

# 华南东部陆壳演化 与铀成矿作用

章邦桐 张祖还 等著

原子能出版社



# 华南东部陆壳演化与铀成矿作用

章邦桐 张祖还 等著

核工业总公司及国家自然科学基金资助项目

原子能出版社

(京)新登字 077 号

### 内 容 简 介

本书系统地论述华南东部(赣、浙、皖、苏)陆壳前侏罗纪地层的稀土、铀、钍及其他微量元素地球化学演化特征,重点研究华南东部元古宙变质岩的同位素(钐、钕、铷、锶)年代学及同位素地球化学特征,为该地区构造地体的划分及找铀矿方向提供了重要依据。

全书共 15 章,1~10 章论述华南东部陆壳的组成及演化特征;11~14 章阐述陆壳岩石中铀的活化富集因素及机制;15 章分析华南东部陆壳演化与铀成矿的关系及铀成矿远景。

本书可供科研、生产单位科技人员参考利用,也可供高等地质院校师生教学和学习参考。

### 华南东部陆壳演化及铀成矿作用

章邦桐 张祖还等著

原子能出版社出版

(北京 2108 信箱)

核科学技术情报所印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行·新华书店经售

☆

开本 787×1092 1/16·印张 13.75·字数 343 千字

1993 年 8 月北京第一版·1993 年 8 月北京第一次印刷

印数 1—400

ISBN 7-5022-0870-4

P·26 定价: 9.70 元

## Synopsis

This monograph systematically expounded geochemical evolution of rare earth elements, uranium, thorium and other trace elements of pre-Jurassic strata in continental crust of eastern part (Jiangxi Zhejiang, Anhui and Jiangshu provinces) of South China.

The authors put emphasis on studies of isotope (Sm-Nd, Rb-Sr) chronology and isotope geochemistry of Proterozoic metamorphic rocks in the area. These studies provided important basis for tectonic-terrane-division and uranium-deposit-exploration in this region.

This book consists of fifteen chapters. Chapter 1 to 10 expounded the composition and evolution of continental crust of eastern part of South China ; Chapter 11 to 14, the factors and mechanism of uranium activation and enrichment in continental crustal rocks; chapter 15, relation between uranium mineralization and continental crustal evolution, perspective of uranium deposit.

This book can be used as a reference literature for researchers, explorers, teachers and students in the universities and colleges of geology for teaching and studying.

## 前 言

多年来铀矿的普查勘探实践表明,各种类型铀矿床在我国东南部分布极不均匀。无论是花岗岩型铀矿床,还是火山岩型铀矿床都只产出在特定的地质构造部位,这不仅与一定的花岗岩体、火山岩系及地层层位有关,而且与所处的区域地质构造背景,特别是作为产铀花岗岩、火山岩的围岩或构造基底的元古代陆壳组成、发育和演化历史有密切的关系。铀矿床的具体定位则与铀元素的来源及其活化转移的方式和机制有关。

我们对华南地区产铀花岗岩体及铀矿床研究时发现,产铀花岗岩体的成因类型、形成时代、矿物岩石学特征、岩石化学和地球化学等特征在空间分布上明显地受地壳演化所制约,而矿床物质成分和氧、铅、硫、碳等稳定同位素组成也与地壳特别是深部地壳组成和演化有密切关系。火山岩型铀矿床的产出与次火山体及有利成矿的构造基底岩石有关。这一系列成矿特点,均表明铀矿床的定位与铀在地壳中多次活化转移和富集密切有关。

铀地球化学性质十分活泼的特点使其成为一种用来探索地壳演化和岩浆形成过程的十分灵敏的地球化学示踪元素,钍和稀土元素的地球化学性质较稳定,较好地记录和保存了古老陆壳形成时的地质信息。因此,系统地研究各时代地层、岩浆岩及其接触带剖面中的铀、钍及稀土元素含量及存在形式,结合 Sm, Nd, 同位素组成的研究,可以比较确切地恢复本地区地壳形成、发育和演化的历史,阐明铀在沉积作用,构造活动,岩浆作用,变质作用,风化作用等过程中的活化转移特征。这不仅可对目前已知铀矿田、铀矿床的分布定位作出合理解释,而且能为选择有利的铀成矿远景区和探索新的铀矿类型提供地质依据。因此,关于华南东部陆壳演化的研究不仅对矿床成因研究具有一定的理论意义,而且对铀及其他金属(W, Au, Cu)找矿具有一定的指导作用。

1987年我们在完成华南产铀花岗岩及其铀矿床科研课题和查阅了大量有关国内外资料的基础上,提出了有关华南东部陆壳演化及铀成矿作用的研究课题,经核工业部地质局和国家自然科学基金会的资助,到1990年上半年,研究工作初步告一段落。5年中,我们先后赴安徽巢湖,江西宜丰、万载、铜鼓、修水、武宁、德兴和弋阳地区,浙江诸暨、绍兴、肖山、富阳、杜泽和莫干山地区和湖南浏阳地区对前侏罗纪地层进行野外地质调研。从实测地层剖面开始,详细观察并系统取样,掌握了丰富的第一手资料。在此基础上,进行了详细的岩石薄片鉴定,全岩硅酸盐全分析、X 荧光光谱分析、ICP 光谱分析、比色法分析和各种实验工作。参加研究的有铀矿地质教研室教师 11 人,实验技术人员 2 人,博士和硕士研究生 7 人及四年级大学生约 30 人,1992 年按计划完成并提交总结报告。

本项研究工作自始至终在核工业总公司地质局和南京大学地球科学系的领导下进行。南京大学现代分析测试中心、地球科学系中心实验室、核工业北京地质研究院、江苏省地质局中

心实验室、湖北省地质研究所等单位为本项研究承担了大量分析测试工作。核工业华东、中南、华南地勘局及所属 269、267、261、302、271、293 等地质大队为本项目野外实地调研工作提供了热情的支持和帮助。研究报告于 1992 年 5 月经核工业总公司科技部批准,由地质局主持,聘请刘兴忠、王世玮、胡绍康、周维勋、陈然志、徐克勤、施央申、余达淦等地质专家进行评审,认为该成果属国内领先水平,具有重要理论意义和实际指导意义。对上述支持本项研究工作的单位和专家,我们谨表诚挚的谢意。

本书是在研究报告的基础上经过修改补充、重新编写而成的。参加本书撰写工作的有章邦桐、张祖还、凌洪飞、刘继顺、沈渭洲、倪琦生、闵茂中、陈培荣、王湘云、石玉春、吴燕玉、王守春、胡凯、王学成等。全书由章邦桐统编定稿。由于编者水平的限制,书中不妥和错误之处在所难免,热诚希望读者指正。

南京大学地球科学系核能地质教研室

1992 年 10 月

# 目 录

## 前 言

第一章 绪论 .....	章邦桐(1)
一、华南东部元古代地层研究历史及现状 .....	(1)
二、华南东部大地构造单元划分的依据及方案 .....	(2)
三、样品的采集原则和化学风化指数的确定 .....	(5)
四、对比微量元素的选择 .....	(6)
五、铀、钍数据的修正 .....	(6)
六、数据处理方法 .....	(6)
第二章 华南东部陆壳结构及区域地质构造特征 .....	张祖还(8)
一、华南东部陆壳结构基本特征 .....	(8)
二、华南东部前震旦纪变质基底和大地构造性质 .....	(9)
三、华南震旦系及其在陆壳发展历史中的地位问题 .....	(13)
四、震旦纪以后华南东部陆壳结构和地质构造特征 .....	(14)
第三章 华南东部元古代基底变质岩的同位素年代学和同位素地球化学特征 .....	沈渭洲、凌洪飞(16)
一、变质岩同位素年龄数据解释的基本原则 .....	(16)
二、实验方法简介 .....	(18)
三、双溪坞群年代学研究 .....	(18)
四、浙东南变质岩年代学研究 .....	(21)
五、双桥山群年代学研究 .....	(25)
六、浙赣前寒武纪基底变质史 .....	(25)
七、双溪坞群细碧-角斑岩的 Nd, Sr, Pb 和 O 同位素研究 .....	(27)
八、陈蔡群变质岩的同位素地球化学特征 .....	(32)
第四章 华南东部陆壳地层的岩石组合及岩石化学演化特征 .....	章邦桐、刘继顺、凌洪飞(35)
一、浙西北地区 .....	(35)
二、赣西北地区 .....	(49)
三、下扬子地区 .....	(53)
四、华南东部陆壳地层岩石化学演化特点 .....	(54)
第五章 华南东部陆壳稀土地球化学演化 .....	章邦桐、凌洪飞、刘继顺(56)
一、双溪坞群火山岩稀土元素地球化学 .....	(56)
二、陈蔡群变质岩稀土元素地球化学 .....	(60)
三、九岭群、修水群沉积变质岩稀土元素地球化学 .....	(65)
四、其他前寒武纪地层稀土元素地球化学 .....	(71)
五、各地层稀土元素的时空演化特征 .....	(72)
第六章 华南东部陆壳地层微量元素地球化学特征与演化 .....	凌洪飞、倪琦生、刘继顺(77)
一、浙西北地区双溪坞群和陈蔡群 .....	(77)
二、赣西北地区九岭群和修水群 .....	(86)

三、各构造单元微量元素地球化学的差异 .....	(88)
四、震旦纪前后地层微量元素特征差异 .....	(92)
五、华南东部陆壳地层微量元素的演化趋势 .....	(92)
第七章 华南东部陆壳铀钍地球化学特征 .....	章邦桐、刘继顺、胡凯(95)
一、华南东部各地层铀钍含量 .....	(95)
二、各地层铀钍分布特征 .....	(97)
三、铀赋存状态及浸出实验研究 .....	(97)
四、铀与有机质的关系 .....	(99)
五、铀钍与其他元素的相关关系 .....	(105)
第八章 华南东部陆壳伽玛能谱特征及铀钍演化 .....	王湘云、吴燕玉、石玉春(107)
一、伽玛能谱特征参数的选定和计算 .....	(107)
二、华南东部各地层伽玛能谱参数的分布特征 .....	(109)
三、铀、钍迁移与地壳演化的关系 .....	(112)
第九章 华南东部陆壳的同位素地球化学演化 .....	沈渭洲、凌洪飞(117)
一、Nd 模式年龄基本概念 .....	(117)
二、浙江基底变质岩的 Nd 模式年龄 .....	(118)
三、赣北和皖南浅变质岩和沉积岩的 Nd 模式年龄 .....	(120)
四、浙赣前寒武系基底地壳的演化 .....	(126)
五、华夏变质地体与江南复合地体的碰撞拼贴 .....	(131)
第十章 华南东部陆壳构造演化特征 .....	张祖还(134)
一、华南东部前震旦纪陆壳基底的形成和构造演化 .....	(134)
二、震旦纪至早三叠世华南东部陆壳的构造演化 .....	(135)
三、中生代华南东部陆壳的构造演化 .....	(136)
第十一章 华南陆壳中铀的活化转移和铀的预富集 .....	章邦桐(138)
一、部分熔融作用中铀的活化转移和初步富集 .....	(139)
二、地幔分馏物——幔汁对陆壳中铀的活化富集作用 .....	(139)
三、岩浆结晶分异和有序化过程中铀的活化富集 .....	(140)
四、风化作用过程中铀的活化富集 .....	(140)
五、物理-地球化学垒在铀成矿中的作用及其找矿意义 .....	(145)
第十二章 后生淋积铀矿床的成矿富集因素 .....	闵茂中、王守春(150)
一、矿床地质特征 .....	(150)
二、成矿富集因素 .....	(152)
三、成矿机制 .....	(155)
第十三章 花岗岩型铀矿床成矿富集因素的新认识 .....	陈培荣、章邦桐、王学成(156)
一、形成花岗岩型富集铀矿床的铀原条件 .....	(156)
二、热液蚀变是促使铀富集成矿的重要因素 .....	(157)
三、强还原条件是形成富矿的关键因素 .....	(163)
四、暗色岩脉对铀成矿富集的作用 .....	(166)
五、晚期岩脉不能成为花岗岩型铀矿床的成矿热源体 .....	(170)
第十四章 有机质对铀成矿富集作用的模拟实验研究 .....	胡凯、章邦桐(173)
一、表生条件下有机质吸附富集铀的模拟实验 .....	(173)
二、黑色炭板岩中铀的高温高压解吸实验 .....	(178)



三、有机质还原沉淀沥青铀矿的实验 .....	(181)
第十五章 华南东部陆壳演化特点与铀找矿方向 .....	章邦桐、张祖还、刘继顺(185)
一、华南东部陆壳组成演化特点 .....	(185)
二、华南东部陆壳演化与铀成矿的关系 .....	(191)
三、华南东部铀找矿方向探讨 .....	(192)

参考文献

图版与说明

# CONTENTS

## Foreword

Chapter 1. Introduction .....	Zhang Bangtong(1)
1.1 History and present level of study on the Proterozoic strata in eastern part of South China .....	(1)
1.2 Reason and design for the division of tectonic units in eastern part of South China .....	(2)
1.3 Rule of sample collecting and determination of chemical weathering .....	(5)
1.4 Selection of trace elements for comparison .....	(6)
1.5 Rectification of uranium and thorium data .....	(6)
1.6 Datum analysis method .....	(6)
Chapter 2. Structure of continental crust and regional tectonic characteristics of eastern part of South China .....	Zhang Zuhuan(8)
2.1 Basic structure features of the continental crust of eastern part of South China .....	(8)
2.2 Tectonics and pre-Sinian metamorphic basement of eastern part of South China .....	(9)
2.3 Sinian System and its position in continental crust development .....	(13)
2.4 Post-Sinian continental crustal structure and tectonics .....	(14)
Chapter 3. Isotopic chronology and isotopic geochemistry of Proterozoic metamorphic rocks in eastern part of South China .....	Shen Weizhou, Ling Hongfei(16)
3.1 Basic rules for explanation of isotopic age data of metamorphic rocks .....	(16)
3.2 Brief introduction for isotope analysis methods .....	(18)
3.3 Study on chronology of Shuangxiwu Group .....	(18)
3.4 Study on chronology of metamorphic rocks of southeastern Zhejiang .....	(21)
3.5 Study on chronology of Shuangqiaoshan Group .....	(25)
3.6 Metamorphism history of Precambrian basement in Zhejiang and Jiangxi provinces .....	(25)
3.7 Study on isotopes of Nd, Sr, Pb and O of spilite-keratophyre in Shuangxiwu Group .....	(27)
3.8 Isotopic geochemistry of metamorphic rocks in Chencai Group .....	(32)
Chapter 4. Rock assemblage and rock chemistry evolution of continental crustal strata in eastern part of South China .....	Zhang Bangtong, Liu Jishun, Ling Hongfei(35)
4.1 Area of northwestern Zhejiang .....	(35)
4.2 Shuangqiaoshan Group in northwestern Jiangxi .....	(49)
4.3 Area of lower Yangtz River .....	(53)
4.4 Evolution characteristics of rock chemistry of continental crust in eastern part of South China .....	(54)
Chapter 5. Geochemical evolution of rare earth elements of continental crust in eastern part of South China .....	Zhang Bangtong, Ling Hongfei, Liu Jishun(56)
5.1 REE geochemistry of volcanic rocks in Shuangxiwu Group .....	(56)
5.2 REE geochemistry of metamorphic rocks in Chencai Group .....	(60)
5.3 REE geochemistry of metamorphic sedimentary rocks in Jiuling Group and Xiushui Group .....	(65)
5.4 REE geochemistry of other Precambrian strata .....	(71)

5.5	Temporal and spatial evolution of rare earth elements of strata .....	(72)
<b>Chapter 6. Characteristics and evolution of trace elements of continental crustal strata in eastern part of South China .....</b>		
	..... Ling Hongfei, Ni Qisheng, Liu Jishun	(77)
6.1	Shuangxiwu Group and Chencai Group in northwestern Zhejiang .....	(77)
6.2	Jiuling Group and Xiushui Group in northwestern Jiangxi .....	(86)
6.3	Differences in trace element geochemistry of various tectonic units .....	(88)
6.4	Differences in trace element geochemistry of strata before and after Sinian Period .....	(92)
6.5	Evolution tendency of trace elements of continental crustal strata in eastern part of South China .....	(92)
<b>Chapter 7. Uranium and thorium geochemical characteristics of continental crust in eastern part of South China .....</b>		
	..... Zhang Bangtong, Liu Jishun, Hu Kai	(95)
7.1	Uranium and thorium contents in various areas of eastern part of South China .....	(95)
7.2	Uranium and thorium distribution characteristics .....	(97)
7.3	Studies on existing state of uranium and dissolvable uranium determination experiment .....	(97)
7.4	Relation between uranium and organic materials .....	(99)
7.5	Correlation between uranium, thorium and other elements .....	(105)
<b>Chapter 8. Gamma spectrum characteristics and uranium, thorium evolution of continental crust in eastern part of South China .....</b>		
	..... Wang Xiangyun, Wu Yanyu, Shi Yuchun	(107)
8.1	Selection and calculation of gamma spectrum parameters .....	(107)
8.2	Distribution characteristics of gamma spectrum for various strata in eastern part of South China ..	(109)
8.3	Relationship between U, Th migration and continental crustal evolution .....	(112)
<b>Chapter 9. Isotope geochemistry of continental crust in eastern part of South China .....</b>		
	..... Shen Weizhou, Ling Hongfei	(117)
9.1	Definition of Nd model age .....	(117)
9.2	Nd model age of metamorphic basement rocks in Zhejiang .....	(118)
9.3	Nd model age of low-graded metamorphic rocks and sedimentary rocks in northern Jiangxi and southern Anhui .....	(120)
9.4	Crustal evolution of Precambrian basement in Zhejiang and Jiangxi provinces .....	(126)
9.5	Collision and welding between "Cathaysia" Metamorphic Terrane and Jiangnan Composite Terrane .....	(131)
<b>Chapter 10. Tectonic evolution of continental crust in eastern part of South China .....</b>		
	..... Zhang Zuhuan	(134)
10.1	Formation and tectonic evolution of pre-Sinian continental crustal basement in eastern part of South China .....	(134)
10.2	Tectonic evolution of continental crust of eastern part of South China in the period from Sinian to Triassic .....	(135)
10.3	Tectonic evolution of continental crust of eastern part of South China in Mesozoic Era .....	(136)
<b>Chapter 11. Activation, transference and preliminary enrichment of uranium in continental crust of South China .....</b>		
	..... Zhang Bangtong	(138)
11.1	Activation, migration and preliminary enrichment of uranium during process of partial melting .....	(139)
11.2	Mantle fluid and its effect on uranium activation and enrichment in continental crust .....	(139)

11.3	Activation and enrichment of uranium during magmatic crystalline differentiation and ordering .....	(140)
11.4	Activation and enrichment of uranium in weathering process .....	(140)
11.5	Role of physico-geochemical barrier in uranium metallization and its significance to ore prospecting .....	(145)
Chapter 12. Factors of metallogenetic enrichment of uranium in epigenetic-leaching-accumulation uranium-deposits .....		
	Min Maozhong, Wang Shouchun	(150)
12.1	Geological characteristics of epigenetic-leaching deposit .....	(150)
12.2	Factors of metallogenetic enrichment of uranium deposit .....	(152)
12.3	Metallogenetic mechanism .....	(155)
Chapter 13. A new understanding of uranium enrichment factors of granitic type uranium deposit .....		
	Chen Peirong, Zhang Bangtong, Wang Xuecheng	(156)
13.1	Uranium source condition for forming enriched uranium deposit of granitic type .....	(156)
13.2	Hydrothermal alteration — an important factor of uranium enrichment .....	(157)
13.3	Strong reducing condition — a key factor of forming enriched uranium deposit .....	(163)
13.4	Effects of dark dike on uranium enrichment .....	(166)
13.5	Later stage dike can not be the heat source for forming granite-type uranium deposit .....	(170)
Chapter 14. Model experiment studies on effects of organic materials on uranium deposits .....		
	Hu Kai, Zhang Bangtong	(173)
14.1	Model experiment for uranium absorption by organic materials under hypergene condition .....	(173)
14.2	Experiment for uranium release of black carbonaceous slate under high temperature-pressure condition .....	(178)
14.3	Experiment for reducing and precipitation of uranium by organic materials .....	(181)
Chapter 15. Continental crustal evolution and uranium exploring direction in eastern part of South China .....		
	Zhang Bangtong, Zhang Zuhuan, Liu Jishun	(185)
15.1	Chief features of continental crustal evolution of eastern part of South China .....	(185)
15.2	Relations between uranium mineralization and continental crustal evolution in eastern part of South China .....	(191)
15.3	Research and discussion on exploring for uranium deposits in eastern part of South China .....	(192)

# 第一章 绪 论

我国东南部位于西太平洋活动大陆边缘，是不同类型大地构造单元的交接部位，经受了多次复杂的地质事件，记录着欧亚大陆边缘长期演化发展的历史。它是世界上著名的铀成矿区之一，集中分布着具有重要经济价值的花岗岩型、火山岩型和碳硅泥岩型等类型的铀矿床。该地区广泛发育和分布着各种成因类型的花岗岩。酸性火山岩及各时代沉积碎屑岩，具有很大的成矿潜力。

在地壳的发展和演化过程中，前寒武纪是地球历史发展中的一个重要阶段。前寒武纪地层的格局和演化常常影响和控制了后期地层的发展和成矿作用。其本身也常赋存和孕育了许多矿产。

据现有资料分析，目前世界铀矿资源的70%都产在元古代地层中，特别令人注意的是近年来在澳大利亚南部新发现的特大型奥林匹克坝铀、金、铜矿床也产于中元古界（格林菲尔德组），与火山角砾岩和花岗岩基底有密切的关系。值得提出的是元古代地层在我国东南部分布广泛。因此，在目前已积累的有关华南地壳的地层、地球化学和地球物理参数和资料的基础上，选择典型剖面，采用多种分析测试手段，系统地对我国东南部陆壳，特别是元古代陆壳中稀土、铀、钍的地球化学特征进行研究，以阐明陆壳的成熟度和演化特点。为在我国东南部元古代地层中寻找新的铀矿工业类型提供可靠的地质地球化学依据，具有重要意义。

本书侧重论述赣西北、浙西及苏、皖的前侏罗系地层（图1-1）。鉴于元古代地层在浙赣地区分布较广，具有重要的找矿意义，关于其形成年龄及构造归属存在较多的争论。由于人力、物力所限，因此，浙赣地区的元古代地层是笔者研究重点。

## 一、华南东部元古代地层研究历史及现状

我国华南的前寒武系主要分布于两片：一是浙闽地区；二是西起桂北经湘西、赣北至浙西北的一个狭长地带。浙赣地区横跨这两大构造单元，是研究这两个构造单元的前寒武纪地壳的理想地段，在由于条件限制而不能全面研究全华南前寒武纪地壳的情况下，选择浙赣地区进行解剖研究，无疑将有助于对整个华南前寒武纪地壳演化的认识。

浙西北和赣北地区前寒武纪地层为扬子板块南缘之江南复合地体的组成部分，在地体观点提出以前，曾称之为江南地轴（黄汲清，1954）、江南古陆、江南地背斜隆起带（郭令智等，1963）。1980年郭令智等提出著名的沟、弧、盆构造模式以及华南陆壳由北西向南东沿海方向不断增生演化的构造模式，将该地区归属于江南古岛弧的组成部分。此后王鸿祯（1981、1984、1986），涂英伟等（1988）表达了相近的观点，随着板块构造学说的发展和地体理论的兴起，郭令智等（1984）提出江南古岛弧及华南古陆壳由若干地体组成，汤加富（1988）则认为“江南古陆”中的裂隙作用使原来统一的地块裂解成“扬子”和“华夏”两个地块。杨森楠（1988）也认为东南沿海的结晶基底在早前寒武纪末期与扬子地块是统一的陆壳块体，在中晚元古代才裂解成扬子地块和东南地块（华夏地块），其间出现陆缘、陆间裂谷和小洋盆地，四

堡群、双桥山群、双溪坞群即为形成于陆缘裂谷中的岩石建造。余达淦(1988)持有类似观点。许靖华等(1987)提出了另一种见解,认为华南是一个印支造山带。江南地体范围内的“板溪群”不是基底地层,而是在印支造山运动中消亡了的古特提斯海的复理石及南侧大陆基底的混杂推覆体。

对浙闽大地构造的研究和认识,自 Grabau (1924) 提出华夏古陆观点以来,经历了长达半个多世纪的探索和争论。李四光(1937)、陈国达(1956)、张文佑(1959)表达了赞同华夏古陆或相近的观点。黄汲清(1945)始把这个地区解释为加里东褶皱带。此后许多学者对华夏古陆也都持否定意见,认为它实际上是加里东至海西印支褶皱带(霍敏多夫斯基,1953;任纪舜,1960;黄汲清和任纪舜等,1977;李春昱,1980),郭令智等(1980,1983)将板块构造理论应用于华南大地构造研究,提出华南地区由一系列自北西向南东方向不断增生演化的岛弧褶皱带组成。后又划分为不同时代的地体,浙东南和闽北变质岩称为闽北地体,主体时代为加里东期,但并不排除其内部有更古老的变质地体分布,东南沿海广泛被中生代火山岩覆盖的地区为海西-印支造山带(郭令智等,1984)。王鸿祯、乔秀夫(1986)认为扬子地台以东以南在中晚元古代为一个复杂而宽阔的大陆边缘区,其以东地区在元古代及以后的时期,未曾出现另一大陆向西与之接近,形成最后对接的情况。80年代以来,有些研究者再次提出华夏古陆的存在(林增品,1983;马开义等,1985),水涛等(1988)较系统论述了华夏古陆(前寒武纪)的存在。汤加富,余达淦(1988)不仅认为华夏古陆是一个前寒武纪古陆,而且认为中元古代以前,华夏古陆和扬子古陆是一个统一的块体,中晚元古代裂陷作用才使两者分离,提出华南是在早前寒武纪统一基底的基础上产生裂陷-封闭-再裂陷的裂谷模式。蓝玉琦等(1988)认为东南沿海的早中元古构造层并非是一块完整的古陆,而是一些被震旦纪-早生代海洋所分隔的岛状隆起。许靖华(1987)则把华南和扬子板块的整个地区叫做华南印支造山带。

综上所述,我们认为,华南东部元古代地壳演化有争议和有待进一步深入研究的问题在于:

1. 浙东南闽北地区究竟是前寒武纪古陆还是华南造山带抑或是海西-印支造山带的一部分?
2. 江南古陆(或扬子地块)与华夏古陆在中元古代前是否一个统一整体,后经中元古裂陷作用才裂解成两个地块。
3. 江南古陆(或扬子地块,江南古岛弧)是一个统一地体,还是由若干地块拼贴的复合地体?
4. 江南古陆与华夏古陆拼贴的方式和时间。
5. 代表华夏古陆变质基底的陈蔡群和代表江南古陆元古代地层的双溪坞群的时代,相互关系及建造的属属性。
6. 我国东南部元古代地壳的成熟度、增生方式、地球化学演化特征及成矿地质环境。

## 二、华南东部大地构造单元划分的依据及方案

80年代以来,在研究大陆板块内地壳构造的生长演化进程时,地体构造理论已为愈来愈多的地质学家所接受和应用。因为,应用构造地质地体理论可以合理地解释长期以来在划分

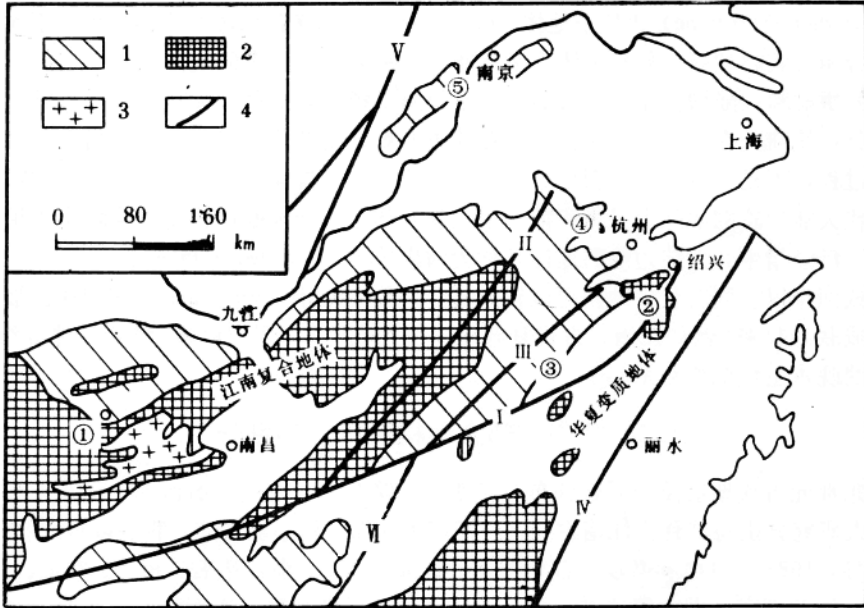


图 1-1 华南东部元古代-早古生代地层分布

- 1——晚元古-早古生代地层分布区；2——中元古代地层分布区；3——晚元古代花岗岩；4——深断裂带；  
 ①——修水地区；②——绍兴-诸暨地区；③——杜泽地区；④——莫干山地区；⑤——巢湖地区  
 I——江绍断裂带；II——赣东北断裂；III——球川-肖山断裂；IV——丽水-海丰断裂带；V——郑庐断裂带；  
 VI——邵武-河源断裂

构造单元和地层对比中存在的一些争论问题，如浙西北双溪坞群与陈蔡群的分布与层序关系等。我们在研究本地区地层岩石的 Sm-Nd 同位素组成及 U、Th、REE、及其他微量元素地球化学特征的基础上，运用地体构造理论将华南东部元古代构造单元作了合理的分析和划分。

### (一) 有关地体构造理论的基本概念

据 D. G. Howell (1983) 定义，构造地层地体 (简称地体) (tectono-stratigraphic terrane) 是指具有独立的地质发展史，并以断裂为边界，具有区域性延伸的地质实体。按 P. J. Coney (1980) 定义，地体是周围被断层所围限，具有一致的地质学特征的地层岩石的集合体。每一个地体与相邻地体都具有不同的地质演化历史，每一个地体内的沉积、构造、岩浆活动、变质作用和成矿作用应是统一的和连贯的，而两个相邻地体，如果有同时代地层，其间不可能出现把两者联系起来的过渡岩相，其演化历史也是互不相关的。

根据成分的差别，地体可分为三种类型 (Howell 等)：地层地体，变质地体和分裂地体 (disrupted terrane)。地层地体由有内在联系的沉积岩和火成岩系列所组成。变质地体则基本上由变质岩所组成，而变质组构特点掩盖了原始的岩性特征。分裂地体的特征是不同岩性和不

同时代的岩块散布在片理化的硬砂岩或蛇纹岩基质中,构造非常复杂的地质体,相当于混杂岩堆积体。

地体现有的空间位置实际上都是移置的结果,因此,按照活动性,地体又可以分为移置地体(Allochthonous terrane)和外来地体(Exotic terrane)。移置地体的位移量可以不大,但要使原来的岩相带实际切断,外来地体则指从非常远距离运移过来的地体。

地体的拼贴和大陆增生作用。大陆的增生作用是指地体拼贴到大陆前缘,形成大陆地壳的新增部分,使陆壳在空间上不断扩大,在性质上更为复杂化的过程。应当指出,这种使大陆增生的过程,不是一点一点逐渐增长,而是将一个相当规模的地体整块地直接拼贴到大陆边缘。现代大陆的轮廓实际上是由离散作用(裂谷作用或转换断层作用)与增生作用的联合所决定的。已经增生在大陆边缘的地体又称为增生地体(accreted terrane)。

两个或两个以上同时代老地体可以构成复合地体(composite terrane)。它们往往被同一地层所覆盖或联系起来,例如江南元古代复合地体由九岭地体、怀玉地体、雪峰地体等组成,它们被统一的晚古生代沉积联系起来。

## (二) 华南东部大地构造单元的划分

华南东部元古代地层及变质岩分布在赣西北、赣东北、皖南、浙西北、浙东南和闽西北地区。前人研究分别将其称为江南古陆(或江南古岛弧)和华夏古陆。我们以板块-地体构造理论为指导,1988~1990年数度赴江西修水、铜鼓、德兴,浙江诸暨、绍兴、富阳、莫干山,安徽巢湖,江苏南京、湖山等地进行野外地质调研,详细观察。实测剖面并系统采样。在此基础上,我们以地球化学方法为手段,充分利用现代高精度分析测试技术,对浙赣前寒武纪地层中火山变质岩、沉积岩及变质岩的建造特征、造岩元素、微量元素、稀土元素和Th、U、Au的地球化学,以及Sm-Nd和Rb-Sr的同位素年代学及同位素地球化学进行了分析测试和详细研究对比。经过研究,我们首次获得了双溪坞群细碧角斑岩及陈蔡群斜长角闪岩的Sm-Nd等时线年龄,获得了前寒武纪地层的地球化学特征和地壳演化特点,提供了华夏元古代变质地体(华夏古陆)存在的证据,证实江南古陆为江南元古代复合地体,其东部由怀玉山地体、九岭地体和会稽地体组成(图1-2)。

江南元古代复合地体呈北东东向延伸,长达千余公里,其西南端为梵净山和九万大山,南面沿绍兴-江山-萍乡深断裂带延伸与华南加里东造山带为界,由西南向北东东方向依次可进一步划分为九万大山地体、雪峰地体、九岭地体及怀玉地体及会稽地体。

九岭地体位于赣西北九岭山地区,以大面积分布厚逾万米的元古界双桥山群(九岭群和修水群)为特征,在构造形态上为近北东东走向的线型紧闭复背斜系,核部有元古代九岭花岗闪长岩基侵入,其南端沿宜丰-万载断裂分布由东安期镁铁-超镁铁质岩、细碧角斑岩和杂砂岩组成的蛇绿岩套。

怀玉地体分布在怀玉山区,主要由中元古漆工群和晚元古上墅组(登山群)所组成,其西以赣东北深断裂与九岭地体为界,该断裂带东南侧为九岭群,西北侧为漆工群。永平人工地震资料证实赣东北深断裂切割深度已达莫霍面,断距达数公里。经汪新(1985)研究,怀玉山地区的漆工群以蛇绿岩套及伴生杂砂岩为主的边缘海型蛇绿混杂岩,其下部的凝灰质千枚岩的Rb-Sr年龄为1401 Ma(朱训等,1983)。上墅组中酸性火山岩的Rb-Sr年龄为817.6 Ma。

会稽地体位于江南复合体的东端,以江山-绍兴深断裂带为界,以西是中-晚元古代的双溪



坞群，骆家门组、虹赤村组和上墅组，以东是以陈蔡群为主的华夏变质地体。双溪坞群为一套变质海相火山岩，属细碧角斑岩建造，具有与碰撞带走向一致的展布。遭受了动力变质、混合岩化作用，发育韧性剪切带并有黄铁矿型铜矿和金矿产出。双溪坞群下部细碧角斑岩的 Sm-Nd 等时线年龄为 978.4 Ma (章邦桐等, 1990)。

华夏变质地体位于江绍断裂带的东南面，在浙江境内为陈蔡群变质岩系。这是一套包括片麻岩，片岩，夹大理岩，斜长角闪岩，变粒岩的高级角闪岩相变质岩，出露厚度近万米，属前寒武纪火山岩和碎屑沉积为主的类复理石建造，其中斜长角闪岩的 Sm-Nd 等时线年龄为 729 Ma。

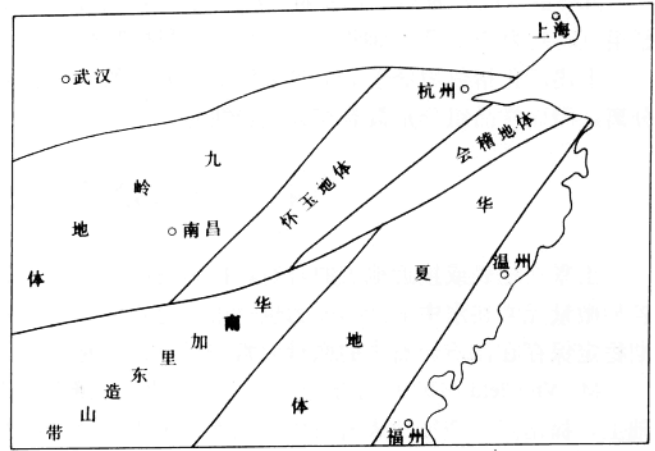


图 1-2 华南东部元古代陆壳构造示意图

斜长角闪岩，变粒岩的高级角闪岩相变质岩，出露厚度近万米，属前寒武纪火山岩和碎屑沉积为主的类复理石建造，其中斜长角闪岩的 Sm-Nd 等时线年龄为 729 Ma。

### 三、样品的采集原则和化学风化指数的确定

所研究地区横跨浙、赣、皖、苏四省，范围很广，地层时代从中元古到三叠纪，长达十几亿年，岩石种类繁多，但由于测试经费的限制，只可能有选择地分析测试少量有代表性的样品，而近年来测试精度的提高也为此创造了有利条件。这样，我们在开展本课题的研究时，就面临着应选取什么岩石的样品最有代表性的问题。由于目前出露在地表的岩石（特别是元古代地层）经受了长期的风化剥蚀作用，其化学成分是否发生了明显变化，能否代表原岩形成时的组分？

为此，我们在研究元古界时，重点选择了浙江绍兴平水的双溪坞群剖面、诸暨璜山丁家坞的陈蔡群剖面、莫干山地区的寒武-志留系剖面、江西修水地区的修水群剖面和九岭群剖面，南京湖山和安徽巢湖地区的寒武-三叠系剖面(图 1-1)。在上述标准剖面上选采新鲜而有代表性的火山岩、变质岩以及能反映成岩化学环境和物质来源的泥质岩(板岩)及碳酸盐岩(灰岩)样品。

为了确切地了解和估算新鲜岩石样品所经受的化学风化程度，对于泥质岩石样品我们计算出所采样品的化学风化指数 ( $K_{\text{R}}$ )。所谓化学风化指数是由 H. W. Nesbitt (1982) 提出的：

$$K_{\text{R}} = \left[ \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}} \right] \times 100$$

式中，氧化物为分子数，而 CaO 限指硅酸盐矿物中的含量(即碳酸盐和磷灰石除外)。  $K_{\text{R}}$  可以有效地度量岩石中长石组分风化蚀变为粘土矿物的程度。据 H. W. Nesbitt (1982) 研究，长石(斜长石、钾长石)的  $K_{\text{R}}$  为 50，残余粘土及高岭土的  $K_{\text{R}}$  为 100，而页岩的化学风化指数平均为 70~75。根据所采样品硅酸盐分析结果我们计算得出各时代地层中板岩样品的化学风化指