

南华系建系问题探讨^①

张启锐 储雪蕾

中国科学院矿产资源研究重点实验室,中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100029

摘 要:南华系的研究与关于成冰系的研究配合不多,把南华系简单地理解为原震旦系下统,侧重于原震旦系下统底界年龄的测定,把国外给定的关于“成冰系”的起始年龄值(即 850Ma)看得过重,忽略了它的不确定性。对于作为南华系主体的新元古代冰期地层的研究比较薄弱,与国际冰川沉积学研究水平差距大。为此,有必要根据界线层型剖面的要求开展建系工作,重点深入研究新元古代冰川沉积地层的基本特征,包括层序地层学、同位素地层学、磁性地层学、岩石地层学、化学地层学、生物地层学和年代地层学等,明确其内涵,寻找全球对比的界线标志。建议以贵州黎平肇兴剖面为代表开展候选层型剖面和层型点所需内容研究。

关键词:南华系,成冰系,冰期地层,界线层型剖面,肇兴剖面,黎平,贵州

中图分类号:P 534.3 **文献标识码:**A **文章编号:**0253-4959(2007)03-0222-07

2004年经过国际地科联的批准,原“新元古Ⅲ系”或“末元古系”被正式命名为埃迪卡拉系,其界线层型点(GSSP)位于南澳大利亚 Flinders Ranges 的 Enorama Creek(Knoll *et al.*, 2004)。紧接着围绕成冰系(Cryogenian,非正式名称)的建系工作也同时提到议事日程上(国际地层委员会末元古系分会2003年的第16号通知和IGCP512项目研究任务说明)。与此密切相关的是我国采取的相应举措:1999年全国地层委员会为了适应国际地层学的发展趋势,把原震旦系一分为二,把原震旦系上统重新定义为震旦系、原震旦系下统则新建为南华系(全国地层委员会,2001)。围绕南华系的建系问题近年来做了大量工作,取得了不少成果,但是问题也不少。南华系的建系工作需要与国际上关于成冰系的研究紧密结合,把我们的研究成果推到国外,把国际上的重要成果运用到我们的研究中来。

一、南华系与成冰系

南华系的出现,一方面是跟踪国际地层学发展趋势的结果,另一方面又是传统地层观念的继承。国际上,把埃迪卡拉系之下的新元古代年代地层单位非正式地称为成冰系(见国际地科联执委会2004年3月会议报道),我国在震旦系之下有南华系与之对应。但是两者是否一一对应呢?从目前设定的南华系底界年龄800Ma(全国地层委员会,2001)和国际地层委员会设定的成冰系的底界年龄850Ma

(Gradstein *et al.*, 2005)看来,两者很接近。

成冰系的提出,顾名思义,是以地史上的特殊冰川事件为依据。在国际地层委员会末元古系分会2003年的第16号通知[即关于埃迪卡拉系命名和界线层型剖面点(GSSP)最后的投票通知]上的主席说明中,明确地提出了成冰系的年代地层学定义是“以Sturtian冰期为起点,以Marinoan的终止为结束”的一段地史记录。当时给定的年龄界限是850—650Ma(Cowie *et al.*, 1989)。随着Marinoan的终结年龄635Ma的获得(Hoffmann *et al.*, 2004; Condon *et al.*, 2005; Zhang Shi-hong *et al.*, 2005; Chu Xue-lei *et al.*, 2005),埃迪卡拉系顶底年龄也根据新数据进行了调整,即为542Ma至630Ma(Gradstein *et al.*, 2005)。同理,成冰系最新的界线年龄修订为850—630Ma(Gradstein *et al.*, 2005; 陆松年等,2005),其中相应地改动了成冰系的终止年龄,而起始年龄850Ma则保留原值。850Ma是在上世纪八、九十年代的年龄估算值给定的(Cowie *et al.*, 1989)。随着研究的不断深入,相信其年龄值也将随着新数据的获得而调整。本文将进一步讨论该年龄数据新近的研究进展。在埃迪卡拉系的界线层型GSSP(即金钉子)(Knoll *et al.*, 2004)确定之后,下一个金钉子就是成冰系的全球界线层型剖面点(GSSP)。成冰系的GSSP的选定已成为2004年成立的埃迪卡拉系地层分会和IGCP512项目的主要研究任务之一。

^①国家自然科学基金重点项目(No. 40532012)和中国科学院知识创新工程项目(No. KZCX3-SW-141)资助。

文稿接受日期:2007-01-15;修改稿收到日期:2007-04-19。

第一作者简介:1939年7月生,男,广东新兴人,研究员,主要从事新元古代冰川地层学研究。

我国关于南华系的研究受到密切关注。然而国内的研究基本上着眼于南华系的底界层型剖面的选定及其年龄测定,而对于南华系的定义及有关冰期地层基本特征的研究和对比则比较薄弱。如包超民等(2002)认为华东怀玉地区江山石龙剖面的休宁组出露完整,底界完整连续,故推荐为层型剖面;尹崇玉等(2003)明确认为南华系就是原震旦系下统,并通过湘西北杨家坪剖面溁水河组的锆石测年,认为 $758\pm 23\text{Ma}$ 相当于南华系古城冰期的下限,并把溁水河组对比于莲沱组而认为南华系底界年龄应为 800Ma ;薛耀松等(2001)主张以冰期地层为原震旦系的底界,可能仍然主张其为南华系的底界,只是他们认为冰期地层的底界是“古城组”的底界;彭学军等(2004)建议将长安组的底界定为南华系的底界,南沱组(或洪江组)的顶界定为南华系的顶界,上下统的分界在“富禄组”与“古城组”之间;王剑等(2003)和王剑(2005)认为 820Ma 代表了华南新元古代裂谷系沉积超覆的起点年龄,且这一重要沉积事件的时间又与国际地层委员会给定的成冰系底界年龄 850Ma 更接近,因此建议将华南新元古代裂谷系沉积超覆地层与四堡造山带变质岩系之间的不整合面作为南华系的底界面。

上述论文中除薛耀松等(2001)和彭学军等(2004)外还有王鸿祯(1986a, b)都强调了南方新元古代冰川地层底界的重要性,其他研究均围绕原震旦系下统意义下的南华系底界开展。这一现象充分说明,到目前为止,国内学者关于南华系与成冰系之间的基本认识还是有很大差距,急待调整统一。最近已经有文章强调国际关于成冰系底界层型的思想:成冰系的底界很可能以大规模冰川事件的开始为界(尹崇玉, 2005)。所以,Sturtian冰期(即我南方的江口冰期)的底界有可能具备未来新元古界一个新的GSSP的特性(Knoll, 2000)。薛耀松等(2001)指出:“在制定我国晚元古代年代地层框架时,首先要理清我国这段地层的完整层序,了解能代表这段时限的沉积历史和生命演化历史,然后再考虑如何按中国地质发展历史的客观阶段进行划分和命名”。南华系的建系工作大致可分成三部分,一是研究其内涵,就是薛耀松等(2001)所说的,要厘清完整层序、了解历史;二是客观地进行阶段划分,寻找下界的GSSP标志;三是确定该GSSP的年龄值。

二、南华系的内涵

当前国际前寒武系分会已经明确,前寒武系的划分将以全球可识别的地质事件为基础。陆松年等

(2005)较深入地介绍了“2004—2008年前寒武系划分参考方案”,认为应该根据唯一客观的物理标准,即现存的岩石记录对前寒武纪地质年表重新进行界定。前寒武纪的地层界线应以地层记录中的关键事件或转变点予以标定,以突出反映地球系统演化的巨变。南华系的建系应该在这个思想指导下进行。

南华系按其命名的本意,是取意于刘鸿允先生提出的“南华大冰期”(全国地层委员会, 2003),并以此纪念他的贡献。刘先生提出的“南华大冰期”包含了他所理解的南沱冰期、大塘坡间冰期和长安冰期(刘鸿允等, 1991)。这表明我们的研究应该围绕新元古代的冰期地层开展。然而原震旦系下统包含了莲沱组,是否属冰期地层争议比较大。峡区剖面虽然是原震旦系的标准剖面,但由于它存在严重缺陷(薛耀松等, 2001),因此应予以回避。当前,含义比较明确、地层比较连续、在陡山沱组之下、板溪群之上的新元古代冰期地层,已知广泛出露于桂北、黔东南、湘西南一带和皖南、浙西、赣北一带。因此这两个地区应该成为南华系建系研究的主要场所。

国内关于这一段地层的冰川沉积学研究,基本上停留在上世纪80年代的水平,被关注的程度也比较低。随着雪球地球理论(Kirschvink, 1992; Hoffman *et al.*, 1998, 2002)在上世纪末的提出,引发了国际上对新元古代冰期地层的兴趣,加上埃迪卡拉系的确立和相应GSSP的确定,非正式的成冰系的确立及相应GSSP的确定被提上了议事日程,于是对它的研究在国际上出现了一股新的热潮,这对推动南华系的研究十分有利。关于我国新元古代冰川地层的问题主要有:

当前比较突出的问题是关于杂砾岩的成因研究。对于新元古代冰川地层的认识,国内外历来都有正反两派意见(Young, 2004)。上世纪初常见的术语“冰碛岩”是建立在现代陆相冰川沉积基础上的,但是陆相冰川沉积在地质上保存的几率很低,而现今保存的冰川记录绝大部分是海相的。经过争论,一致意见是地质上的古代冰川记录一律采用中性术语“杂砾岩”,它是否为冰川成因或包含了冰川影响因素,需要论证,不能简单地把含砾的岩石简单地认为与冰川有关。近来这方面出现了一些文章,对前人认为的冰川沉积,重新逐一检查、重新论证,如Arnaud、Eyles(Arnaud & Eyles, 2002a、b, 2006)和Eyles、Januszczak(Eyles & Januszczak, 2004)等否定了一些原有的冰川成因结论,提出了构造成因的见解。我国南方的冰川地层早在上世纪七、八十年代也曾有过争议。数十年过去了,国际上

冰川沉积学取得了长足的发展,可是我国古代冰川地层研究并未系统地采用现代冰川沉积学的研究成果开展深入研究,基本处于停滞状态。当前围绕南华系或成冰系的研究,必须改变这种状况。

第二个突出的问题是扬子地区究竟有几个冰期。一般认为有两个,与国际上两个全球性的大冰期的认识一致(刘鸿允等,1991、1999);但是近来也有人认为有三个冰期的(杨暹和,1987;彭学军等,2004;Zhou Chuan-ming *et al.*, 2004)。为此,需要通过冰川沉积研究,明确我国新元古代冰期的次数,明确作为南华系的顶底界线和冰川作用的起始层位和终止层位。笔者认为扬子地区有三个冰期的看法是值得商榷的。其中的关键是所谓的“古城组”能否独立成为冰期、富禄组能否成为间冰期的问题。在讨论前,首先有明确富禄组的定义。近来关于富禄间冰期的提法出现频率比较高,但是其含义前后有区别。在上世纪90年代前后,富禄组包含了古城组和大塘坡组(Wang Yue-lun *et al.*, 1981; Liao Shih-fan, 1981),这个定义可简记为FL-A;陆松年等(1985)对原富禄组做了修订,把大塘坡组明确为间冰期单位,从原富禄组独立出去,这个定义简记为FL-B;而彭学军等(2004)和周传明等(Zhou Chuan-ming *et al.*, 2004)所指的富禄组又再一次把古城组独立出去,这样的定义简记为FL-C。笔者认为,FL-A已基本废弃,FL-C则缺乏比较充分的论据,因此FL-B是本文采用的定义。具体依据将专文另述。

另一个有趣的问题就是上扬子和下扬子的冰期地层如何对比?如果南沱组对比于雷公坞组,大塘坡组对比于洋安组,那么古城段(“组”)对比于下崖埠组,两界河段(“组”)对比于休宁组或志棠组,还是以江口群对比于下崖埠组?等等,这里存在的问题还不少。另外,富禄组底部的铁与冰川活动是什么关系?富禄组(包含了古城段和两界河段)中出现许多碳酸盐岩,如何解释?如何解释富禄组经常出现的孤石和含砾层?长安组是否为冰川沉积地层?此外,扬子与塔里木的冰期如何对比?这些问题都有待研究。

南华系的古生物学研究比较薄弱,肖书海(Xiao Shu-hai, 2004)较深入地探讨了新元古代冰川作用和古生物的关系,但是重点却是南沱冰期之后,之前的资料较少。关于新元古代冰期及冰期之前的古生物状况,特别是围绕生物是否经得起严寒冰封的环境,得以延续的问题,Fedonkin(2003)做了分析,并予以肯定。我国这部分地层主要由陆源碎屑物质组成,对开展古生物方面的研究不利。Grey(见 Veoli

& Wicander, 2004)在这方面就取得了一定的成果,他认为具有明显装饰的 *Cerebrosphaera buickii* 可以成为全澳洲成冰系 750Ma 左右的标准化石。在国外还由于碳酸盐岩广泛分布,稳定同位素地层,如碳同位素和锶同位素等的研究成为重要手段。我国一些层位也含有少量的碳酸盐岩,应引起重视。此外,常用的岩石地层学、磁性地层学以及年代地层学研究更是必不可少的。

根据规定,南华系的底界年龄推定为 800Ma。按照这个说法,南华系的大致年龄区间为 800—630Ma,其年代跨度达 170Myr,而埃迪卡拉系的年代跨度只有 88Myr(Gradstein *et al.*, 2005),后者是前者的两倍。近年来国际上关于 Sturtian 冰期起始年龄研究取得了一些重要进展,一般认为只有 720Ma 左右(Fanning & Link, 2004)。如果以此作为非正式的成冰系的底界,那么它的年代跨度只有 90Myr 左右,大致与埃迪卡拉系相当。如果我们沿用原震旦系下统的概念,把南华系底界定在 820 Ma(王剑,2005),那么在 820 和 720 之间还有 100Myr,显然可以相当于另一个纪。根据国际的非正式划分,在成冰纪之下是 Tonian(拉伸纪),而近年来有大量资料证明在新元古代冰期之前全球普遍发育了拉张裂谷,在我国南方从 820Ma 开始也出现了由拉伸形成了华南裂谷(王剑,2000; Wang Jian & Li Zheng-xiang, 2003a)。由此可见,如果南华系底界套用原震旦系下统的做法,所建立的南华系极可能又要面临被肢解的危险。我们认为南华系的内涵应该严格按国际上比较一致的意见,限定为新元古代冰期地层,在扬子地区就是包括由长安组和富禄组组成的江口群(Zhang Qi-rui *et al.*, 2003)、大塘坡组、南沱组共同组成。

三、南华系的“候选层型剖面”

在南华系的定义或内涵经过深入研究,并对冰期地层有了比较广泛全面认识的基础上,即可以根据国际前寒武系分会新近提出的关于地层划分的依据,即地层记录中的关键事件或转变点(陆松年等,2005)的思想,在南华系中寻找能够突出反映地球系统演化巨变的剖面点。

当全球可比的重要事件的转折点经过反复论证并得到确认之后,即可考虑进行层型剖面和层型点(GSSP)的确认。考虑到我们目前关于冰川地层的特性和演化规律还掌握不全,因此层型剖面和层型点的选择工作,目前还不是最要紧的。

就当前的认识而言,冰川活动所代表的冰室效

应在一定意义上可以认为是一个关键事件。但是这一事件是否全球可比,是否具有同时性,十分重要。Eyles 和 Januszczak (Eyles & Januszczak, 2004) 认为新元古代冰期主要是受裂谷构造控制,如同拉锁一样裂开,因此认为冰期是穿时的。但是就目前已获得的精确定年数据看,我国的陡山沱组底界年龄 635Ma 和纳米比亚 Marinoan 的终止年龄完全相同;江口冰期 (Sturtian) 的终止年龄 670Ma (Zhou Chuang-ming *et al.*, 2004; 尹崇玉等, 2006) 和北美的 Sturtian (Fanning & Link, 2004) 也完全一致,因此冰期同时性的可能仍然很大。有可能符合于 Veevers (1990, 2004) 的观点,他在归纳冈瓦纳超大陆和潘基亚超大陆两个超大陆旋回特征基础上提出超大陆旋回 5 个阶段的划分方案,根据该方案,冰室效应是超大陆旋回在全球的一个基本同时的演化阶段,应该具有一定的同时性。

冰期记录的主要形式是岩石(包括岩石地层和层序地层),但是除此之外还体现在许多其他因素上,包括层序地层、同位素地层、磁性地层、岩石地层、化学地层、生物地层和年代地层等。关键事件的表现形式可能是岩石本身,也可能是古生物或某种特殊的物理的或化学的指标。总之,通过各种手段,寻找反映地球系统演化巨变的剖面点是建立南华系的核心内容。在充分掌握了各方面的特性之后,候选层型剖面的选定才有坚实的基础。

在考虑候选层型剖面时,十分重要的一点,就是要考虑国际国内关于年代地层单位层型剖面和层型点(GSSP)的基本要求:“界线层型或层型点,是为了限制一个地质时间的瞬间,这个瞬间体现在一个层位中”,“这种界线层型,应选在一个基本连续的沉积序列内”(全国地层委员会,2001)。当前一些探讨南华系候选层型剖面的文章往往对这一点重视不够,把界线选在代表构造运动的“不连续面”上,而不是选在一个“层位中”。湖南石门杨家坪剖面的根本弱点是关键界线不是在“连续的沉积序列内”,而是在不连续面上,因此与上述要求相违背。除此以外,杨家坪剖面还存在有待商榷的地层对比问题(关于“溇水河组”的对比问题,笔者准备专文加以论述)。笔者推荐的黔东南黎平县肇兴剖面(贵州省地质矿产局,1987)的特点是冰期的长安组和冰前丹洲群的拱洞组是连续沉积,满足界线层型的基本要求;而且长安组属于冰海相地层已得到证实,初步确认对比于 Sturtian,符合国际上关于成冰系的条件;其起始年龄估计在 700Ma 左右,也与国际已知年龄数据相近。

四、南华系的底界年龄

关于南华系底界及其年龄的研究,目前已经出现了一些初步的成果。本文这里指的不是王剑等(2003)和王剑(2005)等所认为的原震旦系下统的底界,而是目前国际上比较认可的江口冰期或 Sturtian 冰期的起始时间,也就是彭学军等(2004)所指的长安组的底界年龄。北美 Idaho 州 Pocatello 组测定的底界年龄为 709 ± 5 Ma (Fanning & Link, 2004),而 Lund 等 (Lund *et al.*, 2003) 测得 Edwardsburg Formation 年龄约为 685 Ma;阿曼的 Ghubrah 组为 711.8 ± 1.6 Ma (Allen *et al.*, 2002)。阿曼的值很接近于北美 Idaho 的值;澳洲也推定 Sturtian 底界年龄约为 700Ma (Walter *et al.*, 2000)。

这些数据对我国南方江口群底界年龄的推定很有参考意义。板溪群已知的一些可靠年龄数据大致如下:

江口群	长安组	
	牛牯坪组	~700Ma (本文推测)
	百合垅组	
板溪群	多益塘组	
	五强溪组	~735Ma (甘晓春等,1993)
	通塔湾组	761±8Ma (葛文春等,2001)
	马底驿组	

从以上年龄数据的分布趋势看,我国江口冰期的起始年龄,很可能在 700Ma 上下,与北美、阿曼的年龄十分接近。

五、小结

南华系的建系工作已经开展,但是在观念上受到原震旦系下统定义的约束,未能与国际上关于成冰系的研究很好地接轨。最近国际前寒武系地层分会提出了新的划分理念,强调了重大地质关键事件的重要意义,强调多学科、多手段的综合研究。国际上关于成冰系的内涵已经比较明确,强调它仅仅包含了 Marinoan 和 Sturtian 两个全球冰期的记录,其起始年龄趋向于在 700Ma 上下。在我国南方相当于陡山沱组之下、板溪群之上的一套地层,包括了南沱组、大塘坡组、富禄组(由古城段和两界河段组成)、长安组。考虑到连续的地层记录在湘黔桂三省交界一带比较发育,为此建议以贵州黎平肇兴剖面为代表开展候选层型剖面 and 层型点所需内容研究。加强多学科的深入配合研究,争取在国际的相关研究中做出应有的贡献。

参 考 文 献

- 包超民,许红根,程光华. 2002. 华南中部造山带地层层序划分对比和南华系底界的讨论. *资源调查与环境*, **23**:84—87
- 甘晓春,赵凤清,唐晓珊等. 1993. 湖南板溪群的单颗粒锆石 U-Pb 等时年龄. 见:壳幔演化与成岩成矿同位素地球化学. 北京:地震出版社. 10—11
- 葛文春,李献华,李正祥,周汉文. 1993. 龙胜地区镁铁质侵入体: 年龄及其地质意义. *地质科学*, **36**:112—118
- 贵州省地质矿产局. 1987. 贵州省区域地质志. 北京:地质出版社. 1—698
- 刘鸿允,郝杰,李曰俊. 1999. 中国中东部晚前寒武纪地层与地质演化. 北京:科学出版社. 1—200
- 刘鸿允等. 1991. 中国震旦系. 北京:科学出版社. 1—388
- 陆松年,王惠初,李怀坤. 2005. 解读国际地层委员会 2004 年前寒武纪地层表及 2004—2008 年参考方案. *地层学杂志*, **29**(2): 180—187
- 陆松年,马国干,高振家,林蔚兴. 1985. 中国晚前寒武纪冰成岩系初探. 见:地质矿产部《前寒武纪地质》编辑委员会编. 前寒武纪地质,第 1 号,中国晚前寒武纪冰成岩论文集. 北京:地质出版社. 1—86
- 彭学军,刘耀荣,吴能杰,陈建超,李建清. 2004. 扬子陆块东南缘南华纪地层对比. *地层学杂志*, **28**(4):354—359
- 全国地层委员会编. 2001. 中国地层指南及中国地层指南说明书(修订版). 北京:地质出版社. 1—59
- 全国地层委员会. 2003. 全国地层委员会“南华系候选层型剖面野外现场研讨会”会议纪要. *地层学杂志*, **27**(2):159—160
- 王鸿祯. 1986a. 中国华南地区地壳构造发展的轮廓. 见:王鸿祯等编. 华南地区古大陆边缘构造史. 武汉:武汉地质学院出版社. 1—15
- 王鸿祯. 1986b. 论中国前寒武纪地质时代及年代地层的划分. *地球科学*, **11**(5):447—453
- 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. 1—146
- 王剑,李献华, Duan T Z, 刘敦一, 宋彪, 李忠雄, 高永华. 2003. 沧水铺火山岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及“南华系”底界新证据. *科学通报*, **48**:1726—1731
- 王剑. 2005. 华南“南华系”研究新进展——论南华系地层划分与对比. *地质通报*, **24**:491—495
- 薛耀松,曹瑞骥,唐天福,尹磊明,俞从流,杨杰东. 2001. 扬子区震旦纪地层层序和南、北方震旦系对比. *地层学杂志*, **25**(3):207—234
- 杨遵和. 1987. 中国西南地区的震旦系. 见:中国地质科学院天津地质矿产研究所编. 中国震旦亚界. 天津:天津科学技术出版社. 153—170
- 尹崇玉,王砚耕,唐烽,万渝生,王自强,高林志,邢裕盛,刘鹏举. 2006. 贵州松桃南华系大塘坡组凝灰岩锆石 SHRIMP II U-Pb 年龄. *地质学报*, **80**:273—278
- 尹崇玉. 2005. 国际新元古代年代地层学研究进展与发展趋势. *地层学杂志*, **29**(2):178—214
- 尹崇玉,刘敦一,高林志,王自强,邢裕盛,简平,石玉若. 2003. 南华系底界与古城冰期的年龄:SHRIMP II 定年证据. *科学通报*, **48**:1721—1725
- Allen P A, Bowring S, Leather J, Brasier M, Cozzi A, Grotzinger J P, McCarron G & Amthor J J. 2002. Chronology of Neoproterozoic glaciations: new insights from Oman. Abstract of 16th International Sedimentological Congress. 7—8
- Arnaud, Emmanuelle, Eyles & Carolyn H. 2002a. Catastrophic mass failure of a Neoproterozoic glacially influenced continental margin, the Great Breccia, Port Askaig Formation, Scotland. *Sedimentary Geology*, **151**:313—333
- Arnaud, Emmanuelle, Eyles & Carolyn H. 2002b. Glacial influence on Neoproterozoic sedimentation: the Smalfjord Formation, northern Norway. *Sedimentology*, **49**: 765—788
- Arnaud, Emmanuelle, Eyles & Carolyn H. 2006. Neoproterozoic environmental change recorded in the Port Askaig Formation, Scotland: Climatic vs tectonic controls. *Sedimentary Geology*, **183**: 99—124
- Bao Chao-Min, Xu Hong-Gen & Chen Guang-hua. 2002. The division and correlation of South China orogen stratigraphy and discussion of Nanhua System base boundary. *Resources Survey and Environment*, **23**:84—87
- Condon D, Zhu M, Bowring S, Wang W, Yang A & Jin Y. 2005. U-Pb Ages from the Neoproterozoic Doushantuo Formation, China. Beijing: Science Press. 1—3
- Cowie J W, Ziegler W & Remane J. 1989. Stratigraphic Commission accelerates progress, 1984 to 1989. *Episodes*, **12**: 79—83
- Chu X, Todt W, Zhang Q R, Chen F & Huang J. 2005. U-Pb zircon age for the Nanhua-Sinian boundary. *Chinese Science Bulletin*, **50**: 716—718
- Eyles N & Januszczak N. 2004. "Zipper-rift": a tectonic model for Neoproterozoic glaciations during the breakup of Rodinia after 750Ma. *Earth-Science Reviews*, **65**:1—73
- Fanning C M & Link P K. 2004. U-Pb SHRIMP ages of Neoproterozoic (Sturtian) glaciogenic Pocatello Formation, southeastern Idaho. *Geology*, **32**:881—884
- Fedonkin & Mikhail A. 2003. The origin of the Metazoa in the light of the Proterozoic fossil record. *Paleontological Research*, **7**(1):9—41
- Gan Xiao-chun, Zhao Feng-qing & Tang Xiao-shan *et al.* 1993. Single grains of zircon U-Pb isotope age. In: Evolution of crust and mantle and diagenetic mineralizational isotopic geochemistry. Beijing: Seismological Press. 10—11
- Ge Wen-chun, Li Xian-hua, Li Zheng-xiang & Zhou Han-wen. 2001. Mafic intrusions in Longsheng area: age and its geological implications. *Chinese Journal of Geology*, **36**(1): 112—118
- Gradstein F M, Ogg J G & Smith A G. 2005. A Geologic Time Scale 2004. Cambridge: Cambridge University Press. 1—384
- Hoffman P F, Kaufman A J, Halverson G P & Schrag D P. 1998. A Neoproterozoic snowball Earth. *Science*, **281**:1342—1346
- Hoffman P F & Schrag D P. 2002. The snowball Earth hypothesis testing the limits of global change. *Terra Nova*, **14**: 129—151
- Hoffmann K-H, Condon D J, Bowring S A & Crowley J L. 2004. U-Pb zircon date from the Neoproterozoic Ghaub Formation Namibia: Constraints on Marinoan glaciation. *Geology*, **32**: 817—820

- Kirschvink J L. 1992. Late Proterozoic low-latitude global glaciation: the snowball earth. In: Schopf J W & Klein eds. *The Proterozoic Biosphere*. Cambridge: Cambridge University Press. 51—52
- Knoll A H. 2000. Learning to tell Neoproterozoic time. *Precambrian Research*, **100**: 3—20
- Knoll A H, Walter M R, Narbonne G M & Christie-Blick N. 2004. A New Period for the Geologic Time Scale. *Science*, **305**: 621—622
- Liao Shih-fan. 1981. Sinian glacial deposits of Guizhou Province. In: Hambrey M J & Harland W B eds. *Earth's pre-Pleistocene Glacial record*. Cambridge: Cambridge University Press. 414—423
- Lund K, Aleinikoff J N, Evans Karl V & Fanning C M. 2003. SHRIMP U-Pb geochronology of Neoproterozoic Windermere Supergroup, central Idaho; Implications for rifting of western Laurentia and synchronicity of Sturtian glacial deposits. *GSA Bulletin*, **115**: 349—372
- Liu Hong-yun, Hao Jie & Li Yue-Jun. 1999. Late Precambrian stratigraphy and geological evolution in middle east China. Beijing: Science Press. 1—200
- Liu Hong-yun *et al.* 1991. *The Sinian System of China*. Beijing: Science Press. 1—388
- Lu Song-nian, Wang Hui-chu & Li Huai-kun. 2005. Unscramble the ISC 2004 and special reference to Precambrian from 2004 to 2008. *Journal of Stratigraphy*, **29**(2): 180—187
- Lu Song-nian, Ma Guo-gan, Gao Zhen-jia & Lin Wei-xing. 1985. Primary research on glacial rocks of Late Precambrian in China. In: Precambrian Geology Editorial Committee ed. *Precambrian Geology No. 1, The collected works of Late Precambrian glacial rocks in China*. Beijing: Geological Publishing House. 1—86
- National Committee of Stratigraphy. 2001. *Guide to stratigraphy in China and Explanation of the guide (revised edition)*. Beijing: Geological Publishing House. 1—59
- National Committee of Stratigraphy. 2003. A summary of the National Committee of Stratigraphy of the "field forum on the stratotype candidate section of Nanhuan Period". *Journal of Stratigraphy*, **27**(2): 159—160
- Peng Xue-jun, Liu Yao-rong, Wu Neng-jie, Chen Jian-chao & Li Jian-qing. 2004. Correlation of the Nanhuan strata on the southern margin of the Yangtze landmass. *Journal of Stratigraphy*, **28**(4): 354—359
- Vecoli M & Wicander R eds. 2004. *Acritarch Newsletter*, **20**: 22
- Veevers J J. 1990. Tectonic-climatic supercycle in the billion-year plate-tectonic eon; Permian Pangean icehouse alternates with Cretaceous dispersed-continents greenhouse. *Sedimentary Geology*, **68**: 1—16
- Veevers J J. 2004. Gondwanaland from 650-500Ma assembly through 320Ma merger in Pangea to 185—100Ma breakup: supercontinental tectonics via stratigraphy and radiometric dating. *Earth-Science Reviews*, **68**: 1—132
- Walter M R, Veevers J J, Calver C R, Gorjan P & Hill A C. 2000. Dating the 840—544Ma Neoproterozoic interval by isotopes of strontium, carbon, and sulfur in seawater, and some interpretative models. *Precambrian Research*, **100**: 371—433
- Wang Hong-zhen. 1986a. The outline of the development of the crustal structure in South China Region. In: Wang Hong-zhen *et al.* eds. *Structural history of paleocontinent margin in South China Region*. Wuhan: Wuhan College of Geology Publishing House. 1—15
- Wang Hong-zhen. 1986b. On the classification of chronostratigraphy and Precambrian geological time in China. *Geoscience*, **11**(5): 447—453
- Wang Jian & Li Zheng-xiang. 2003. History of Neoproterozoic rift basins in South China; implications for Rodinia break-up. *Precambrian Research*, **122**: 141—158
- Wang Jian. 2000. Neoproterozoic rifting history of South China; significance to Rodinia breakup. Beijing: Geological Publishing House. 1—146
- Wang Jian, Li Xian-hua, Duan T Z, Liu Dun-yi, Song Biao, Li Zhong-xiong & Gao Yong-hua. 2003. Zircon SHRIMP U-Pb dating for the Cangshuipu volcanic rocks and its implications for the lower boundary age of the Nanhua strata in South China. *Chinese Science Bulletin*, **48**: 1663—1669
- Wang Jian. 2005. New advances in the study of "the Nanhuan System"—with particular reference to the stratigraphic division and correlation of the Nanhuan System, South China. *Geological Bulletin China*, **24**: 491—495
- Wang Yue-lun, Lu Song-nian, Gao Zhen-jia, Lin Wei-xing & Ma Guo-gan. 1981. Sinian tillites of China. In: Hambrey M J & Harland W B eds. *Earth's pre-Pleistocene glacial record*. Cambridge: Cambridge University Press. 386—401
- Xiao Shu-hai. 2004. Neoproterozoic glaciations and the fossil record. In: Jenkins G S, McMenamin M A S, McKay C P & Sohl L eds. *The extreme Proterozoic geology, geochemistry, and climate*. *Geophysical Monograph*, **146**: 199—214
- Xue Yao-song, Cao Rui-ji, Tang Tian-fu, Yin Lei-ming & Yu Cong-liu. 2001. The Sinian stratigraphic sequence of the Yangtze region and correlation to the Late Precambrian strata of North China. *Journal of Stratigraphy*, **25**(3): 207—234
- Yang Xian-he. 1987. *The Sinian System of Southwest China*. In: Tianjing Institute of Geology and Mineral Resource, Chinese Academy of Geological Sciences ed. *The Sinian System*. Tianjin: Tianjin Science and Technology Press. 153—170
- Yin Chong-yu, Wang Yan-geng, Tang feng, Wan Yu-sheng, Wang Zi-qiang, Gao Lin-zhi, Xing Yu-sheng & Liu Peng-ju. 2006. SHRIMP II U-Pb zircon date from the Nanhuan Datangpo Formation Songtao County, Guizhou Province. *Acta Geologica Sinica*, **80**: 273—278
- Yin Chong-yu. 2005. Advance and tendency of the Neoproterozoic chronostratigraphic studies. *Journal of Stratigraphy*, **29**(2): 178—214
- Yin Chong-yu, Liu Dun-yi, Gao Lin-zhi, Wang Zi-qiang, Xing Yu-sheng, Jian Ping & Shi Yu-ruo. 2003. Lower boundary age of the Nanhua System and the Gucheng glacial stage: Evidence

- from SHRIMP dating. *Chinese Science Bulletin*, **48**: 1657—1662
- Young M G. 2004. Earth's earliest extensive glaciations: tectonic setting and stratigraphic context of Paleoproterozoic glaciogenic deposits. In: Jenkins G S, McMenamin M A S, McKay C P & Sohl L eds. The extreme Proterozoic geology, geochemistry, and climate. *Geophysical Monograph*, **146**: 161—181
- Zhang Q R, Chu X, Bahlburg H, Feng L, Dobrzinski N & Zhang T. 2003. Stratigraphic architecture of the Neoproterozoic glacial rocks in the "Xiang-Qian-Gui" region of the central Yangtze Block, South China. *Progress in Natural Science*, **13**: 783—787
- Zhang S, Jiang G, Zhang J, Song B, Kennedy M J & Christie-Blick N. 2005. U-Pb sensitive high-resolution ion microprobe ages from the Doushantuo Formation in south China: Constraints on late Neoproterozoic glaciations. *Geology*, **33**: 473—476
- Zhou Chuan-ming, Tucker R, Xiao Shu-hai, Peng Zhan-xiong, Yuan Xun-lai & Chen Zhe. 2004. New constraints on the ages of Neoproterozoic glaciations in South China. *Geology*, **32**: 437—440

PROBLEMS IN DEFINING THE NANHUAN PERIOD

ZHANG Qi-rui and CHU Xue-lei

Key Laboratory of Mineral Resources, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100029

Abstract The work on defining the Nanhuan Period began quite early, however, the focus was then on the newly defined Sinian and not on the Nanhuan Period, therefore, its definition was not emphasized. The international informal stratigraphic unit Cryogenian (850—650Ma) was then considered to be equivalent to Nanhuan, and in addition, equivalent to the lower series of the former Sinian. In last few years, domestic research on the Nanhuan did not pay much attention to the progress in the definition of Cryogenian, and emphasised the dating of the base of the former lower series of Sinian. Probably, the informal onset age constrain 850Ma of the informal unit Cryogenian was incorrectly taken to be formal. Study on the Neoproterozoic glacial strata, the main body of the Nanhuan (Cryogenian), has not been fully organised, and therefore, it was not fully known by the outside world. It is urgent to practise strictly the rule of the stratigraphic guide. This paper emphasises that the characteristics, including sequence stratigraphy, isotopic stratigraphy, magnetostratigraphy, lithostratigraphy, chemostratigraphy, biostratigraphy and chronostratigraphy of the Neoproterozoic glacial records in China, should become the main criteria in defining the content and boundary of Nanhuan, including the GSSP or GSSA. At the moment, the Zhaoxing section can be considered as a representative of the Global Stratotype Section and Point (GSSP). Multidiscipline study is important for providing contribution to the definition of Cryogenian.

Key words Nanhuan, Cryogenian, glacial strata, GSSP, Zhaoxing section, Liping, Guizhou