

亚洲重大地质问题研究系列著作

中国新元古代生物 地层序列与年代地层划分

尹崇玉 高林志 刘鹏举 唐 烽 王自强 陈寿铭 著



科学出版社

“十二五”国家重点图书出版规划项目
亚洲重大地质问题研究系列著作

中国新元古代生物地层序列与年代地层划分

尹崇玉 高林志 刘鹏举 唐 烽 王自强 陈寿铭 著

中国地质调查局项目（编号：1212010511607；1212010611802-2） 资助出版
自然国家科学基金项目（编号：40672022；41072005）

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是在中国地质调查局项目“中国晚新元古代生物记录与南、北方地层对比”和续作专题“中国及邻区新元古代地层划分与对比研究”以及国家自然科学基金项目“埃迪卡拉纪生物地层序列与年代地层划分”等项目研究成果的基础上编写而成。对华南扬子板块和华北板块东南缘的新元古代地层进行了以生物地层为主的多学科综合研究,在新元古代生物地层序列、同位素年代学和化学地层等方面获得了重要进展,补充和完善了新元古代生物地层序列和年代地层划分,提出了我国新元古代地层南北对比的新框架。

本书可供从事地质与矿产研究的科研人员和大专院校师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国新元古代生物地层序列与年代地层划分 / 尹崇玉等著. —北京: 科学出版社, 2015. 6

(亚洲重大地质问题研究系列专著)

“十二五”国家重点图书出版规划项目

ISBN 978-7-03-044722-7

I. ①中… II. ①尹… III. ①生物地层学-地层序列-研究-中国-新元古代 ②地层学-地层划分-研究-中国-新元古代 IV. ①P537

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 124216 号

责任编辑: 韦 沁 / 责任校对: 赵桂芬

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 6 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2015 年 6 月第一次印刷 印张: 18 1/4

字数: 426 000

定价: 158.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

本书是在中国地质调查局项目“中国晚新元古代生物记录与南、北方地层对比”和续作专题“中国及邻区新元古代地层划分与对比研究”研究报告的基础上,融入国家自然科学基金项目“埃迪卡拉纪生物地层序列与年代地层划分”和“埃迪卡拉纪早期疑难化石 *Tianzhushania* 的再研究”项目的最新成果编写而成的。

研究地区涉及范围主要包括华南和华北两部分。华南区的工作范围涉及扬子地层分区和江南地层分区。重点工作地区包括云南昆明和玉溪地区,该地区南华系及震旦系为碎屑岩相和碳酸盐岩相混合沉积,晚震旦世灯影期发现十分丰富的宏观藻类化石。另外,贵州江口地区的早震旦世陡山沱晚期的宏观藻类也相当丰富。对上述地区宏观藻类化石的深入研究,有助于建立新元古代地层南、北对比的古生物学桥梁。华北地区的主要工作范围涉及胶辽徐淮和华北块体南缘部分地区。我国新元古代现行三分方案,自下而上为青白口系、南华系和震旦系。但是,由于华北地台及其周边地区迄今未发现南华系冰川沉积,无法用冰川事件进行直接对比。另外,相关地层的同位素年代学资料多以海绿石测年为主,其可靠性常遭到质疑。加上迄今为止对该套地层产出的宏观生物化石的研究还远不够深入。因此,以往对华北地台东缘新元古代地层划分对比的意见存在很大分歧,急需进一步研究。近年来,许多前寒武纪地层古生物学家的注意力多集中在华南震旦纪后生生物的研究上。相比而言,对华北地台东缘晚新元古代的古生物地层研究关注不够。实际上,华北地台东南缘新元古代是一个非常关键的地区,该地区出现的罗圈冰期很可能与大约 580Ma (百万年)前北美出现的 Gaskiers 冰川事件相当,其上可能缺失含典型埃迪卡拉生物群的地层而与早寒武世地层接触。近年来在重点研究有争议地区古生物资料的同时,兼顾相关地区同位素年代学和化学地层的深入研究,为解决我国华南和华北晚新元古代地层对比的问题提供了科学依据。

本书课题组在前人研究的基础上,重点对扬子地台和华北地台东南缘有争议地区的晚新元古代地层进行了以生物地层为主的多学科综合研究。经过全体项目组成员的共同努力,克服了野外考察点多,踏勘路线长,在碎屑岩和碳酸盐岩相混合型沉积地层中寻找火山灰夹层难度大以及相关古生物化石的分析、挑选和研究工作量大等不利因素和困难,圆满地完成了预期的研究任务,获得了一批宝贵的新资料。在此基础上对中国新元古代生物地层序列、年代地层划分和同位素年龄限定以及新元古代地层的南、北方对比等问题提出了以下几方面具有重要意义的新认识和新进展。

(1) 在新元古代同位素年代学研究方面获得重要突破,首次在北京西山原新元古界底部下马岭组的第三段获得 SHRIMP II 锆石 U-Pb 年龄为 $1368 \pm 12\text{Ma}$,并在其他地区和不同实验室得到进一步验证,使下马岭组划归到中元古界。重新限定了华北地区青白口系的下界,该定年成果对中国新元古界下界的重新厘定产生了深远影响。在贵州黎平肇兴南华系富禄组下部获得 SHRIMP II 锆石 U-Pb 年龄为 $669 \pm 13\text{Ma}$;在宜昌樟村坪磷矿陡山沱组下磷

矿层之上获得 SHRIMP II 锆石年龄为 614.0 ± 7.6 Ma; 在安徽淮南晚新元古代四十里长山组和河南焦作云梦山组分别获得碎屑锆石年龄, 为解决华南、华北相关地层的地质年代和地层对比的问题提供了重要依据。

(2) 在新元古代生物地层序列研究方面, 通过对峡东地区震旦系剖面燧石结核的系统切片研究, 确立了震旦系陡山沱组第三段以 *Tanarium* 和 *Ceratosphaeridium* 属为特征的具刺疑源类新组合。该具刺疑源类组合不仅层位稳定, 而且丰度和分异度均很高, 可同澳大利亚出现的埃迪卡拉纪复杂具刺疑源类组合 (ECAP) 对比。这为我国震旦系与澳大利亚埃迪卡拉系生物地层对比提供了重要依据。首次在陡山沱组第二段发现有饰天柱山球藻 (*Tianzhushania ornata*) 和两个宏体化石新层位, 证明峡东地区陡山沱组第二段和第三段含有不同的疑源类和宏体化石组合。

(3) 通过黄陵背斜周边八条震旦系剖面的系统古生物学和稳定碳同位素变化曲线的研究, 确立了陡山沱期化石分布与稳定碳同位素变化的耦合关系。证明以 *Tianzhushania* 属为主要特征的具刺疑源类下组合分布在稳定碳同位素第一正值区 (EP1); 以 *Tanarium* 属为主要特征的具刺疑源类上组合与稳定碳同位素第二正值区 (EP2) 对应。同时发现 *Tianzhushania* 在陡山沱组第二段中部发育的暴露间断面之下已经出现, 在该间断面之上更为繁盛, 而在接近陡山沱组第二段顶部处迅速绝灭。研究证明, 峡东地区震旦系陡山沱组第二段具刺疑源类组合可与贵州瓮安生物群对比, 而澳大利亚埃迪卡拉纪地层缺失该组合。

(4) 在云南江川震旦系灯影组旧城段和贵州江口翁会陡山沱组上部获得大量宏体化石新资料, 确定了龙风山藻科 (*Longfengshaniaceae*) 宏体化石在滇东灯影组旧城段的存在; 根据翁会的化石新资料, 确定早期后生动物栉水母类八臂仙母虫 (*Eoandromeda octobranchiata*) 在陡山沱组第四段出现, 认为震旦纪陡山沱晚期生物群可与澳大利亚典型的埃迪卡拉生物群出现层位对比。结合生物地层特征和演化序列, 稳定碳同位素变化曲线和同位素测年等资料, 提出震旦系的二统四阶划分方案。

(5) 通过对华南典型地区南华系的成冰事件、碎屑岩化学蚀变指数 (CIA) 以及火山凝灰岩锆石同位素测年研究, 结合对新疆塔里木和华北克拉通晚新元古代成冰事件的综合研究, 提出南华系下、中、上统的三分划分方案以及大致的界线年龄。

(6) 根据生物地层、年代地层和化学地层等多重地层学研究依据, 提出我国新元古代地层南、北方对比的基本框架。

本书共八章。第1章由尹崇玉执笔, 概要介绍了研究区的地理特征、地质背景、研究历史与现状以及项目的研究思路与技术路线; 第2章由刘鹏举执笔, 重点介绍扬子块体新元古代地层分布与区域地层特征; 第3章由高林志、刘鹏举执笔, 主要介绍华北块体新元古代地层分布与区域地层特征; 第4章由唐烽执笔, 重点介绍新元古代的宏体化石及其生物地层序列; 第5章由尹崇玉执笔, 重点介绍新元古代微体化石及地层层序; 第6章由王自强、陈寿铭完成, 重点介绍化学地层资料及综合分析; 第7章由高林志、刘鹏举、尹崇玉共同完成, 主要介绍同位素年代学 (SHRIMP 定年) 新资料; 第8章由尹崇玉执笔, 重点介绍华南、华北新元古代地层对比的主要结论与存在问题。

在本研究的实施期间, 中国地质调查局有关部门始终给予宏观指导并及时提供了研究经费, 使课题研究得以圆满完成。在此, 课题组全体成员表示衷心感谢。

目 录

前言

第 1 章 绪言	1
1.1 地理位置与地质背景	2
1.2 研究历史与立项依据	3
1.3 研究思路与技术路线	6
1.3.1 研究方法	7
1.3.2 技术路线	7
1.4 主要研究进展和成果	9
1.4.1 新资料和新发现	9
1.4.2 新认识	13
第 2 章 扬子块体新元古代地层分布与区域地层特征	16
2.1 新元古代地层划分	16
2.2 区域地层特征	18
2.2.1 青白口系	18
2.2.2 南华系	19
2.2.3 震旦系	21
2.3 主要研究剖面描述	25
第 3 章 华北块体新元古代地层分布与区域地层特征	48
3.1 华北分区中、新元古代地层特征	48
3.1.1 地层划分沿革与研究现状	48
3.1.2 蓟县剖面新元古代地层层序	50
3.1.3 北京周边地区新元古代地层层序	51
3.2 北秦岭（华北块体南缘）新元古代地层特征	53
3.2.1 地层划分沿革与研究现状	53
3.2.2 新元古代地层层序	56
3.3 胶辽徐淮分区新元古代地层特征	63
3.3.1 辽东-吉南地区	63
3.3.2 徐淮地区	76
第 4 章 新元古代的宏体化石及其生物地层序列	85
4.1 华北东部宏体化石特征及地层分布	87
4.1.1 华北东部地区青白口系宏体化石特征及地层分布	89

4.1.2	华北东部地区震旦(埃迪卡拉)系宏体化石特征及地层分布	91
4.1.3	华北东部新元古代宏体化石的生物地层序列	97
4.2	华南的宏体化石特征及地层分布	99
4.2.1	华南震旦纪陡山沱期宏体化石特征	101
4.2.2	华南震旦纪灯影峡期宏体化石特征	106
4.2.3	华南震旦纪宏体化石的生物地层序列	114
4.3	新元古代宏体化石的南、北方对比及其地层意义	116
第5章	新元古代微古植物特征及生物地层序列	120
5.1	微古植物研究历史概述	120
5.2	华北地区新元古代微古植物分布及特征	121
5.2.1	华北地区新元古代微古植物特征	121
5.2.2	微古植物的生物地层序列	123
5.3	华南地区微化石特征及地层分布	125
5.3.1	陡山沱期微化石特征	125
5.3.2	灯影期微化石特征	132
5.3.3	震旦纪微化石生物地层序列	133
5.4	新元古代微古植物的南、北方对比	135
第6章	化学地层资料及综合分析	139
6.1	碳、氧同位素及 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值的研究及其变化特征	139
6.2	化学蚀变指数研究及其变化特征	164
第7章	同位素年代学(SHRIMP定年)新资料	180
7.1	华北青白口系的底界年龄	180
7.1.1	下马岭组锆石年龄及时代归属	180
7.1.2	青白口系骆驼岭组(龙山组)锆石年龄	186
7.1.3	华北南缘新元古界底界年龄	191
7.2	徐淮地区新元古代四十里长山组碎屑锆石年龄新资料	196
7.2.1	样品的地质背景	196
7.2.2	锆石特征及SHRIMP定年结果	196
7.2.3	讨论	197
7.3	南华系富禄组锆石SHRIMP年龄	199
7.3.1	采样地点及地质背景	199
7.3.2	锆石特征及SHRIMP定年结果	199
7.3.3	地质意义	201
7.4	震旦系陡山沱组锆石年龄新资料	206
7.4.1	样品的地质背景	206
7.4.2	锆石特征及SHRIMP定年结果	209
7.4.3	地质意义	209

第 8 章 中国晚新元古代南华系及震旦系的划分与对比	214
8.1 南华系 Nanhuan (Nh, 780 ~ 635 Ma)	214
8.1.1 中国北方的南华系	216
8.1.2 中国南方的南华系	219
8.2 震旦系 Sinian (Z, 635 ~ 542 Ma)	220
8.2.1 中国北方的震旦系	222
8.2.2 中国南方的震旦系	223
8.3 华南与华北晚新元古代地层的对比	226
参考文献	232
图版说明	257
后记	281

第1章 绪 言

地球系统演化决定了地球生命的起源与演化进程，而生命的演化进程又直接反馈影响到地球表层环境以及各层圈之间的物质循环。元古宙特别是新元古代处于地球发展历史长河中由隐生宙向显生宙过渡的重要阶段，涉及晚前寒武纪地壳增生，罗迪尼亚（Rodinia）大陆聚合与裂解等重要构造演化事件。寒冷气候（冰期）与温室效应的相互更替，海洋与陆地边缘地球化学条件的显著变化等，使新元古代成为地球早期生命演化最关键的时期。因此，新元古代地层和古生物研究成为国际地质学界长期关注的热点之一。晚新元古代全球性“雪球事件”的结束，导致地球生物圈发生了最重要的进化事件——多细胞后生植物的适应辐射和早期后生动物的起源和演化。所以，对新元古代重大生命事件与地质事件的深入研究对于探讨地球早期生命演化具有重要的科学意义。然而，各国地层古生物学家在研究和探讨重大生命事件与地质事件的时候，必须采用统一的和精确的年代地层系统，才可能有共同语言，从而更有效地探索地球历史上同步发生的各种事件和生命演化规律。自1989年“国际地层委员会末元古系分会”正式成立以来，经过各国科学家近15年的努力，国际末前寒武纪年代地层学研究取得了实质性进展。2004年，国际地层委员会颁布的新《国际地层表》中，全球末元古系已被正式命名为埃迪卡拉系（Ediacaran）。系底界层型获得了国际地质科学联合会（简称国际地科联）的最终批准，确定南澳大利亚弗林德斯山伊诺拉马河剖面（Enorama Creek section, Flinders Ranges, South Australia），伊拉逊那冰积岩（Elatina diamictite）之上的盖帽碳酸盐岩努卡利那组（Nuccaleena Formation）的下界为埃迪卡拉系的底界层型（GSSP）。

2004年出版的国际《地质年代表（修订本）》中，前寒武纪和第四纪的年代地层划分发生了较大变化。特别是前寒武纪，以后生物群出现为特征的埃迪卡拉系被建议归属到显生宙，作为显生宙的第一个“系”级年代地层单位，以该系的下界作为显生宙的底界，年龄被推定为630Ma（Gradstein *et al.*, 2004）。与此同时，新的国际《地质年代表（修订本）》还建议，用关键事件群为标志来限定前寒武纪地层单位的“自然界线”，以完善前寒武纪地质年代表。其中新元古代的下界建议年龄为12.67亿年，以北美麦肯齐山发育的岩墙群事件为标志。该建议借鉴了超大陆研究中普遍采用的地质事件群的研究方法，使前寒武纪地层学研究成为地球动力学研究体系的有机组成部分，这一研究思路正在影响和引领着前寒武纪年代地层学研究的发展方向。正是由于这个原因，晚新元古代在全球广泛发育的冰川事件将成为“成冰纪”划分的重要标志。为此，2004年8月在意大利召开的32届国际地质大会上，国际地层委员会成立了“埃迪卡拉系分会”，后更名为“新元古代地层分会”。“新元古代地层分会”的两项紧迫任务和研究目标是：①进一步确立“系”（Ediacaran）的内部划分方案。②建立“成冰系”底界GSSP和完善内部划分。所以，开展全球系的进一步划分以及新元古代年代地层的完善成为当前紧迫的任务。

近年来,虽然我国新元古代早期生命研究和相关的古生物发掘取得了长足进展,诸如淮南生物群、瓮安生物群、庙河生物群、蓝田生物群、高家山生物群等新元古代化石生物群不仅在国内,而且在国外也获得了相当的知名度和广泛影响。但是,由于长期集中在少数的化石产地,偏重追求单一古生物材料的发掘,导致我国原来存在的南、北方新元古代地层对比研究滞后,问题越来越突出。特别是全国地层委员会审议通过我国新元古代三分方案以后,解决新建南华系在北方板块如何界定以及与南方板块的对比问题已成为当务之急。它不仅关系到如何正确认识我国新元古代地球演化历史,而且还关系到识别相关时代矿产资源的勘探与开发,是一项十分重要的基础课题,具有十分重要的科学意义和现实意义。中国新元古代生物地层序列与年代地层划分是在这种背景下提出的,研究目标是在长期资料积累的基础上,针对关键地区的新元古代地层进行有针对性的多学科综合研究,同时兼顾新元古代古生物学和地层学的热点问题,综合考虑新元古代地球系统演化事件与地层及生物记录的关系,力争在上述长期争论的问题上取得新突破。

本研究的目标是:以三峡纪经典剖面和华南南华纪(Nanhuan)经典剖面为依托,国际前寒武纪年代地层划分的新理念为指导,完善中国及邻区新元古代年代地层框架,建立具有普遍地层划分和对比意义的成冰纪底界和纪再分标准为目标。通过对扬子地台和华北地台东南缘有争议的新元古代地层进行以生物地层为主的多学科综合研究。采用生物地层、事件地层、化学地层和同位素年代地层等多学科综合地层学研究方法,从地球内部演化以及外部环境突变等多角度研究和探讨华北地台东南缘新元古代南华纪的界定以及后生生物的演化规律,揭示新元古代生物演化事件与地质事件记录的耦合关系,重点解决我国新元古代年代地层划分以及南华纪—震旦纪(Sinian)的南、北方地层对比问题。

1.1 地理位置与地质背景

本研究涉及的重点地区包括华南和华北两部分,即中国地层新元古界地层区划中所采用的华南区和中朝区(图 1.1,Ⅷ、Ⅴ)。在华南区的工作范围主要涉及扬子地层分区和江南地层分区(图 1.1,Ⅷ₂、Ⅷ₃),重点工作地区选择在扬子分区南部的云南昆明和玉溪地区。因为该地区震旦系及南华系为碎屑岩相和碳酸盐岩相混合沉积,其中晚震旦世灯影期发育十分丰富的宏观藻类化石。另外,江南分区的瓮安和江口地区,早震旦世陡山沱晚期的地层中宏观藻类化石也相当丰富。对上述层位的宏观藻类化石进行深入的生物地层研究,将有助于构建南、北晚新元古代地层对比的生物地层学桥梁。华南研究区重点工作区的地理位置在东经 101°30′~103°10′,北纬 23°10′~24°50′,位于云南高原及滇中湖盆地区,包括晋宁、江川及峨山等县。研究区大部分属于典型的高原地貌形态,海拔高度一般在 1600~2500m,属北亚热带高原季风气候。

在中朝地层区的工作范围主要涉及华北块体东缘,即胶辽徐淮地层分区和华北块体南缘的北秦岭—大别山地层分区(图 1.1,Ⅴ₂、Ⅴ₃)。前者区内的晚新元古代地层呈 NNE 方向,从南向北分布于安徽淮南、苏北、胶东和辽东半岛。后者区内的晚新元古代地层主要分布在晋南和豫西地区,为一套碎屑岩和碳酸盐岩混合的沉积地层。胶辽徐淮区晚新元古代地层中含有非常丰富的古生物化石,包括微古植物和类型多样的宏观藻类化石,对于研

究该时期多细胞后生生物的早期演化和南北地层对比具有重要意义。为此重点工作地区选择在东经 116°30′~117°50′，北纬 32°25′~33°00′ 的淮南地区和东经 121°10′~122°50′，北纬 38°40′~40°00′ 的辽东半岛地区。上述地区多为低山丘陵地貌，海拔一般不高，地理位置和交通条件较好，为华北地区晚新元古代地层典型剖面的分布地区。

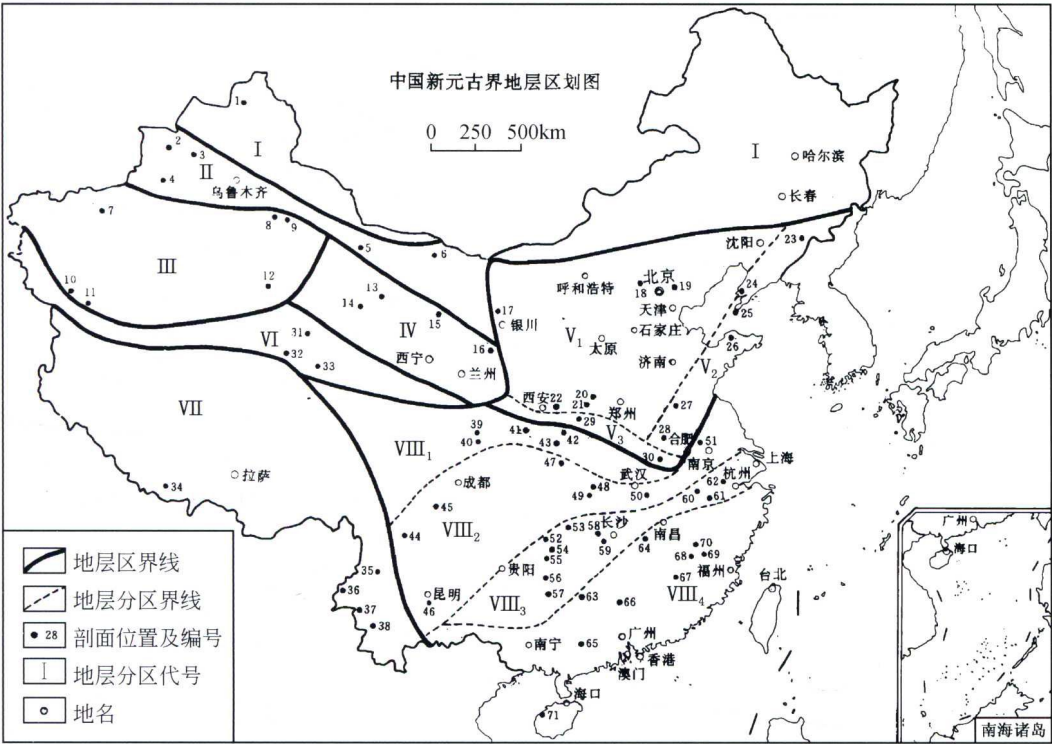


图 1.1 中国新元古界地层区划及主要标准地层剖面分布情况图（据邢裕盛等，1996）

1.2 研究历史与立项依据

1924 年，李四光、赵亚曾研究并确定了湖北西陵峡地区的震旦系剖面，自下而上划分为南沱砂岩及冰碛层、陡山沱页岩和灯影灰岩三大岩性单位。自此，奠定了中国南方震旦纪以及同期地层的对比标准。1934 年，高振西等对河北蓟县地区的一套未变质的前寒武纪地层进行了研究，确立了以蓟县剖面为代表的北方型震旦系剖面，并把该剖面划分为三个群和十个岩组，奠定了中国北方震旦系的划分标准。在之后很长的一段时间内，人们认为湖北西陵峡剖面的震旦系与蓟县剖面的震旦系基本相当。1949 年新中国成立之后，随着我国地质矿产资源科研与生产的蓬勃开展，特别是 20 世纪 50 年代末至 60 年代初开展的晚前寒武纪年代地层学研究，广泛应用了同位素测年方法，发现以峡东地区剖面为标准的南方型“震旦系”和以蓟县剖面为标准的北方型“震旦系”并非同时代的产物，彻底动摇了南方和北方两个“震旦系”基本相当的概念。至 20 世纪 70 年代初期，大量宏观生物化石在我国南方震旦系的发现具有划时代的重要意义。这些重要化石的发现和同位素年代学

证据,导致三峡剖面的南方“震旦系”新于蓟县剖面的北方“震旦系”的结论不容置疑。为此,1975 年在北京召开的“震旦系座谈会”,确认三峡剖面为代表的南方“震旦系”在地层柱的位置高于以蓟县为代表的北方“震旦系”。并建议把“震旦系”一词限定为以三峡地区为标准剖面的“震旦系”,同时把以蓟县剖面为代表的北方“震旦系”三分,自下而上称为“长城系”、“蓟县系”和“青白口系”,与南方“震旦系”共同组成中、上元古界的地层系统。当时中国的上元古界为二分,包括以华北燕山为标准剖面的“青白口系”和以峡东为标准剖面的“震旦系”。

20 世纪 80 年代初至 90 年代,原地质矿产部、中国科学院和其他科研单位围绕新厘定的峡东地区震旦系标准剖面开展了深入研究。采用生物地层、岩石地层、地球化学、岩相古地理、古地磁和同位素年代学等多学科的综合研究,取得了重要进展,一系列研究论文和专著相继面世。其中代表性专著包括:《长江三峡地区生物地层学震旦纪分册》(赵自强等,1985)、《湖北震旦系》(赵自强等,1988)、《中国震旦系》(刘鸿允,1991)等。确立了以小壳化石带为主要标准的震旦系/寒武系界线方案,并建立了我国震旦系/寒武系界线层型剖面 and 点位,同时向国际地层委员会提交了以云南梅树村剖面作为全球末元古系/寒武系界线候选层型剖面的推荐报告。在震旦纪陡山沱期发现内容极为丰富的末元古代化石库(Lagerstätten),即发现陡山沱早到中期的硅化(燧石相)和磷酸盐化(磷酸岩相)微化石群。同时在陡山沱组顶部发现以宏观碳质印膜化石为特征的庙河生物群以及在灯影组发现西陵峡生物群等。

与此同时,我国地层古生物工作者在 20 世纪 70 年代开始对华北地台东缘的晚前寒武纪地层进行深入的考察和研究。在岩石学、古生物学、地层学、沉积学和同位素年代学等多方面积累了丰富的研究资料,特别是在该地区发现了“辽南生物群”和“淮南生物群”两个以宏观藻类、蠕形动物、类水母等化石为特征的化石群,为确定辽南和淮南地区晚前寒武纪地层中的一部分可与峡东地区震旦系对比的古生物学证据。“辽南生物群”产于辽东半岛南部新元古代细河群和辽南群中,从老到新分别由宏观藻类 *Chuaria-Shouhsienia* 组合(钓鱼台组—南芬组)、宏观藻类 *Chuaria-Tawuia* 与蠕形动物 *Sabellidites-Paleolina* 组合(长岭子组—南关岭组)和类水母化石组合(兴民村组)组成。“淮南生物群”产于安徽淮南地区新元古代淮南群中,是由宏观藻类 *Chuaria-Tawuia* (刘老碑组)与蠕形动物 *Pararenicola-Paleolina* 组合(九里桥组)组成的古生物群。辽南生物群和淮南生物群是我国最早发现和研究的宏体化石群,被认为是原震旦纪生物群的早期组合,是地球早期生命景观的重要代表。

1989 年,国际地层委员会通过了国际前寒武纪地层分会建议的元古宇划分方案,元古宇被分为三个界十个系。其中新元古界被三分为三个系级年代地层单位,自下而上分为拉伸系(Tonian)、成冰系(Cryogenian)和新元古Ⅲ系(NeoproterozoicⅢ)。随后,全球新元古Ⅲ系(或称末元古系)的建系和确立该系全球界线层型的研究成为热点(Knoll *et al.*, 2000; Walter *et al.*, 2003)。鉴于“国际地层委员会末元古系分会”多数专家赞同以新元古代广泛发育的最后一次大规模冰期事件结束作为新元古Ⅲ系的下界,而这一分界方案基本与我国峡东地区原震旦系上统陡山沱组的下界基本相当。随着国际末元古系底界定义的变化,作为我国末元古系地层单位名称的震旦系,其下界如何厘定被提到议事日程。

1999年12月,在十三陵召开的第三届全国地层会议预备会上,与会专家一致认为应该在中国地质年表中保留震旦系名称。但是,由于原震旦系底界所采用方案限定的地层范围过大,难与国际地层委员会新建议的“末元古系”划分方案接轨。因此,建议震旦系底界采用陡山沱组下界的方案,即以陡山沱组底部盖帽白云岩的下界为界。重新限定的震旦系为介于寒武系底界至南沱组冰碛岩顶界之间的一套地层,原震旦系下统在华南地区为典型的含冰成沉积的地层,另建新系“南华系”。新建议方案于2000年被第三届全国地层委员会审议通过,新厘定的震旦系仅限于原震旦系的上统,包括陡山沱组和灯影组,底界为陡山沱组底部盖帽白云岩的下界。根据已有年龄资料,震旦系底界年龄被推定为680Ma,并保留了原陡山沱阶(Doushantuoan Stage)和灯影峡阶(Dengyingxian Stage)名称(全国地层委员会,2001,2002)。

2004年初,国际地层委员会投票通过,并经国际地科联最终批准,末元古系正式名称被确定为埃迪卡拉系(Ediacaran),以南澳大利亚弗林德斯山脉伊诺拉马河剖面,伊拉狄那(Elatina)冰积岩之上的盖帽碳酸盐努长利那(Nuccaleena)组下界作为该系的层型和点位(GSSP)。这样,我国新厘定的震旦系与国际地质年表新建的“系”基本相当,时限为630~542Ma。震旦系之下新建的“南华系”,大致对应国际地质年表中的“成冰系”。我国新元古代采用三分方案,自下而上分别为青白口系、南华系和震旦系。但是,由于华北地台及其东缘迄今为止尚未发现真正与华南南华系相当的冰川沉积记录,无法通过冰川事件直接进行地层对比。尽管以往也发现过一些值得注意的冰成沉积线索,如曾有报道在辽南的桥头组发现冰晶痕等寒冷气候的地质记录(高振家和陈克强,2003)。但是,对这些线索都没有进行更深入的研究和证实。另外,相关地层的同位素年代学资料以往多以碎屑岩中海绿石的测年为主。由于海绿石测年存在可靠性不强的问题,在实际的年代地层对比中应用困难,常遭质疑。加上迄今为止对辽南生物群和淮南生物群的研究远不够深入,许多新的重要化石线索,如前人报道的在淮南刘老碑组发现狄更逊(*Dickensonia*)虫化石(牛绍武,1997),在苏皖北部张渠组发现大量海绵骨针化石(乔秀夫等,1996)以及在辽南复州营城子组发现大量宏体碳质压膜化石等都有待进一步的发掘和核实。因此,以往对华北地台东缘新元古代地层的划分对比的许多意见出现分歧,急需进一步的深入研究。

近年来,我国许多前寒武纪古生物研究者的注意力多集中在华南新元古代震旦纪的后生生物研究上。相比而言,对华北地台东缘新元古代的古生物化石和地层研究的关注程度远远不够,缺乏系统深入的研究。实际上,华北地台东缘新元古代的古生物地层研究不论对探讨早期后生命的演化而言还是对新元古代年代地层划分,都具有非常重要的地位,是一个非常关键的地区。近年来的研究表明,全球新元古代至少发育两次规模较大的冰川事件,它们分别为斯图特(Sturtian)冰期(距今745~680Ma)和马雷诺(Marinoan)冰期(距今660~630Ma),分别大致相当于我国扬子地台的长安(或古城)冰期和南沱冰期。而华北地台缺失上述两个冰期,仅在地台南缘局部出现更晚一些的罗圈冰川沉积。随着研究的不断深入,越来越多的证据显示新元古代全球的冰川事件对早期生命演化具有重要的影响和制约作用,尤其是对多细胞后生动物的演化具有非常重要的影响。目前北美(加拿大等地)的研究资料证明,典型后生物群繁盛期(距今570~542Ma)之前还发育一期局部的冰川事件噶斯奇厄斯冰期(Gaskiers Glaciation,距今约

580Ma)。我国华北地台东、南缘出现的罗圈冰期很可能与北美大约 580Ma 前出现的 Squantum/Gaskiers 冰期相当,而罗圈组上部黑色页岩及薄层泥灰岩段直接与寒武系辛集组接触。因此,有人推断在华北地台南缘很可能缺失含典型后生动物群繁盛期的埃迪卡拉晚期层位。本项目在前人研究的基础上,以进一步发掘扬子地台和华北地台东、南缘新元古代生物地层记录为研究的切入点,结合相关地层的同位素年代学研究,碳、氧同位素变化曲线和化学蚀变指数 (Chemical Index of Alteration, CIA) 研究,进一步揭示华南和华北两地区新元古代古生物特征和演化序列,提出新元古代南华系和震旦系划分方案和南、北方地层对比的框架。

1.3 研究思路与技术路线

如前所述,从 20 世纪 70 年代开始不同科研和生产单位对华北地台东缘的晚前寒武纪地层进行了系统研究,积累了丰富的古生物地层资料。但是,由于扬子地块和华北地块在晚新元古代处于不同的古地理位置,二者经历了完全不同的构造演化历史。同期地层中所含的古生物化石不尽相同,特别是华北地块及其周缘缺失华南地块南华系出现的典型冰川沉积,无法通过冰川的沉积事件进行直接的地层对比。因此,对上述地区晚新元古代地层的南、北对比存在分歧,长期争论不休,成为老大难问题。项目组在前一轮工作项目的实施过程中,已根据国际新元古代年代地层学发展的新趋势,对峡东地区震旦系剖面开展了以生物地层学为主的年代地层学研究,获得了重要进展。通过对震旦纪生物群的深入研究,不仅发现了陡山沱组宏体化石的新层位和动物大爆发之前的疑源类、多细胞藻类、后生动物及胚胎等多门类生物化石;而且在震旦系同位素年代地层学研究方面取得了重要突破,首次获得了震旦系陡山沱组底部 $628.3 \pm 5.8\text{Ma}$ 和陡山沱组顶界 $549.9 \pm 6.1\text{Ma}$ 的锆石 U-Pb 年龄 (Yin *et al.*, 2005a, 2005b)。这使我国峡东地区震旦系剖面成为解决系年代地层划分的理想地区之一。此外,作者还对华南地区晚新元古代多层火山凝灰岩及斑脱岩进行了采样和锆石定年研究,并获得了部分层位的 SHRIMP II 锆石 U-Pb 年龄,为开展晚新元古代南、北方地层对比奠定了基础。本项目的研究思路是,生物地层学研究方面在认真分析前人资料的基础上,选择关键地区和长期存在争议的问题,有针对性地开展多学科综合研究。扬子地台重点工作地区选择在南部的云南昆明-玉溪地区和贵州瓮安-江口地区。因为贵州瓮安-江口地区早震旦世陡山沱期含有相当丰富的宏观藻类化石;而云南昆明-玉溪地区的震旦系及南华系为碎屑岩相和碳酸盐岩相的混合沉积,晚震旦世灯影期也发育十分丰富的宏观藻类化石。地层对比长期存在争论的华北地台东南缘晚前寒武纪地层,以多层位很丰富的宏观藻类化石著称。所以对这两个地区宏观化石生物群和微古植物群的深入研究有助于建立相关地层南、北对比的古生物学桥梁。项目组对华北地台东缘新元古代地层和宏体化石的产出层位十分了解,不仅有丰富的地层古生物研究资料,而且对两地区需要深入研究的问题和关键地点十分清楚。研究的另一个重点是关键层位的同位素年龄测定。由于扬子地台和华北地台所处板块不同,古地理位置的差异造成了两地区新元古代地层具有完全不同的岩性特征和沉积环境,缺乏可直接对比的直观依据。因此,对华北地台东、南缘的新元古代地层进行同位素地质年代学研究至关重要。根据这一研究思路,项目

组在重点研究有争议地区的地层古生物资料的同时,把寻找北京周边-燕山地区和华北地台东南缘新元古代地层的火山灰夹层,并进行同位素定年研究也放在了重要位置。同时兼顾相关地层的生物地层资料 and 同位素年代学结果,为彻底解决中国华南和华北晚新元古代地层对比提供科学依据。

1.3.1 研究方法

在前人研究工作的基础上,采用野外地质调查和室内研究密切结合的多学科综合研究方法,重点对扬子地台和华北地台东南缘有争议地区的晚新元古代地层进行以生物地层为主的多学科综合研究。通过各种实验室手段的分析测试和室内综合研究,完成项目预期的目标任务。在深入发掘和研究相关地层古生物化石的同时,多学科交叉融合。通过采用生物地层、事件地层、层序地层和化学地层学等综合地层学方法进行深入研究,从地球内部演化(Rodinia 超大陆聚合和裂解)和外部环境的突变(冰川形成与消融)等事件的多角度进行分析,探讨华北地台东南缘晚新元古代南华系的界定以及后生生物的演化规律,进行新元古代生物演化与事件地层关系的研究,重点解决我国新元古代南华系和震旦系的南北方地层对比问题。

1.3.2 技术路线

以重点地区的生物地层序列为突破口,点、面结合,以点带面,同时兼顾古生物新资料的发掘和火山灰锆石的同位素年龄测定,以扬子地台南部和华北地台东南缘新元古代生物地层记录为切入点,配合华北地台大范围新元古代地层的同位素年代学研究,揭示两地区新元古代古生物地层序列,提出新元古代南北方地层对比的合理方案。主要研究内容和采用的技术路线如下:

1) 生物地层学

生物地层学研究是解决新元古代南华系和震旦系南北方地层对比的重要手段之一。

① 近20年来,由于在震旦系陡山沱组上部和中下部先后发现庙河生物群和瓮安生物群,该地层备受国内外古生物学者的广泛关注。但是,长期以来硅化和磷酸盐化生物群受岩性所限,加上岩石切片法本身的局限性,导致我国震旦系标准剖面所在地峡东地区,以往发表的疑源类资料缺乏精确的层位控制,增加了陡山沱期疑源类生物地层序列研究的难度。项目组拟重新选择峡东地区震旦系陡山沱组的典型地层剖面系统采集燧石样品进行古生物研究,结合已有资料对峡东地区震旦纪陡山沱期疑源类生物地层序列重新梳理。② 对云南昆明晋宁县王家湾剖面和玉溪江川县震旦(埃迪卡拉)系剖面的宏观化石和地层进行深入研究。在该区灯影组上段下部(旧城段)的碎屑岩中发现有 *Chuaria-Tawuia* 宏观藻类组合,这是目前扬子地台唯一一个发现该类化石的地区。但是,至今没有对其进行深入的研究。而 *Chuaria-Tawuia* 等宏观藻类组合恰恰是华北地台东缘淮南生物群(和辽南生物群)的重要组成分子。因此,对相关化石的深入研究将可能为两地区的地层对比提供新的依据。③ 从生物地层学分析,华北地台南缘汝阳群白草坪组、北大尖组产以水幽刺球藻

(*Shuiyousphaeridium*) 为代表的大型具刺疑源类, 其组合面貌与俄罗斯西伯利亚乌楚-马亚地区上里菲系拉汗金群 (Lakhandin, 950Ma $\pm$) 大型具刺疑源类组合类似, 应属青白口系范畴 (尹崇玉和高林志 1999b)。但是它们的海绿石 K-Ar 年龄平均为 1183 $\pm$ 73Ma 以上 (关保德等, 1988), 显然老于青白口系。所以, 豫西地区汝阳群的时代问题尚存在较大矛盾, 需要深入研究。④ 对淮南地区刘老碑组的微古植物和宏体生物化石进行发掘和深入研究。1997 年牛绍武等所报道的在刘老碑组发现的后生动物狄更逊虫 (*Dickensonia*, 牛绍武, 1997) 是埃迪卡拉动物群的重要分子, 以往仅在埃迪卡拉纪晚期 (距今 570~542Ma) 有发现。因此, 对这一化石是否可靠的核实以及相关化石的深入研究, 具有重要的年代地层学意义。⑤ 乔秀夫等曾报道在苏皖北部张渠组具粒序结构的灰岩中发现具三射结构的海绵骨针。该化石发现在岩石切片中, 为浅色三射针状结构, 并作为粒序层有序地排列于地层中。其形态和大小与峡东地区震旦系陡山沱组碳酸盐岩切片中发现的三射海绵骨针十分相似 (乔秀夫等, 1994)。张渠组海绵骨针化石的核实和深入研究将为两地区的相关地层对比提供有价值的证据。⑥ 对研究区其他有争议的关键地区和宏体化石富集层位, 尤其对最大海泛面出现的位置进行重点观察, 对每个层序的凝缩段 (CS) 泥页岩层进行重点采集, 补充微体古生物学研究。

2) 关键层位同位素年龄测定

由于扬子地台和华北地台所处板块不同, 古地理位置的差异造成两地区新元古代地层具有完全不同的岩性特征和沉积环境, 缺乏可直接对比的直观依据。因此, 同位素地质年代学研究非常重要。在以往研究的课题中, 作者已在扬子地台湖南石门, 贵州松桃、瓮安, 浙江建德等地进行了南华系及其下伏层位火山岩 SHRIMP II 锆石 U-Pb 年龄的研究, 积累了在相关地层中寻找火山凝灰岩或斑脱岩夹层的经验, 并获得了扬子地台南华系冰期和底界的初步同位素年龄结果。续作研究拟在以往研究的基础上重点对华南晚新元古代热事件以及华北地台东缘的新元古代地层进行同位素地质年代学研究, 选择相关地层的火山岩夹层, 筛选测年样品进行同位素测年研究以获 SHRIMP II 锆石 U-Pb 年龄数据。

3) 同位素化学地层学

碳酸盐岩中碳、氧同位素变化曲线模式和锶锶比 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) 参数已成为国外新元古代地层学对比的重要手段和依据。作者前一阶段已对扬子地台峡东地区震旦系标准剖面进行了碳酸盐岩碳、氧同位素变化曲线和锶锶比 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) 参数的系统研究, 获得了扬子地台震旦纪时期碳酸盐岩同位素化学地层的变化模式。在对华北地台东缘进行生物地层和层序地层研究的同时, 选择关键地区进行碳酸盐岩的碳、氧同位素变化曲线和锶锶比 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) 参数的研究, 探索两地区晚新元古代碳酸盐岩同位素化学地层变化模式的对比。

4) 事件地层学研究

新元古代全球的冰川事件对地球早期生命的演化, 尤其是多细胞后生动物的演化具有非常重大的影响。研究表明, 在新元古代全球至少发育了两次大规模的冰川事件, 即 Sturtian 冰期和 Marinoan 冰期。另外, 近年来的研究还发现在 Marinoan 冰期之后, 典型埃迪卡拉后生动物群繁盛期之前, 还有一期相对规模较小的冰期事件 (Squantum/Gaskiers, 距今 580Ma)。因此, 搞清华北地台东南缘发育的罗圈冰期究竟相当于哪一次冰期, 以及

罗圈组以下层序是否还存在其他冰川事件的记录非常重要。但是,冰川活动期次的划分以及精确定年仍然是未解决的难题。所以,除努力寻找冰成岩和间冰期的火山凝灰岩夹层以获得直接的年龄数据外,还应结合地球化学元素分析,以获得相关层位间接气候环境的数据。

1.4 主要研究进展和成果

1.4.1 新资料和新发现

1. 云南江川、晋宁等地区灯影组旧城段宏体化石新资料

在云南江川县侯家山剖面 and 晋宁王家湾剖面震旦系灯影组旧城段采集到大量宏体化石新资料,为华南、华北和国外相关地层宏体化石的对比积累了新资料。通过对灯影组旧城段宏体化石的深入研究,确立龙凤山藻科 (Longfengshaniaceae) 化石在滇东地区灯影组旧城段的存在。新资料补充了扬子地区早寒武世后生动物大爆发与震旦纪陡山沱晚期以“庙河生物群”为代表的后生生物大辐射之间的宏体化石材料,丰富了我国震旦系上统宏体化石的研究内容。对于阐明中国埃迪卡拉纪生物群面貌,以及该时期的地层划分与对比具有重要意义。研究表明埃迪卡拉纪晚期后生植物多样化的发展,特别是浮游微生物和后生植物的共同繁盛为晚埃迪卡拉世和早寒武世后生动物的爆发奠定了生态学基础。

2. 贵州江口翁会陡山沱组宏体化石的新发现

在贵州江口桃映翁会剖面陡山沱组中上部发现类型多样的宏体碳质压膜化石,组合面貌与峡东地区陡山沱组上部的庙河生物群很相似。化石种类除庙河生物群常见分子 *Baculiphyca*、*Miaohephyton*、*Enteromorphites*、*Doushantuophyton*、*Glomulus* 和 *Longifuniculum* 等属外,还出现众多有盘状或须根状固着构造的膜片状化石 *Gesinella*。依据新发现的化石资料,建立了具八辐射螺旋对称体制,可能为早期腔肠动物或栉水母类的动物化石——八臂仙母虫 (*Eoandromeda octobrachiata*) (Tang *et al.*, 2008)。由于后期风化和保存欠佳等原因,该类化石曾在峡东地区庙河生物群中作为遗迹化石被描述为旋掘迹 (*Eilscaptichnus*) (丁莲芳等, 1996)。翁会剖面保持完美化石资料的发现,不仅澄清了庙河生物群中遗迹化石旋掘迹的真实属性,而且由于辐射对称动物为典型埃迪卡拉动物群的重要成员之一,为我国震旦纪陡山沱晚期出现的生物群与澳大利亚典型埃迪卡拉生物群对比提供了重要依据。

3. 峡东地区震旦纪陡山沱期宏体化石生物地层序列的发现

在峡东地区九龙湾-头顶石剖面陡山沱组二段发现的两个宏体化石新层位,一个位于陡山沱组二段下部,为以简单盘状藻类 *Chuarina* 和肠状 *Tawuia* 为代表的宏体化石组