划分表把板溪群及其相当的地层归属为 1000~ 800 Ma 时期的青白口纪是不确切的,事实上,不整合面之上基本缺失

了青白口系,如果按照目前国际地层委员会关于成冰系(南华系)的底界划分标准(850 Ma),则完全缺失了与拉伸系(Tonian)相当的整个“青白口系”。

3 问题与讨论

(1) “南华系”的底界问题

国际地层委员会新元古代三分方案 1989 年正式表决通过^[99],目前确定的与南华系相对应的成冰系(Cryogenian)的时间为 850~ 635 Ma^[100]。与 1989 年正式表决通过的方案方案相比,2004 及 2008 年两届国际地质大会国际地层委员会推荐的地层表在新元古代三分方案上没有大的变化,仅仅只是进一步精确了成冰系的顶界(埃迪卡拉纪的底界)年龄,从 2004 年的 630 Ma 最终确定为现在的 635 Ma^[100]。中国地层委员会也于 2001~ 2002 年通过了相应的中国新元古代三分、新建“南华系”的划分方案^[101 102],并把“南华系”的顶界置于陡山沱之底界,但“南华系”的底界却没有规定明确的地层划分标志,仅推定其年龄值为 800 Ma 这与国际前寒武纪地层分会建议的新元古宙三分方案中成冰系(Cryogenian 850~ 635 Ma)的底界 850 Ma 不同^[100 103 104]。

如果在华南“楔状地层”之内去寻找或确立南华系的底界面,可能会将过去几十年类似有关震旦系的底界之争^[92]这一问题移植到南华系的底界争论中来,因为在“楔状地层”之内既不可能也不存在这样一个连续的、可识别出来并进行区域对比的界面,同时也不符合国际元古宙有关“纪”、“系”划分以重要构造、岩浆等地质事件为界面的原则^[1 30 31],建议中国地层委员会对这个问题给予高度重视。作者认为,“南华系”的底界应该以新元古代沉积超覆“楔状地层”与“晋宁—四堡”造山带之间的不整合面为界,其最大底界年龄为 820 Ma 左右(大多数剖面底部或多或少缺失了部分地层)。这一划分方案既符合国际地层委员会关于元古宙(宇)纪的划分原则,可进行区域对比,又符合华南的实际,同时比 800 Ma 更为接近国际新元古界三分方案。

(2) 四堡群及其相当地层的时代归属问题

首先是,目前中国南方区域地质资料,包括华南各省地质志,都将四堡群、冷家溪群、双桥山群、双溪坞群、盐边群、会理群及昆阳群等及其相当的地层都归属于中元古界,而将不整合面之上的板溪群、丹洲群及其相当的地层都归属于青白口系,这显然与近年来新获得的沉积碎屑锆石离子探针定年测试结果不

一致。盐边群沉积砂岩中的碎屑锆石定年等研究表明,其地层沉积年龄不会大于 840~960 Ma^[37, 106, 107],而四堡群及冷家溪群沉积碎屑锆石年龄表明其地层年龄不会老于 860 Ma^[12];过去一直没有年龄依据的黔北梵净山群被认为是中元古界地层,但新近获得的沉积碎屑锆石年龄在 874~869 Ma 之间,平均为 872 Ma^[108],表明梵净山群至少部分是属于新元古代的;最近,华南区域地质调查也在双桥山群(安乐林组及横涌组)及溪口群(板桥组及木坑组)中发现了多组 840~830 Ma 的沉积碎屑锆石年龄(邢光福等,私人通讯, 2009)。由此可以看出,不整合面之下的四堡群都笼统归属为中元古界是不合适的,显然,在不整合面之下存在青白口纪沉积地层。

(3) 四堡群及其相当地层的沉积大地构造属性问题。

由于四堡群及其相当地层大多为中深变质岩系,缺少生物化石,且经过多期褶皱变形,研究的难度最大,研究资料最少,因而也就问题最多。这些问题包括:四堡群及其相当地层的沉积盆地性质问题,是单一的被动大陆边缘盆地还是从被动大陆边缘盆地演化为前陆盆地或弧盆系统?四堡群沉积晚期是否存在一个与晋宁—四堡造山运动相对应的前陆盆地或弧盆系统?如果有,又在什么地方?晋宁—四堡造山运动与沉积盆地基底的形成关系如何?仅仅就晋宁—四堡运动的性质、规模、时间、区域变质作用及矿物岩石地球化学特征等,也还存在着许多不同的看法。因此,开展四堡群及其相当地层的沉积学、地层学、地球化学及大地构造学等研究,具有十分重要的开创性意义。

致谢 感谢何起祥、陈智梁两位先生对作者完成本文给予的支持与鼓励;成文过程中,汪正江、付修根、邢光福等提供了部分资料或开展了交流讨论;华南多年的野外工作得到了李正祥、李献华、张世红及华南各省地勘部门许多地质同行的合作、支持与帮助;在此一并致以衷心的感谢。

参考文献 (References)

- Hoffman P F. Did the breakout of Laurentia tectonics occur inside-out? [J]. *Science*, 1991, 252: 1409-1412
- Moore E M. Southwest U. S.—East Antarctic (SWEAT) connection: a hypothesis [J]. *Geology*, 1991, 19: 425-428
- Dziuff J W D. Pacific margins of Laurentia and east Antarctica-Australia as conjugate rift pair: evidence and implications for an Eocambrian supercontinent [J]. *Geology*, 1991, 19: 598-601

- Li Z X, Bogdanova S V, Collins A S, *et al*. Assembly, configuration and break-up history of Rodinia: a synthesis [J]. *Precambrian Research*, 2008, 160(1-2): 179-210
- Li Z X, Wartho J A, Occhipinti S, *et al*. Early history of the eastern Sibao Orogen (South China) during the assembly of Rodinia: New ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating and SHRMP U-Pb detrital zircon provenance constraints [J]. *Precambrian Research*, 2007, 159(1-2): 79-94
- Li Z X, Zhang L, Powell C M. South China in Rodinia: part of the missing link between Australia-East Antarctica and Laurentia [J]? *Geology*, 1995, 23: 407-410
- Li X H, Li Z X, Ge W C, *et al*. Neoproterozoic granitoids in South China: crustal melting above a mantle plume at ca. 825 Ma [J]? *Precambrian Research*, 2003, 122(1-4): 45-83
- Zheng Y F, Zhang S B, Zhao Z F, *et al*. Contrasting zircon Hf and O isotopes in the two episodes of Neoproterozoic granitoids in South China: Implications for growth and reworking of continental crust [J]. *Lithos*, 2007, 96(1-2): 127-150
- Wang J, Li Z X. History of Neoproterozoic rift basins in South China: implications for Rodinia break-up [J]. *Precambrian Research*, 2003, 122(1-4): 141-158
- Zhou M F, Yan D P, Kennedy A K, *et al*. SHRMP U-Pb zircon geochronological and geochemical evidence for Neoproterozoic arc magmatism along the western margin of the Yangtze Block, South China [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2002, 196(1-2): 51-67
- Wang X L, Zhou J C, Qiu J S, *et al*. LA-ICP-MS U-Pb zircon geochronology of the Neoproterozoic igneous rocks from Northern Guangxi, South China: Implications for tectonic evolution. *Precambrian Research*, 2006, 145(1-2): 111-131
- Wang X L, Zhou J C, Griffin W L, *et al*. Detrital zircon geochronology of Precambrian basement sequences in the Jiangnan orogen: Dating the assembly of the Yangtze and Cathaysia Blocks [J]. *Precambrian Research*, 2007, 159(1-2): 117-131
- Hs K J, Sun S, Li J, *et al*. Sengou Mesozoic overthrust tectonics in south China [J]. *Geology*, 1988, 16: 418-421
- 马瑞士. 华南构造演化新思考兼论“华夏古陆”说中的几个问题 [J]. *高校地质学报*, 2006, 12(4): 448-456
- 赵崇贺, 何科昭, 周正国, 等. 关于华南大地构造问题的再认识 [J]. *现代地质*, 1996, 10(4): 513-517
- 刘宝珺, 等. 中国南方岩相古地理图集 [M]. 北京: 科学出版社, 1994: 22-33
- 刘宝珺, 等. 中国南方古大陆沉积地壳演化与成矿 [M]. 北京: 科学出版社, 1993: 110-111
- Li X H, Li Z X, Zhou H, *et al*. U-Pb zircon geochronology, geochemistry and Nd isotopic study of the Neoproterozoic bimodal volcanic rock in the Kangdian Rift of South China: Implications for the initial rifting of Rodinia [J]. *Precambrian Research*, 2002, 113: 135-154
- Li X H, Li Z X, Zhou H W, *et al*. SHRMP U-Pb zircon age, geochemistry and Nd isotope of the Guandaoshan pluton in SW Sichuan: Petrogenesis and tectonic significance [J]. *Science in China Series D*, 2003, 46 (Suppl): 73-83
- Li X H, Li W X, Li Z X, *et al*. 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 [J]. *Lithos*, 2007, doi 10.1016/j.lithos.2007.04.007
- 21 Zhang S, Jiang G Q, Zhang JM, *et al*. U-Pb sensitive high-resolution ion microprobe ages from the Doushantuo Formation in south China: Constraints on late Neoproterozoic glaciations. *Geology*, 2005, 33 (6): 473-476
- 22 Wang J, Li X H, Duan T Z, *et al*. Zircon SHRMP U-Pb dating for the Cangshupu volcanic rocks and its implications for the lower boundary age of the Nanhua strata in South China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48 (16): 1663-1669
- 23 王剑. 华南新元古代裂谷盆地沉积演化——兼论与 Rodinia 解体的关系 [M]. 北京: 地质出版社, 2000, 1-146
- 24 王剑, 刘宝珺, 潘桂棠. 华南新元古代裂谷盆地演化—Rodinia 超大陆解体的前奏 [J]. *矿物岩石*, 2001, 21 (3): 135-145
- 25 王剑, 李献华, Duan T Z 等. 沧水铺火山岩锆石 SHRMP U-Pb 年龄及“南华系”底界新证据 [J]. *科学通报*, 2003, 48 (16): 1726-1731
- 26 王剑. 华南“南华系”研究新进展——论南华系地层划分与对比 [J]. *地质通报*, 2005, 24 (6): 491-495
- 27 王剑, 曾昭光, 陈文西, 等. 华南新元古代裂谷系沉积超覆作用及其开启年龄新证据 [J]. *沉积与特提斯地质*, 2006, 26 (4): 1-7
- 28 葛文春, 李献华, 李正祥, 等. 桂北龙胜丹洲群火山岩的地幔源区及大地构造环境 [J]. *长春科技大学学报*, 2001, 31 (1): 20-24
- 29 葛文春, 李献华, 李正祥, 等. 龙胜地区镁铁质侵入体: 年龄及其地质意义 [J]. *地质科学*, 2001, 35 (1): 112-118
- 30 葛文春, 李献华, 梁细荣, 等. 桂北元宝山宝坛地区约 825 Ma 镁铁—超镁铁岩的地球化学及其地质意义 [J]. *地球化学*, 2001, 30 (2): 123-130
- 31 Zhu W G, Zhong H, Deng H L, *et al*. SHRMP zircon U-Pb age geochronology and Nd-Sr isotopes of the Gaojiacun mafic-ultramafic intrusive complex, SW China [J]. *International Geology Review*, 2006, 48: 650-668
- 32 曾雯, 周汉文, 钟增球, 等. 黔东南新元古代岩浆岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄及其构造意义 [J]. *地球化学*, 2005, 34 (6): 548-556
- 33 林广春, 李献华, 李武显. 川西新元古代基性岩墙群的 SHRMP 锆石 U-Pb 年龄、元素和 Nd-Hf 同位素地球化学: 岩石成因与构造演化 [J]. *中国科学: D 辑*, 2006, 36: 630-645
- 34 Li W X, Li X H, Li Z X. Neoproterozoic bimodal magmatism in the Cathaysia Block of South China and its tectonic significance [J]. *Precambrian Research*, 2005, 136: 51-66
- 35 周汉文, 李献华, 王汉荣, 等. 广西鹰扬关群基性火山岩的锆石 U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. *地质论评*, 2002, 48 (增刊): 22-25
- 36 Zhou M F, Kennedy A K, Sun M, *et al*. Neoproterozoic arc-related mafic intrusions along the Northern Margin of South China: implications for the accretion of Rodinia [J]. *Journal of Geology*, 2002b, 110: 611-618
- 37 Zhou M F, Ma Y, Yan, D P, *et al*. The Yanbian Terrane (Southern Sichuan Province, SW China): A Neoproterozoic arc assemblage in the western margin of the Yangtze Block [J]. *Precambrian Research*, 2006, 144: 19-38
- 38 顾雪祥, 刘建明, 郑明华. 江南造山带雪峰隆起区元古宙浊积岩沉积构造背景的地球化学制约 [J]. *地球化学*, 2003, 32 (5): 406-426
- 39 吴根耀. 华南的格林威尔造山带及其坍塌: 在罗迪尼亚超大陆演化中的意义 [J]. *大地构造与成矿学*, 2000, 24 (2): 112-123
- 40 Zhou J C, Wang X L, Qiu J S, *et al*. Geochemistry of Mesoproterozoic mafic-ultramafic rocks from northern Guanjia China: Arc or plume magmatism [J]. *Geochemical Journal* 2004, 38: 139-152
- 41 Wang X L, Zhou J C, Qiu J S, *et al*. Geochemistry of the Mesoproterozoic basic-acidic rocks from Hunan Province, South China: implications for the evolution of the western Jiangnan orogen [J]. *Precambrian Research*, 2004, 135: 79-103
- 42 Zhang S B, Zheng Y F, Zhao Z F, *et al*. Neoproterozoic anatexis of Archean lithosphere: Geochemical evidence from felsic to mafic intrusions at Xiaofeng in the Yangtze Gorge, South China [J]. *JOL*. *Precambrian Research*, 2008, doi 10.1016/j.precamres.2007.12.003
- 43 Hs K J, Sun S, Li J, *et al*. Comments and reply on "Mesozoic overthrust tectonics in south China": Reply [J]. *Geology*, 1989a, 17: 386-387
- 44 Hs K J, Sun S, Li J, *et al*. Comments and reply on "Mesozoic overthrust tectonics in south China": Reply [J]. *Geology*, 1989b, 17: 672-673
- 45 许靖华. 薄壳板块构造模式与冲撞造山运动 [J]. *中国科学: D 辑*, 1980 (11): 1081-1089
- 46 许靖华. 中国南方板块构造 [J]. *广西地质*, 1987, 2: 1-9
- 47 许靖华, 孙枢, 李继亮. 是华南造山带而不是华南地台 [J]. *中国科学: D 辑*, 1987 (2): 1107
- 48 李继亮, 孙枢, 许靖华, 等. 南华夏造山带构造演化的新证据 [J]. *地质科学*, 1989 (3): 217-226
- 49 郭令智, 施央申, 马瑞士. 华南大地构造格架和地壳演化 [C]// 国际交流地质学术论文集 (1). 北京: 地质出版社, 1980: 115
- 50 Rodgers J. Comments and Reply on "Mesozoic overthrust tectonics in south China" [J]. *Comment Geology*, 1989, 17: 671-672
- 51 Rowley D B, Ziegler A M, Nie S. Comment and reply on "Mesozoic overthrust tectonics in south China" [J]. *Comment Geology*, 1989, 17: 384-386
- 52 Powell C M, Dalziel I W D, Li Z X, *et al*. Did Pannotia, the latest Neoproterozoic southern supercontinent really exist [J]? *Eos*, 1995, 76 (46): 577
- 53 陈冠宝, 杨清和, 徐树桐, 等. “江南古陆”东段上溪群变质岩中水母化石的发现 [J]. *地质通报*, 2006, 25 (8): 995-996
- 54 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 等. 中国大地构造单元划分 [J]. *中国地质*, 2009, 36 (1): 1-28
- 55 Li Z X, Li X H, Kinny P D, *et al*. The breakup of Rodinia did it start with a mantle plume beneath South China [J]? *Earth and Planetary Science Letters*, 1999, 173: 171-181
- 56 Li Z X, Li X H, Kinny P D, Wang J, *et al*. 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 [J]. *Precambrian Research*, 2003, 122 (1-

- 4): 85-109
- 57 Kirschvink J. Snowball Earth [C] // Schopf JW, Klein C, eds. The Proterozoic Biosphere. New York: Cambridge University Press, 1992
- 58 Hoffman P F, Kaufman A J, Halverson G P, *et al.* A Neoproterozoic snowball Earth [J]. *Science*, 1998, 281: 1342-1346
- 59 Hoffman P F. The break-up of Rodinia: birth of Gondwana, true polar wander and the snowball Earth [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 1999, 28: 17-33
- 60 Hoffman P F, Schrag D P. Snowball Earth [J]. *Scientific America*, 2000a, 282: 68-75
- 61 Hoffman P F, Schrag D P. The snowball Earth hypothesis: testing the limits of global change [J]. *Terra Nova*, 2002b, 14: 129-155
- 62 Bowring S, Grotzinger J, Isachsen C. Calibrating rates of Early Cambrian Evolution [J]. *Science*, 1993, 261: 1293-1298
- 63 Anbar D, Knoll A H. Proterozoic ocean chemistry and evolution: A biogeochemical bridge [J]. *Science*, 2002, 297: 1137-1142
- 64 陈均远, 周桂琴, 朱茂炎, 等. 澄江生物群-寒武纪大爆发的见证 [M]. 台中: 台湾自然科学博物馆出版, 1996
- 65 袁训来, 肖书海, 尹磊明, 等. 陡山沱期生物群: 早期动物辐射前夕的生命 [M]. 合肥: 中国科技大学出版社, 2002
- 66 Stern R J, Avigad D, Miller N, *et al.* From Volcanic Winter to Snowball Earth: An Alternative Explanation for Neoproterozoic Biosphere Stress: Links between geological processes, microbial activities & evolution of life [J]. *Microbes and Geology*, 2008, 4: 313-337
- 67 Wang X C, Li X H, Li W X, *et al.* The Bikou basalts in the northwestern Yangtze block, South China: Remnants of 820-810 Ma continental flood basalts [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2008, 120 (11-12): 1478-1492
- 68 Stern R J. Neoproterozoic crustal growth: The solid earth system during a critical episode of earth history [J]. *Gondwana Research*, 2008, 14 (1-2): 33-50
- 69 Eyles N. Glacio-epochs and the supercontinent cycle after similar to 3.0 Ga: Tectonic boundary conditions for glaciation [J]. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 2008, 258 (1-2): 89-129
- 70 Pasava J, Kribek B, Vymazalva A. Multiple sources of metals of mineralization in Lower Cambrian black shales of South China: Evidence from geochemical and petrographic study [J]. *Resource Geology*, 2008, 58 (1): 25-42
- 71 Dobrzinski N, Bahburg H. Sedimentology and environmental significance of the Cryogenian successions of the Yangtze Platform, South China block [J]. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 2007, 254 (1-2): 100-107
- 72 Knoll A H. Learning to tell Neoproterozoic time [J]. *Precambrian Research*, 2000, 100(123): 3-20
- 73 Yang J, Sun W, Wang Z, *et al.* Variations in Sr and C isotopes and Ce anomalies in successions from China: Evidence for the oxygenation of Neoproterozoic seawater [J]. *Precambrian Research*, 1999, 93: 215-233
- 74 黄晶, 储雪蕾, 张启锐, 等. 新元古代冰期及其年代 [J]. *地学前缘*, 2007, 14(2): 249-256
- 75 尹崇玉, 刘敦一, 高林志, 等. 南华系底界与古城冰期的年龄 SHRMP II 定年证据 [J]. *科学通报*, 2003, 48 (16): 1721-1725
- 76 尹崇玉, 王砚耕, 唐烽, 等. 贵州松桃南华系大塘坡组凝灰岩锆石 SHRMP II U-Pb 年龄 [J]. *地质学报*, 2006, 80 (2): 273-278
- 77 Zhang S H, Jiang G Q, Han Y G. The age of the Nantuo Formation and Nantuo glaciation in South China [J]. *Tema Nova*, 2008, 20 (4): 289-294
- 78 Condon D, Zhu M Y, Bowring S, *et al.* U-Pb ages from the Neoproterozoic Doushantuo Formation, China [J]. *Science*, 2005, 308: 74
- 79 Zhou C, Tucher R, Xiao S, *et al.* New constraints on the ages of Neoproterozoic glaciation in south China [J]. *Geology*, 2004, 32 (5): 437-440
- 80 Wang T G., Meijun Li, Wang C J, *et al.* Organic molecular evidence in the Late Neoproterozoic Tillites for a palaeo-oceanic environment during the snowball Earth era in the Yangtze region, southern China [J]. *Precambrian Research*, 2008, 162: 317-326
- 81 Zhang S H, Jiang G Q, Dong J. New SHRMP 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 [J]. *Science in China Series D*, 2008, 51 (11): 1537-1544
- 82 Ling W, Gao S, Zhang B, *et al.* Neoproterozoic tectonic evolution of the northwestern Yangtze craton, South China: Implications for amalgamation and break-up of the Rodinia Supercontinent [J]. *Precambrian Res*, 2003, 122: 111-140
- 83 Li W X, Li X H, Li Z X. Middle Neoproterozoic syn-rifting volcanic rocks in Guangfeng, South China: Petrogenesis and tectonic significance [J]. *Geology Magazine*, 2008, 145(4): 475-489
- 84 马国干, 李华芹, 张自超. 华南地区震旦系时限范围的研究 [C] // 中国地质科学院宜昌地质矿产研究所所刊. 北京: 地质出版社, 1984, 8: 1-29
- 85 李献华. 广西北部新元古代花岗岩锆石 U-Pb 年代学及其构造意义 [J]. *地球化学*, 1999, 28 (1): 1-9
- 86 李献华, 李正祥, 周汉文, 等. 川西南关刀山岩体的 SHRMP 锆石 U-Pb 年龄、元素和 Nd 同位素地球化学——岩石成因与构造意义 [J]. *中国科学: D 辑*, 2002, 32(增刊): 60-68
- 87 陈文西, 王剑, 付修根, 等. 黔东南下江群甲路组沉积特征及其下伏岩体的锆石 U-Pb 年龄意义 [J]. *地质论评*, 2007, 53 (1): 126-131
- 88 周继彬, 李献华, 葛文春, 等. 桂北元宝山地区超镁铁岩的年代、源区及其地质意义 [J]. *地质科技情报*, 2007, 26 (1): 11-18
- 89 Zhou M F, Yan D P, Kennedy A K, *et al.* SHRMP U-Pb zircon geochronological and geochemical evidence for Neoproterozoic arc magmatism along the western margin of the Yangtze Block, South China [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2002, 196: 51-67
- 90 Zhao J H, Zhou M F, Yan D P, *et al.* Zircon Lu-Hf isotopic constraints on Neoproterozoic subduction-related crustal growth along the western margin of the Yangtze Block, South China [J/O]. *Precambrian Research*, 2008, doi:10.1016/j.precambres.2007.11.003
- 91 Zhao J H, Zhou M F. Neoproterozoic adakitic plutons in the northern margin of the Yangtze Block, China: Partial melting of a thickened lower crust and implications for secular crustal evolution [J/O].

- Lithos 2008 doi 10.1016/j.lithos.2007.12.009
- 92 刘鸿允. 中国震旦纪 [M]. 北京: 地质出版社, 1990: 1-248.
- 93 刘鸿允, 李曰俊, 郝杰. 论华南的板溪群及其有关的大地构造问题 [J]. 地球学报, 1994, 3 (4): 88-96
- 94 李曰俊, 郝杰, 鲁刚毅, 等. 论板溪群与板溪蛇绿混杂岩 [J]. 地质论评, 1994, 40 (2): 97-105
- 95 唐晓珊, 黄建中, 何开善. 论湖南板溪群 [J]. 中国区域地质, 1994, 3: 254-277
- 96 唐晓珊, 黄建中, 郭乐群. 再论湖南板溪群及其大地构造环境 [J]. 湖南地质, 1997, 16 (4): 219-226
- 97 唐晓珊, 黄建中, 陈俊, 等. 谈谈冷家溪群坪原组、“杨林冲组”和大药姑组的归属 [J]. 湖南地质, 2000, 19 (2): 83-86
- 98 潘传楚. 沧水铺群的演替及其岩石地层学问题——论湖南新元古界底部岩石地层序列 [J]. 大地构造与成矿学, 2001, 25 (2): 217-224
- 99 Cowie J.W., Bassett M.G. IUGS 1989 Global Stratigraphic Chart [M]. 1989
- 100 International Commission on Stratigraphy. Geologic Time Scale 2008 33th IGC, Oslo, Norway, 2008 6th-14th, August
- 101 全国地层委员会. 中国地层指南及中国地层指南说明书 (修订版) [M]. 北京: 地质出版社, 2001: 1-59
- 102 全国地层委员会. 中国区域年代地层 (地质年代) 表说明书 [M]. 北京: 地质出版社, 2002: 1-72
- 103 Felix M., Gradstein *et al.* A new Geological Time Scale with special reference to Precambrian and Neogene [J]. Episodes 2004, 27(2): 83-100
- 104 Remane J. Explanatory Note to International Stratigraphic Chart [C]. Courtesy of the Division of Earth Science, UNESCO, 2000 1-16
- 105 王鸿桢, 李光岑. 国际地层时代对比表 [M]. 北京, 地质出版社, 1990
- 106 Li X.H., Li Z.X., James A., *et al.* Sinclair: Revisiting the "Yanbian Terrane": Implications for Neoproterozoic tectonic evolution of the western Yangtze Block, South China [J]. Precambrian Research 2006, 151: 14-30
- 107 Greentree M.R., Li Z.X., Li X.H., *et al.* Late Mesoproterozoic to earliest Neoproterozoic basin record of the Sibao orogenesis in western South China and relationship to the assembly of Rodinia [J]. Precambrian Research 2006, 151: 79-100
- 108 Zhou J.C., Wang X.L., Qiu J.S. Geochronology of Neoproterozoic mafic rocks and sandstones from northeastern Guizhou, South China: Coeval arc magmatism and sedimentation [J]. Precambrian Research 2009, 170: 27-42

Neoproterozoic South China Palaeocontinents: An overview

WANG Jian PAN Gu-tang

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources Chengdu 610082)

Abstract Numerous studies have been conducted in recent years on the Neoproterozoic South China palaeocontinents and notable advances are generalized in the following aspects including (1) advances in the researches of the Neoproterozoic Nanhua rifting related to the evolution of the South China palaeocontinents, Chang'anian and Nantuoan glaciation and sedimentary events and stratigraphic division and correlation of the Banxi Group and (2) progress towards the researches of volcanic-magmatic events associated with the palaeocontinental evolution and concomitant studies of litho-geochemistry, isotope geochemistry and chronology. In view of the current status of research, the authors in this paper present a detailed review of the researches of Neoproterozoic South China palaeocontinents especially the stratigraphic division and correlation of the wedge-shaped strata above the Jinning-Sibao unconformity and the ages of the metamorphic rocks beneath the unconformity, the attributes of sedimentary basins, sedimentary evolution and tectonic settings. The authors have also been looking forward to greater progress in the studies of the above-mentioned fields in the near future.

Key words South China palaeocontinent Neoproterozoic