

中国晚前寒武纪年表和年代地层序列

高林志¹ 丁孝忠¹ 曹 茜² 张传恒²

(1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 2. 中国地质大学, 北京 100083)

摘要: 本文依据 2009 年 11 月 24 日全国地层委员会前寒武纪分会扩大会议上形成的一个共识, 对中国晚前寒武纪年表进行重新标定: 即长城系限定在 1.8~1.6 Ga, 包括常州沟组、串岭沟组、团山子组、大红峪组; 蓟县系限定在 1.6~1.4 Ga, 包括高于庄组、杨庄组、雾迷山组、洪水庄组、铁岭组; 待建系 1.4~1.0 Ga, 蓟县剖面上仅发育下马岭组; 青白口系限定在 1.0~0.78 Ga, 包括骆驼岭组和景儿峪组; 南华系限定在 780~635 Ma 及震旦系限定在 635~542 Ma。关于最新的江南古陆晚前寒武纪地层中的一系列锆石 U-Pb 数据, 应标定在青白口系上部。另外, 华北古陆上最新的锆石 U-Pb 测年结果, 初步揭示华北古陆前寒武系火山岩省的存在和分布范围, 结合全球大陆动力学的基本特征, 有利于我们建立一个前寒武纪统一的、精确的和具有年代系统的高精度年龄的基础剖面。

关键词: 中国古陆; 中、新元古代; 年代地层序列; 构造事件

中图分类号: P588.21; P597

文献标志码: A

文章编号: 1000-3657(2010)04-1014-07

当今前寒武纪年代地层学研究的新思维是借鉴超大陆研究中地质事件群的研究方法, 使前寒武纪地层学研究变成了地球动力学研究体系中的一个有机组成部分。地质事件群的研究必须有高精度重要测年结果的支撑, 特别是获得前寒武系关键层位火山岩夹层和辉绿岩床(脉)的高精度锆石 SHRIMP 定年数据。Plumb^[1]发表了新的前寒武系年表, 明确地提出元古宇内部每个系一级单位划分为 3~2 亿年, 古元古界自下而上划分 4 个系, 即成铁系 (2.5~2.3 Ga)、层侵系 (2.3~2.0 Ga)、造山系 (2.0~1.8 Ga)、固结系 (1.8~1.6 Ga); 中元古界自下而上划分 3 个系, 即盖层系 (1.6~1.4 Ga)、延展系 (1.4~1.2 Ga)、狭带系 (1.2~1.0 Ga); 新元古界自下而上划分 3 个系, 即拉伸系 (1000~850 Ma)、成冰系 (850~635 Ma)、末元古界 III (埃迪卡拉系 635~542 Ma)。国际年表将 1.8~1.6 Ga 的时段归入到古元古界顶部系一级单位, 固结系。而中国地质学家始终依据华北古陆前寒武纪沉积盖层发育的基本特征, 将中元古代地层的沉积起点放在 1.8 Ga, 而不同于国际年表的 1.6 Ga。目前在

全球范围内, 最好的、连续的中元古代地层剖面发育在华北古陆上的燕辽拗拉槽, 在整个华北古陆范围内基本未受变质作用的影响, 出露相当广泛, 构造极其简单, 顶、底界线非常清晰^[2,3], 该剖面即是中国中元古代地层的标准剖面, 也是在世界范围内罕见的晚前寒武纪完整地层剖面, 可成为当前国际前寒武系年表和地层对比中需要统一的、精确的和具有年代系统以高精度年龄为基础的基础剖面。

1 燕辽拗拉槽基本问题

1.1 年代学框架的建立

天津蓟县中、新元古代地层一直作为这一标准地层的主要研究剖面, 已进行了岩石地层、生物地层、化学地层、磁性地层和层序地层等多学科研究^[2-7], 然而, 高质量的同位素年代学研究和以此为基础的年代地层框架的优化和华北古陆中、新元古界研究成为中国地质学家研究的重点。长期以来, 由于关键层位缺乏高质量的同位素年龄标定, 导致蓟县剖面在国际地层标准剖面的竞争中受到影响。图 1 中标示的一

收稿日期: 2010-02-03; 改回日期: 2010-05-30

基金项目: 中国地质调查局项目 (1212010911071) 和科技基础性工作专项 (2006FY120300-1) 资助。

作者简介: 高林志, 男, 1955 年生, 研究员, 从事生物地层、层序地层、灾变事件地层研究; E-mail: gaolzh@cags.net.cn。

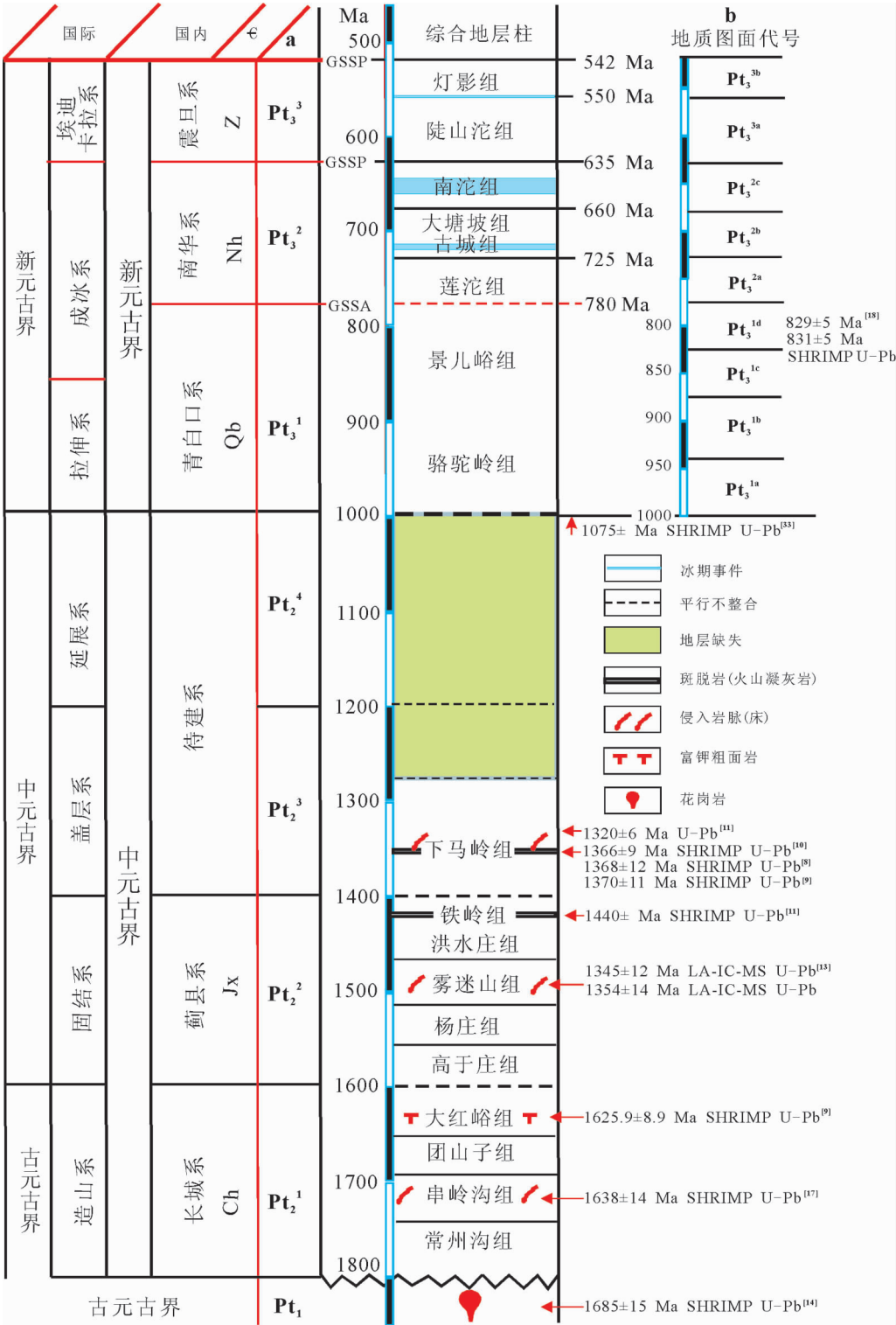


图 1 中国晚前寒武系综合柱状图

Fig.1 Late Precambrian stratigraphic column of China

系列最新高精度的锆石 U-Pb 测年数据,使华北古大陆的构造事件演化更为明确^[8-12]。其中最具有突破性的发现是首次精确地对下马岭组中的层凝灰岩(斑脱岩)锆石 SHRIMP U-Pb 定年,使得下马岭组这个青白口群(系)的关键地层单位划归为中元古界。随后,对一系列侵入岩的精确标定,即密云环斑花岗岩(1685 ± 15) Ma^[14];串岭沟组辉绿岩床(1638 ± 14) Ma^[12]最大程度地限定了哥伦比亚超大陆和燕辽坳拉槽的启动时间;同时,侵入雾迷山组中的辉绿岩床(1345 ± 12) Ma 和(1353 ± 14) Ma^[13]和下马岭组辉绿岩岩床(1320 ± 6) Ma^[11]以及华北古陆东缘徐怀地区侵入新元古代地层中的辉绿岩床获得精确的 SHRIMP U-Pb 年龄(928 ± 8) Ma^[16]和(930 ± 10) Ma^[17],结合下马岭组(1368 ± 12) Ma^[8]以及铁岭组斑脱岩和侵入下马岭组中的辉绿岩中锆石 U-Pb 的测年结果(1320 ± 6) Ma^[11],基本限定了哥伦比亚超大陆的裂解时间;由此确定了燕辽坳拉槽构造演化和大陆动力学的基本特征,为建立一个统一的、精确的和具有高精度年龄基础的年代系统剖面又迈进了一大步。在整个剖面中,喷出的火山岩年龄,即蓟县剖面大红峪组火山岩段(富钾粗面岩)中锆石 U-Pb 验证年龄(1625.9 ± 8.9) Ma 与下马岭组中火山灰(斑脱岩) SHRIMP U-Pb 年龄(1368 ± 12) Ma,在整个剖面上起到了重要的标定地层的作用。

当前,华北中元古代年代地层学研究有三大进展:1)中元古代地层中辉绿岩脉(床)锆石年代学研究的新成果,自下而上长城系串岭沟组辉绿岩脉(床)锆石 U-Pb 年龄为(1638 ± 14) Ma^[18];2)蓟县系雾迷山组辉绿岩脉(床)锆石 U-Pb^[15]年龄(1353 ± 14) Ma 和斜锆石(1345 ± 12) Ma;以及3)侵入下马岭组中辉绿岩脉(床)锆石和斜锆石 U-Pb 年龄(1320 ± 6) Ma^[11]。这些锆石 SHRIMP U-Pb 测年结果,使华北古陆中元古代地层划分与全球对比有了可靠的年龄“锚点”,有利于准确厘定华北地区中、新元古界完整的地层系统。

1.2 构造阶段

华北古陆的前寒武纪构造演化可分为2个阶段:1)中元古代 Columbia 超大陆($1.8 \sim 1.4$ Ga)构造阶段,以古陆拼合和裂解为特征;2)新元古代初期以 Grenville 造山带的 (Rodinia 超大陆, $1.1 \sim 0.85$ Ma)构造阶段^[19]。华北古陆的前寒武纪构造演化在1.8 Ga 后处于裂谷阶段,即古大陆的离散阶段。一般的

大陆离散阶段应具备以下7大特征:①双峰式岩浆活动;②基性岩墙群;③海进沉积岩系;④伸展构造变形;⑤被动陆缘沉积岩系;⑥远洋沉积系;⑦蛇绿岩的出现^[20]。但是,华北古陆的前寒武系始终未出现远洋沉积系和蛇绿岩,而在整个燕辽坳拉槽中却发育了不同阶段的基性岩墙群,代表了不同的构造意义:中元古代早期裂陷($1800 \sim 1400$ Ma)阶段,发育近南北向的坳拉槽裂陷盆地。中元古代晚期构造($1400 \sim 1200$ Ma)阶段,下马岭组发育了多层凝灰岩,特别是河北赵家山剖面中,发现有一系列岩浆岩,基性-中性-酸性岩浆岩。

1.3 新元古代裂谷系沉积

燕辽坳拉槽裂陷盆地中至少发育了3套大型辉绿岩床(脉);而胶辽徐淮地区出现了华北古陆大范围的火山岩省,其时代为(924 ± 8) Ma^[16]和(930 ± 10) Ma^[17]。这些岩床对所侵入的上下地层均有烘烤现象,其地层意义重大,它们限定了侵入地层的沉积年代,同时精确定年将有利于地层划分和地层对比。但是,这次裂陷事件在中朝古陆上并没有直接发育成为洋盆,它的构造意义和地球动力学特点是需要进一步深入研究的问题。

2 新年表的修正与地层对比

2.1 新年表的修正

对新年表的修正(图1),2009年11月24日全国地层委员会前寒武纪分会扩大会议上对新年表中元古界四分,并在4个方面进行重新定义和修订:1)将长城系(Ch)限定为 $1.8 \sim 1.6$ Ga(Pt_1^2);2)蓟县系(Jx)限定为 $1.6 \sim 1.4$ Ga(Pt_2^2);3)下马岭组($1.4 \sim 1.2$ Ga)所限定的时代为(Pt_3^2);4)确认($1.2 \sim 1.0$ Ga)的地层(Pt_4^2) 在蓟县剖面上为缺失。新元古界三分:青白口系(Qb, Pt_1^3)($1000 \sim 780$ Ma);南华系(Nh, Pt_2^3)($780 \sim 635$ Ma);震旦系(Z, Pt_3^3)($635 \sim 542$ Ma)。

2.2 地层划分和地层对比

1)蓟县剖面 $1.2 \sim 1.0$ Ga 的地层(Pt_4^2) 在何处填补?根据古生物信息最有可能的地区发育在豫西的中、新元古代地层^[21]和胶辽徐淮地区^[22-23];2)目前,青白口系(Pt_1^3)(骆驼岭组和景儿峪组)的年代学研究一直未突破,其在地层柱的位置依然有可能重新定位,但是,对于宏观藻类的定位提出了新的挑战^[24-27]。3)在中国地层格架中,扬子陆块和华夏陆块之间有一明显带状分布的新元古代浅变质的沉积地层和一

- correlation of the Upper Precambrian in China [C]//Wang Yuelun (ed.). Research on Precambrian Geology. Tianjin: Tianjin Science and Technology Press, 1980:1-30(inChinese).
- [5] 邢裕盛, 段承华, 梁玉左, 等. 中国晚前寒武纪古生物[M].地质专报,二、地层古生物, 2. 北京:地质出版社, 1985:1-243.
- Xing Yusheng, Duan Chenghua, Liang Yuzuo, et al. Late Precambrian Paleontology of China[M]. People's Republic of China Ministry of Geology and Mineral Resources, Geological Memoirs, series 2, number 2. Beijing: Geological Publishing House, 1985:1-243(inChinese).
- [6] 邢裕盛, 刘桂芝, 乔秀夫, 等. 中国的前寒武系, 中国地层. 3 [M]. 北京:地质出版社, 1989:1-314.
- Xing Yusheng, Liu Guizhi, Qiao Xiufu, et al. the upper Precambrian of China. Stratigraphy of China. No. 3 [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989:1-314(inChinese).
- [7] 高林志, 章雨旭, 王成述, 等. 天津蓟县中新元古代层序地层初探[J]. 中国区域地质, 1996, 1: 64-74.
- Gao Linzhi, Zhang Yuxiu, Wang Chengshu, et al. Meso and Neoproterozoic sequence stratigraphy in Jixian[J]. Regional Geology of China, 1996, 15(1):64-74(in Chinese with English abstract).
- [8] 高林志, 张传恒, 史晓颖, 等. 华北青白口系下马岭组凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年[J].地质通报, 2007, 26(3):249-255.
- Gao Linzhi, Zhang Chuanheng, Shi Xiaoying, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the ash bed from Xiamaling Formation, Qingbaikou Group in North China[J]. Geological Bulletin of China, 26(3): 249-255(in Chinese with English abstract).
- [9] 高林志, 张传恒, 尹崇玉, 等. 华北古陆中、新元古代年代地层框架 SHRIMP 锆石年龄新依据[J]. 地球科学, 2008, 29(3):366-376.
- Gao Linzhi, Zhang Chuanheng, Yin Chongyu, et al. SHRIMP zircon ages: basis for refining the chronostratigraphic classification of the Meso- and Neoproterozoic strata in North China old land[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2008, 29 (3): 366-376 (in Chinese with English abstract).
- [10] 高林志, 张传恒, 史晓颖, 等. 华北古陆下马岭组归属中元古界 SHRIMP 年龄新证据[J]. 科学通报, 2008, 53(21):2617-2623.
- Gao Linzhi, Zhang Chuanheng, Shi Xiaoying, et al. Mesoproterozoic age for Xiamaling Formation in North China Plate indicated by zircon SHRIMP dating [J]. Chinese Science Bulletin, 2008, 53(17): 2665-2671(inChinese).
- [11] 李怀坤, 陆松年, 李惠民, 等. 侵入下马岭组基型岩床的锆石和斜锆石 U-Pb 精确定年—对华北中元古界地层划分方案的制约[J]. 地质通报, 2009, 28(10):22-29.
- Li Huaikun, Lu Songnian, Li Huiming, et al. Zircon and beddeleyite U-Pb precision dating basic rock sills intruding Xiamaling formation, North China [J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(10): 22-29(in Chinese with English abstract).
- [12] Gao Linzhi, Zhang Chuanheng, Shi Xiaoying, et al. A new Shrimp age of the Xiamaling Formation in the North China Plate and its geological significance[J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81 (6): 1103-1109.
- [13] Zhang Shuanhong, Liu Shuwen, Zhao Yue, et al. The 1.75-1.68 Ga anorthosite -mangerite-alkali granitoid-rapakivi granite suite from the northern North China Craton: Magmatism related to a Paleoproterozoic orogen [J]. Precambrian Research, 2007, 155 (3-4): 287-312.
- [14] 高维, 张传恒, 高林志, 等. 北京密云环斑花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其构造意义[J]. 地质通报, 2008, 27(6):25-30.
- Gao Wei, Zhang Chuanheng, Gao Linzhi, et al. Zircon SHRIMP U-Pb age of rapakiv granite in Miyun, Beijing, China and its tectono-stratigraphic implcations [J]. Geological bulletin of China, 2008, 27(6): 793-798(in Chinese with English abstract).
- [15] Zhang Shuanhong, Zhao Yue, Yang Zhenyu, et al. The 1.35 Ga diabase sills from the northern North China Craton: Implications for breakup of the Columbia (Nuna) supercontinent [J]. Earth and Planetary Sceince Letters, 2009, 288:588-600.
- [16] 柳永清, 高林志, 刘燕学, 等. 徐淮地区新元古代初期镁铁质岩浆的锆石 U-Pb 定年[J]. 科学通报, 2005, 50(22):2514-2521.
- Liu Yongqing, Gao Linzhi, Liu Yanxue, et al. Zircon U-Pb dating for the earliest Neoproterozoic mafic magmatism in the southern margin of the North China [J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51 (19): 2375-2382.
- [17] Gao Linzhi, Zhang Chuanheng, Liu Pengju, et al. Reclassification of the Meso- and Neoproterozoic chronostratigraphy of North China by SHRIMP zircon ages[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83 (6): 1074-1084.
- [18] 高林志, 张传恒, 刘鹏举, 等. 华北—江南地区中、新元古界中元古代地层格架的再认识[J]. 地球科学, 2009, 30(4):433-446.
- Gao Linzhi, Zhang Chuanheng, Liu Pengju, et al. Recognition of Meoso- and Neoproterozoic stratigraphic framework in North and South China[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2009, 30(4): 433-446(in Chinese with English abstract).
- [19] 陆松年, 杨春亮, 李怀坤. 华北古大陆与哥伦比亚超大陆 [J]. 地学前缘, 2002, 9(4):223-233.
- Lu Songnian, Yang Chunliang, Li Huaikun. North China continent and Columbia supercontinent [J]. Earth Science frontiers, 9(4): 223-233(in Chinese with English abstract).
- [20] 李锦轶. 中国大陆地质历史的旋回与阶段 [J]. 中国地质, 2009, 36(3):504-527.
- Li Jinyi. Cycles and Stages of Geological History of China Mainland[J]. Geology in China, 2009, 36(3): 504-527(in Chinese with English abstract).
- [21] 高林志, 尹崇玉, 王自强. 华北古陆南缘新元古代地层的新认识[J]. 地质通报, 2002, (3):131-136.
- Gao Linzhi, Yin Chongyu, Wang Ziqiang. New view of the Neoproterozoic strata on the southern margin of the North China Platform [J]. Regional geology of China, 2002, (3): 131-136(in Chinese with English abstract).
- [22] 曹瑞骥. 我国中新元古代地层研究中若干问题的探讨[J]. 地层学杂志, 2000, 24(1):1-8.
- Cao Ruiji. Discussion on some problems in the Mesoproterozoic

- and Neoproterozoic stratigraphical study in China [J]. Journal of Stratigraphy, 2000, 24(1):1-8(in Chinese with English abstract).
- [23] 薛耀松, 曹瑞骥, 唐天副, 等. 扬子去震旦纪地层序列和南、北震旦系对比[J]. 地层学杂志, 2001, 25(3):207-234.
- Xue Yaosong, Cao Ruiji, Tang Tianfu, et al. The sinian stratigraphic sequence of the Yangtze region and correlation to the late Precambrian strata of North China [J]. Journal of Stratigraphy, 2001, 25(3):207-234(in Chinese with English abstract).
- [23] 全国地层委员会.《晚前寒武纪地层分类命名会议》纪要[J]. 地层学杂志, 1983, 7(1):78-80.
- National Commission on Stratigraphy of China (NCSC). Stratigraphic guide of China and its explanatory notes[J]. Journal of Stratigraphy, 1983, 7(1): 78-80.
- [24] 乔秀夫, 高林志, 彭阳. 古郿庐带新元古界——灾变、层序、生物[M]. 北京:地质出版社, 2001:1-128.
- Qiao Xiufu, Gao Linzhi, Peng Yang. Neoproterozoic in Paleo-Tanlu Fault Zone—Catastrophe, Sequences, Biostratigraphy [M]. Beijing:Geological Publishing House, 2001:1-128(in Chinese).
- [25] 乔秀夫, 高林志, 张传恒. 中朝板块中、新元古界年代地层柱与构造环境新思考[J]. 地质通报, 2007, 26(5):503-509.
- Qiao Xiufu, Gao Linzhi, Zhang Chuanheng. New idea of the meso- and Neoproterozoic chronostratigraphic chart and tectonic environment in Sino-Korean plate [J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26(5):503-509(in Chinese with English abstract).
- [26] Qiao Xiufu, Gao Linzhi, Peng Yang. Mesoproterozoic earthquake events and breakup of the Sino-Korean Plate [J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81 (3):385-397.
- [27] Lu Songnian, Zhao Guochun, Wang Huichu, et al. Precambrian metamorphic basement and sedimentary cover of the North China Craton: A review[J]. Precambrian Research, 2008, 160:77-93.
- [28] 高林志, 杨明桂, 丁孝忠, 等. 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[J]. 地质通报, 2008, 27(10):1744-1758.
- Gao Linzhi, Yang Minggui, Ding Xiaozhong, et al. SHRIMP U-Pb zircon dating of tuff in the Shuangqiaoshan and Heshangzhen groups in south China——constraints on the evolution of the Jiangnan Neoproterozoic orogenic belt [J]. Geological bulletin of China, 2009, 27(3): 1744-1758(in Chinese with English abstract).
- [29] 张传恒, 武振杰, 高林志, 等. 滇中昆阳群凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄: 华南格林维尔期造山的证据[J]. 科学通报, 2007, 52 (7):818-824.
- Zhang Chuanheng, Gao linzhi, Wu Zhengjie, et al. SHRIMP U-Pb zircon age of tuff from the Kunyang Group in central Yunnan: Evidence for Grenvillian orogeny in south China [J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(11):1517-1525(in Chinese).
- [30] 耿元生, 杨崇辉, 王新社, 等. 扬子地台西缘结晶基底的时代[J]. 高校地质学报, 2007, 13(3):429-441.
- Geng Yuansheng, Yang Chonghui, Wang Xinshe, et al. Age of crystalline basement in western margin of Yangtze terrane [J]. Geological Journal of China Universities, 2007, 13(3): 429-441(in Chinese with English abstract).
- [31] Wang Xiaolei, Zhao Guochun, Qi J S, et al. LA-ICPMS U-Pb zircon geochronology of the Neoproterozoic igneous rocks from Northern Guangxi, South China: implications for petrogenesis and tectonic evolution[J]. Precambrian Research, 2006, 145:111-130.
- [32] Wang Xiaolei, Zhao Guochun, Zhou Jincheng, et al. Geochronology and Hf isotopes of zircon from volcanic rocks of the Shuangqiaoshan Group, South China: Implications for the Neoproterozoic tectonic evolution of the eastern Jiangnan orogen [J]. Gondwana Research, 2008, 14: 355-367.
- [33] 高林志, 张传恒, 陈寿铭, 等. 辽东半岛细河群沉积岩碎屑锆石年龄分布模式及地质意义[J]. 地质通报, 2010, 29(8):1113-1122.
- Gao Linzhi, Zhang Chuanheng, Chen Shouming, et al. Distributional pattern of detrital zircon age from the Diaoyutia Formation, Xihe Group and its geological significance in Liaodong Peninsula[J]. Geological Bulletin of China, 2010, 29(8):1113-1122 (in Chinese with English abstract).

New Geological time scale of Late Precambrian in China and geochronology

GAO Lin-zhi¹, DING Xiao-zhong¹, GAO Qian², ZHANG Chuan-heng²

(1. *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;*

2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The newly marked Precambrian stratigraphic column of China was discussed by the Subcommittee on Precambrian of National Commission on Stratigraphy of China on November 24, 2009. According to the common understanding reached at this meeting, Changcheng System comprising Changzhougou, Chuanlinggou, Tuanshanzi and Dahongyu Formations is limited in 1.8–1.6 Ga, whereas the Jixian System consisting of Gaoyuzhuang, Yangzhuang, Wumishan, Hongshuizhuang and Tieling Formations is limited in 1.6–1.4 Ga. The unnamed system (1.4–1.0 Ga) only includes Xiamaling Formation in the Jixian section. The Qingbaikou System composed of Luotuling and Jing'eryu Formations is limited in 1.0–0.78 Ga. The Nanhua System is between 780–635 Ma and the Sinian System is between 635–542 Ma in age. According to a series of SHRIMP U–Pb dating data from late Precambrian in Jiannan orogenic belt, the strata should be assigned to the upper part of the Qingbaikou System. Moreover, new zircon U–Pb dating data obtained in North China Platform reveals the existence and distribution of the volcanic province. In dealing with the basic global geodynamics, it is useful to set up a basic late Precambrian section with unified and high-precision chronological dating.

Key words: China continent; Meso–Neoproterozoic; chronostratigraphic sequence; tectonic events

About the first author: GAO Lin-zhi, male, born in 1955, senior researcher, mainly engages in the study of biostratigraphy, sequence stratigraphy and event stratigraphy; E-mail: gaolzh@cags.net.cn.