

长江中下游威宁期
沉积地质与块状硫化物矿床

长江中下游威宁期

沉积地质与块状硫化物矿床

岳文浙 业治铮 等著

地质出版社

P618.2-929

社

长江中下游威宁期 沉积地质与块状硫化物矿床

岳文浙 业治铮 著
魏乃颐 姜月华 季绍新

(南京地质矿产研究所)

地 质 出 版 社

(京)新登字 085 号

内 容 提 要

本专著对长江中下游地区石炭纪威宁期沉积地质与层控多金属块状硫化物矿床的特征和成因机制进行了系统而全面的介绍。在沉积地质方面详细阐述了沉积作用、沉积相及成岩后生作用,特别对赋矿层位的地球化学特征进行了深入探讨,获得众多新进展;在矿床地质方面着重研究了矿床地球化学、矿源层及矿床形成机制,首次把含水层成矿模式用于本区,提出海底热泉沉积后期叠加富集的成矿理论,指出两次成矿作用均与地壳拉张、地幔上隆的热事件有关。

本书可供从事沉积地质、矿床及地球化学的生产、科研、教学等有关人员参考。

长江中下游威宁期沉积地质与块状硫化物矿床

岳文浙 业治铮 等著

责任编辑:杨珊珊

地质出版社出版发行
(北京和平里)

北京地质印刷厂印刷
(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所经销



开本: 787×1092^{1/16} 印张: 10.125 铜版图: 5 页 字数: 231000

1993年11月北京第一版·1993年11月北京第一次印刷

印数: 1—400 册 国内定价: 7.90 元

ISBN 7-116-01311-3/P·1087

序

长江中下游地区是举世瞩目的铁铜多金属成矿带，晚石炭世威宁期地层则是本区最主要的赋矿层位。矿床层控、岩控极为明显，但矿床成因一直是矿床学家研究的重点和争论焦点。70年代以前，岩浆期后热液成矿理论占统治地位。60年代初孟宪民教授就带头向传统的岩浆成矿论发起了挑战，提出同生沉积说和顺层找矿论。以后，随着层控矿床理论的兴起，许多矿床学家从不同角度对这类矿床进行了深入的再研究，代表性的论点有：广义矽卡岩成因（程裕淇，1979），海底火山成因（王曰伦，1979），沉积（火山沉积）热液叠加改造说（徐克勤，1980），“三位一体”扬子型矿床（李文达，1989），海底喷气（或喷溢）沉积说（王道华，1987，季绍新、王文斌，1990）。虽然至今争论仍在继续，但这类矿床具沉积改造特征，已成为众多专家的共识。

前人发表的著作，多偏重于大地构造环境、岩浆活动、矿床地质特征的研究论述，而忽略了与矿床密切关连的赋矿层位沉积地质学的全面分析和探讨。可喜的是《长江中下游威宁期沉积地质与块状硫化物矿床》这一专著填补了这方面研究的空白，系统而全面地研究了赋矿层位的沉积、成岩、后生作用，着重探讨了地层地球化学、沉积相与矿床形成机理的内在联系，不仅在沉积地质方面获得了众多新认识、新进展，而且在矿床地质，诸如矿床地球化学、矿源层、矿床就位机制等方面均有独到见解和分析，首次把含水层成矿模式用于本区，提出海底热泉沉积、后期叠加富集的成矿理论，指出两次成矿作用均与地壳拉张、地幔上隆的热事件有关。整个专著资料丰富、内容翔实，各种测试数据均进行了数学地质分析处理，更加符合实际，是一部富有启示性的优秀科学专著，值得推荐给广大地质矿床工作者阅读。希望读者在阅读过程中发现新问题，以便能在更新层次上进行更深入的再研究。

中国科学院学部委员、南京大学教授 徐克勤

一九九二年五月二日

前 言

本书系中国地质科学院“七五”基金项目《长江中下游晚石炭世威宁期沉积、成岩、后生作用与沉积、层控多金属块状硫化物矿床》研究成果，经再次整理、提炼而成的。

研究区是举世瞩目的铁铜锌硫成矿带，有经济价值的矿床数以百计。值得注意的是，这些多金属块状硫化物矿床，层控、岩控极为明显。上石炭统黄龙组下部老虎洞组白云岩与其下的碎屑岩是特别重要的赋矿层位，诸如羊角山、武山、城门山、丁家山、铜官山、新桥、冬瓜山、安基山、栖霞山等大中型矿床均是如此，具明显的区域对比性。由于此类矿床成矿机制复杂，对其成因至今仍在争论。70年代以前岩浆期后热液成矿理论占主导地位，但随着层控矿床理论的兴起，许多矿床学家从不同角度对这类矿床进行深入的再研究。徐克勤教授（1980）^[7]在详细研究了我国东南部几个断裂拗陷铜铁矿床后，提出了沉积（或火山沉积）热液叠加改造成因，并指出武山、新桥等矿区赋矿层位中存在海西期火山岩及凝灰岩。李文达（1989）^[26]对其早年提出“扬子型铜矿床”的成因机制进行了详细阐述，指出下扬子地区铜（铁）硫及部分铅锌矿床的成因模式是：（1）在早、中石炭世海进层序底部，形成铁的硫化物（主要）、碳酸盐及氧化物，其中包括少量铜、铅及锌的硫化物的同生沉积；（2）晚三叠世这些同生沉积物受到构造作用，形成断层、破碎带、角砾岩带，成为同生沉积硫化物、碳酸盐及氧化物进一步活化迁移和受地热叠加改造的控制因素；（3）晚侏罗—早白垩世闪长岩、花岗闪长岩或石英闪长岩侵位后的交代作用和热液活动在与石炭、二叠、三叠系的碳酸盐岩地层接触带上形成矽卡岩铜（铁）矿床及不规则交代脉体，在五通组之上的块状黄铁矿层中引进了铜，在已定位的岩体中形成细脉浸染状铜矿化，产生“三位一体”的扬子型矿床。季绍新、王文斌（1986、1990）^[29]、岳文浙等（1986）^[12]提出了海底喷气沉积成因，王道华、傅德鑫等（1987）^[16]提出了沉积—海底喷出沉积成因。国外一些学者如日本的 T. Nakajima 等（1986）把栖霞山铅锌矿与密西西比式铅锌矿进行对比^[50]。总之，这类矿床具有沉积改造特征，与地层、岩性、岩相、构造关系密切，因而进行赋矿层位的沉积、成岩、后生作用、沉积地球化学特征与矿床形成机理关系研究是必要而迫切的任务，这就是设置本项专题研究的依据。

研究工作自 1986 年开始，在广泛收集前人资料基础上，于 1987 年至 1989 年先后开展了野外岩相剖面测制及矿区（点）的调研采样。1990 年转入室内整理、图件编制及报告编写工作，历时四年半。工作范围西起黄石，东止苏州，面积约 96000 km²，测制岩相剖面 16 条，各类测试样品 1800 件。

编写分工是：前言、结束语及第六章部分内容由业治铮编写；岳文浙编写第一章、第二章、第七章及三、四、五、六章部分内容；魏乃颐第四章及三、五章部分内容；姜月华为三、五章部分内容，季绍新五、六章部分内容。全文由岳文浙贯通修改，业治铮审查定稿。图件、图版由魏乃颐、姜月华、岳文浙编绘。王爱华、邱金荣、袁旭音等同志参加了部分野外工作。在编写过程中得到我所王文斌研究员、傅德鑫副研究员、王道华副研究员，冶金所叶水泉、沈喜伦高级工程师的指导帮助；王道华副研究员还提供了安徽一些矿区精美的光、薄片照片，使图版增色。在此向他们及一切为我们提供方便的同志致以衷心感谢。

目 录

序	
前 言	
第一章 区域地质概况	1
一、地层	1
二、古构造、沉积盆地特征与演化	4
三、岩浆岩	8
第二章 沉积作用及沉积相	9
一、威宁期始时碎屑岩的沉积相	9
二、威宁期碳酸盐岩沉积相	14
三、区域沉积环境综合分析 with 沉积相模式	20
第三章 成岩、后生作用	30
一、威宁期始时碎屑岩的成岩作用	30
二、威宁期碳酸盐岩的成岩、后生作用	33
第四章 地层地球化学	49
一、常量元素地球化学特征	49
二、研究区不同时代各层位成矿元素含量	51
三、晚石炭世威宁期地层微量元素地球化学	53
第五章 矿床地质特征	82
一、块状硫化物矿床的一般地质特征	83
二、矿床地球化学特征	96
第六章 矿床成因探讨	113
一、成矿物质来源	113
二、成矿溶液性质	117
三、成矿温度	118
四、成矿机理	119
五、燕山期岩浆期后热液及与燕山期拉伸拆离断层有关热卤水成矿的改造叠加作用	122
六、关于金的评价问题	125
第七章 控矿地质条件及成矿预测	126
一、控矿地质条件	126
二、成矿远景预测	126
结束语	128
参考文献	130
图版说明及图版	132
英文摘要	144

CONTENTS

Preface

1. General Situation of Regional Geology	1
1) Stratigraphy.....	1
2) Palaeotectonic, Characteristics and Elvolution of Sedimentary Basin	4
3) Magmatic Rocks and Magmatism	8
2. Sedimentation and Sedimentary Facies.....	9
1) Sedimentary Facies of Clastic Rock during the Beginning of the Weining Age.....	9
2) Sedimentary Facies of Carbonate Rock during the Weining Age.....	14
3) Synthetical Analysis of the Regional Sedimentary Environment and Facies Model.....	20
3. Diagenesis and Epigenesis.....	30
1) Clastic Rock	30
2) Carbonate Rock.....	33
4. Stratigraphic Geochemistry	49
1) Geochemistry of Major Elements	49
2) The contents of ore-forming Elements of the Various Strati- graphic Units in the Studied Area	51
3) The Trace Element Geochemistry of the Weining Age Strata of the Late Carboniferous	53
5. The Geological Characteristics of the Massive Sulphide Deposits.....	82
1) General Characteristics	83
2) Geochemical Characteristics.....	96
6. Approach on Genesis of the Massive Sulphide Deposits	113
1) Sources of the metals and sulphur	113
2) Nature of the Ore-Forming Fluids	117
3) Temperature of the Ore-Forming	118
4) Genetic Mechanism.....	119
5) Reformation and Superimposition of the Yanshanian Magmatic Intrusion and Hot Brine Related with Separation Fault.....	122
6) Evaluation about gold-bearing deposits	125
7. Ore-Controlling Geological Conditions and Prediction of the Ore-Finding Potential Regions	126

1) Ore-Controlling Geological Conditions	126
2) The Prediction of the Ore-Finding Potential Regions.....	126
Conclusion	128
References	130
Photoplates and Their Explanation	132
Abstract	144

第一章 区域地质概况

一、地 层

根据研究区石炭纪地层发育情况可划分五个地层小区（图1），即：

1. 南京—巢湖地层小区
2. 铜陵—宿松地层小区
3. 瑞昌—通山地层小区
4. 宜兴—泾县地层小区
5. 扬州地层小区

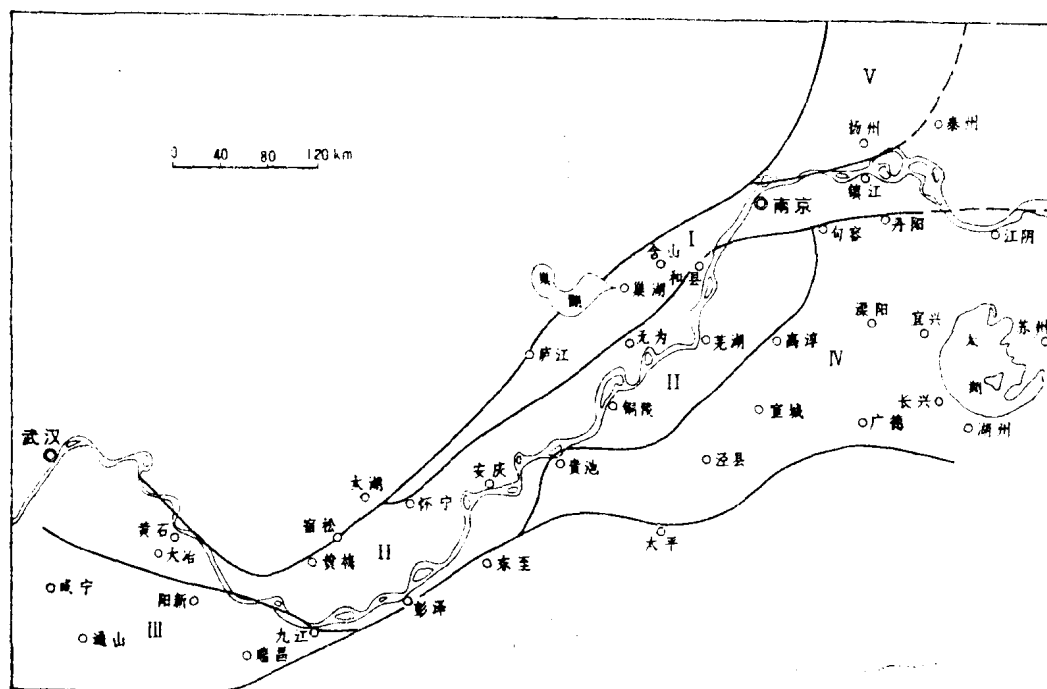


图1 长江中下游石炭系分区图

I—南京—巢湖小区；II—铜陵—宿松小区；III—瑞昌—通山小区；IV—宜兴—泾县小区；V—扬州小区

各区岩石地层单位系统见表1。五个地层小区均呈北东向展布，其中扬州、南京—巢湖、宜兴—泾县地层小区下统发育较为齐全，而铜陵—宿松、瑞昌—通山二小区，下统大部缺失，上统船山组也遭受不同程度的剥蚀。本文研究目的层威宁期地层全区均有分布。

威宁阶由杨敬之等（1979）创名，标准剖面位于贵州威宁县城附近，包括二个䇯带即下部 *Pseudastaffella—Profusulinella* 组合带，上部 *Fusulinella—Fusulina* 组合带。近年牙形刺研究资料增多，从其分布来看，可分下部 *Idiognathodus delicatus—Idiognatho-*

表 1 中下扬子区各地层小区石炭系岩石地层单位及对比

岩石地层单位 年代地层单位		分 区	扬州小区	南京—巢湖小区	铜陵—宿松小区	瑞昌—通山小区	宜兴—泾县小区	
石 炭 系	壶 天 统	马平阶	船山组	船山组	船山组	船山组	船山组	
		威宁阶	黄龙组	黄龙组	黄龙组	黄龙组	黄龙组	
	丰 宁 统	大塘阶	?	老虎洞组	老虎洞组	老虎洞组	老虎洞组	
			和州组	和州组				
			高丽山组	高丽山组				
		岩关阶	金陵组	金陵组	五 通 组	擂鼓台段	五 通 组	观山段
			老坎组	五 通 组				
泥盆系	锡矿山阶	五通组	五 通 组	观山段	五 通 组	观山段		

ides sinuatus, 上部 *Idiognathodus antique*—*Ozakodina delicatula* 两个组合带。

研究区归入本阶的岩石地层单位有老虎洞组白云岩及黄龙组灰岩。由于岩石地层单位其“界线可以斜交其它任一类地层单位的界线”^{〔2〕}而普遍具有穿时性,老虎洞组白云岩即是如此。

“老虎洞白云岩”一名由夏邦栋(1959)建立^{〔1〕},认为原黄龙组灰岩底部白云岩或白云质灰岩,与上覆的粗晶灰岩在许多地方为“平行不整合接触”,其间夹一层砾岩,砾石成分为下伏的白云质灰岩或白云岩。他建议把这套白云岩从黄龙组分开,单独建组,其层位相当于前苏联的纳缪尔阶,层型剖面在南京东郊大连山老虎洞。

1962年黄建辉等在南京龙潭黄龙山的老虎洞白云岩中找到 *Lithostrotion*、*Clisiophyllum*、*Arachnolasma* 等早石炭世晚期珊瑚化石。稍后李昌文(1966)、朱绍隆(1974)相继在安徽贵池、广德、浙江长兴一带黄龙组灰岩下的这段白云岩层内找到晚石炭世筳类 *Pseudastaffella*、*Profusulinella* 等。因此对黄龙组之下的这套白云岩时代各家分别提出了各自的意见,时代归属长期争论未决。为此,江苏省古生物学会、地质学会、安徽省古生物学会于1983年9月共同举办了一次“苏浙皖地区黄龙组底部白云岩时代归属问题现场讨论会”(1984,《中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊》第5卷第1号)。归纳起来有四种意见:(1)白云岩只有一层,时代为晚石炭世早期;(2)白云岩有两层,一层归于晚石炭世早期,另一层归早石炭世晚期;(3)白云岩有三层,一层属早石炭世晚期,一层归巴什基尔期,一层归莫斯科早期;(4)白云岩只有一层,但其层位由北向南逐渐抬高,北区属早石炭世晚期,南区属晚石炭世早期,中区为跨时岩石地层。

应指出的是,上述认为白云岩为两层、三层者,并非在同一剖面真正见到二至三套白云岩,仅是据区内南北不同地点此套白云岩中所含化石群时代早晚而人为地分出,实际上

在整个中、下扬子区黄龙组灰岩之下各地均仅见一套白云岩。遵循多重地层学单位概念，此套白云岩做为一个完整的岩石地层单位应统称老虎洞组。后仅根据各地其所含化石组合所反映的时代差异而新建的组名，如“丁山组”、“花石山白云岩”、“黄龙组白云岩段”等名称应予废除。

老虎洞组在巢湖区含早石炭世大塘阶晚期的标准化石，如珊瑚：*Lithostrotinella*、*Dibunophyllum*、*Aulina*、*Orionastraea*（无为县孙家衡剖面）及筳：*Eostaffella hohsienica*，有孔虫 *Globendothya*、*Endothyra*、*Palaeotextelaria* 等（巢湖仙人洞），而归入大塘阶。但随着碳酸盐台地的扩大，向南至南京一带层位抬高。以南京淳化大连山剖面为例，老虎洞组下部产早石炭世晚期珊瑚化石群如 *Aulina* sp.、*Lithostrotion asiaticum*、*Dibunophyllum* cf. *shanghaiense*、*Orionastraea* sp. 等，而上部产晚石炭世早期的牙形刺 *Idiognathoides sinuatus*、*Declinognathodus lateralis* 成为跨统的岩石地层单位。研究区南部、西部宜兴—泾县、铜陵—宿松、瑞昌—通山地层小区，老虎洞组则仅含晚石炭世早期的筳类：*Pseudostaffella* sp.、*Profusulinella* sp. 及牙形刺：*Idiognathoides sinuatus*、*Idiognathodus delicatus*、*Declinognathodus noduliferus*、*Ozarkodina delicatula* 等，整组归于威宁阶早期。这就证明了上述第四种意见是正确的，老虎洞组自北向南，时代可从早石炭世晚期过渡到晚石炭世早期的典型穿时岩石地层单元（图2）。

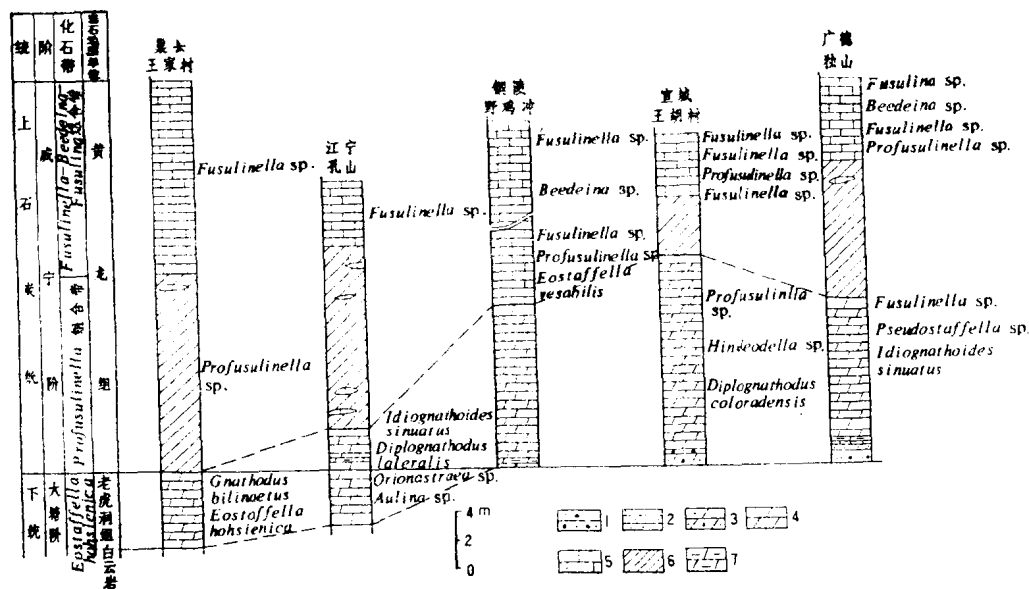


图2 老虎洞白云岩穿时柱状对比图

1—砂砾岩；2—砂岩；3—含砾（砂）白云岩；4—白云岩；5—灰岩；6—巨晶灰岩；7—白云质粘土岩

黄龙组由纯灰岩组成，研究区大部分剖面可划分二个岩性段，即下部次生粗晶灰岩段，此段沿走向不稳定，多处缺失，上部纯灰岩段层位稳定。黄龙组底界自北向南随老虎洞组顶界抬高而抬高，而其顶界全区都以筳类 *Fusulinella*—*Fusulina* 动物群的消失为基准，并以旋壁开始具有蜂巢层的新生属群 *Triticites* 出现做为船山组的底界。

二、古构造、沉积盆地特征与演化

本区地处古扬子板块东缘,北以襄樊—广济、嘉山—响水深大断裂为界与秦岭大别地体相接,南以江山—绍兴缝合带与华夏板块缝合,二者之间在前震旦纪至早古生代存在一小洋盆,可称华南洋(图3)。

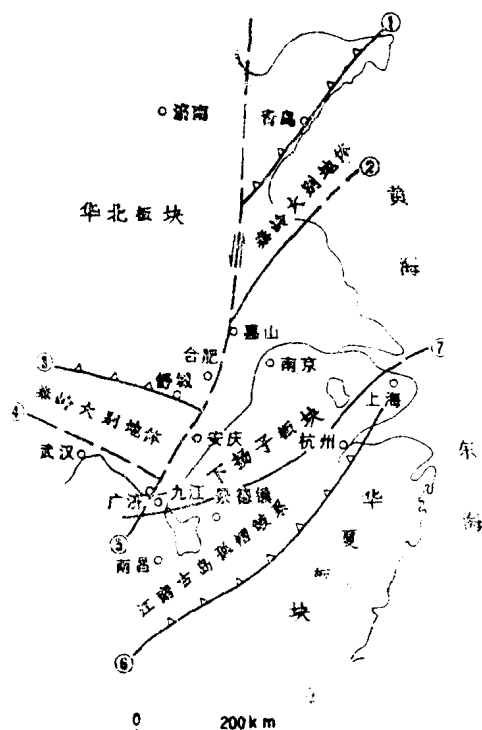


图3 中国东部大地构造格架略图

①—日照—荣城深大断裂; ②—嘉山—响水深大断裂; ③—信阳—舒城深大断裂; ④—襄樊—广济深大断裂; ⑤—郑卢深大断裂; ⑥—江山—绍兴深大断裂; ⑦—江南深大断裂

秦岭大别地体在震旦至志留纪为一古岛弧带,其与华北板块之间有一古大洋。志留纪末华北板块沿信阳—舒城断裂向大别古岛弧之下俯冲碰撞,驱使秦岭大别地体与扬子板块拼接,在秦岭大别地体北侧形成石炭纪前陆盆地磨拉石建造^[17]。扬子板块东南缘为江南古变质地体。该变质地体是四堡旋回(1200—1000 Ma)华南洋壳向扬子板块俯冲形成的岛弧褶皱系,是华南最早形成的陆壳“雏形”^[4]。岛弧褶皱系南东侧,江西宜丰、万载、弋阳至浙江绍兴、诸暨等地均发育残留洋壳——蛇绿岩套,由二辉橄榄岩、橄辉岩、具枕状构造的细碧岩、火山碎屑岩及共生的深海相沉积物组成。此岛弧系之北,即现在长江中、下游广大地区存在一宽阔的修水—祁门弧后盆地,其内沉积了以上双桥山群或上溪群为代表的富凝灰质砂泥浊积岩层。在晋宁期,华南洋东北部分向华夏、扬子两陆块俯冲消失,使两大板块首先在江绍一带碰撞,发生特提斯型造山作用。其标志除产生逆冲—推覆构造及江山—绍兴混杂岩外,还表现为浙西前陆盆地的形成,沉积了骆家门组至虹赤村组复理石—磨拉石建造,但在江山西南仍存在残留洋盆。西裘幔源型花岗岩 Rb—Sr 等时线年龄 852 Ma 及其南侧陈蔡群副变质角闪石 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 高温变质年龄 845 Ma (劳秋元等 1989) 可做为缝合带形成的时限。从此下扬子地区即进入一个新的构造发展阶段。

晋宁晚期的造山运动,除江山西南残留洋盆尚有深水复理石沉积外,在江山以东扬子与华夏陆块碰撞带上山脉连绵。震旦纪开始的全球性拉张使构造脆弱的江山—绍兴缝合断裂带左行走滑转换拉张,形成华南裂谷系。裂谷系的快速拉张下沉,使已遭夷平的江南古岛弧褶皱系沉入水下,故本区震旦纪沉积表现为冲积相砂砾岩→滨(浅)海相砂岩→大陆边缘冰川沉积→海相泥岩→深海相硅质岩的海进相序。晚震旦世至早寒武世欠补偿型沉积的含磷硅质岩、石煤层及黑色页岩代表着裂谷盆地强烈拉张下沉已发展到幼年洋阶段的凝缩沉积。中寒武—早奥陶世,本区从拉张下沉转变为较缓慢的热下沉阶段,从扬子台地中央自北而南分别发育浅水台地相碳酸盐岩,半深水台缘斜坡相钙屑浊积岩,滑塌砾屑灰岩

组至虹赤村组复理石—磨拉石建造,但在江山西南仍存在残留洋盆。西裘幔源型花岗岩 Rb—Sr 等时线年龄 852 Ma 及其南侧陈蔡群副变质角闪石 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 高温变质年龄 845 Ma (劳秋元等 1989) 可做为缝合带形成的时限。从此下扬子地区即进入一个新的构造发展阶段。

晋宁晚期的造山运动,除江山西南残留洋盆尚有深水复理石沉积外,在江山以东扬子与华夏陆块碰撞带上山脉连绵。震旦纪开始的全球性拉张使构造脆弱的江山—绍兴缝合断裂带左行走滑转换拉张,形成华南裂谷系。裂谷系的快速拉张下沉,使已遭夷平的江南古岛弧褶皱系沉入水下,故本区震旦纪沉积表现为冲积相砂砾岩→滨(浅)海相砂岩→大陆边缘冰川沉积→海相泥岩→深海相硅质岩的海进相序。晚震旦世至早寒武世欠补偿型沉积的含磷硅质岩、石煤层及黑色页岩代表着裂谷盆地强烈拉张下沉已发展到幼年洋阶段的凝缩沉积。中寒武—早奥陶世,本区从拉张下沉转变为较缓慢的热下沉阶段,从扬子台地中央自北而南分别发育浅水台地相碳酸盐岩,半深水台缘斜坡相钙屑浊积岩,滑塌砾屑灰岩

及等深积岩，下斜坡至陆隆相的钙屑浊积岩、泥岩、硅质岩，具典型的被动大陆拉张盆地沉积相带（图4）^[14]。但江绍一宜春断裂带以南华南残留洋盆仍全部沉积了陆源砂泥浊积

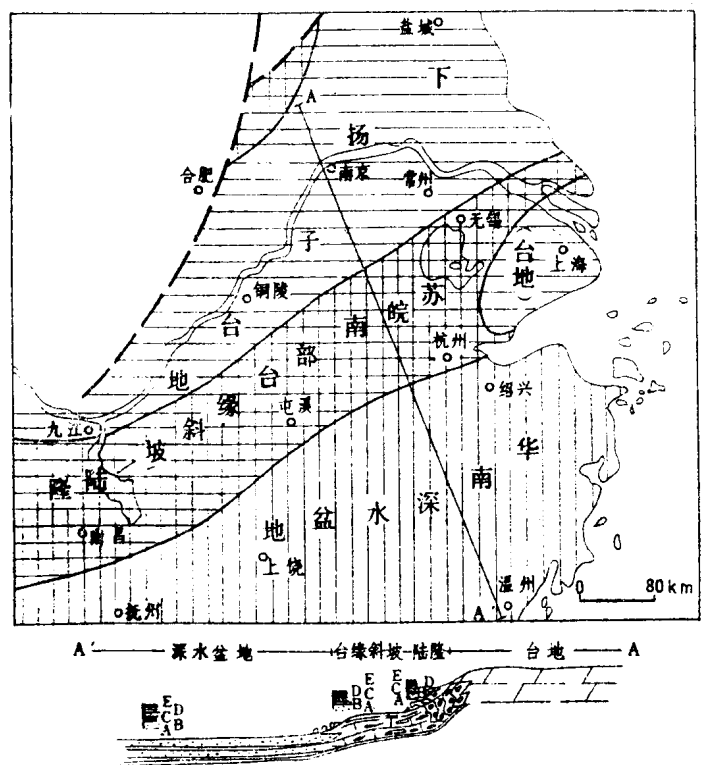


图4 下扬子区寒武纪沉积环境略图

岩系，二者之间明显有深海沟或海底山脊隔挡。从沉积岩相及古地理分析，江南古岛弧褶皱系此时正好为扬子板块东南被动边缘的斜坡至深水盆地沉积区，为水下陆隆，不提供陆源物质，起着这一隔挡作用。晚奥陶世末至中志留世华南裂谷盆地（含华南残留洋盆）迅速消亡，许靖华^[18,19]认为此时华南小洋盆又一次分别向南北两个板块俯冲，变成活动边缘，在消减带深海沟里沉积了一套深水复理石沉积，在华夏陆块边缘发育了武夷山岛弧型加里东期花岗岩。从古地理分析，此时物源主要来自浙闽山地。晚志留世华夏板块再次与扬子板块碰撞造山，在前陆盆地内沉积了晚志留至泥盆纪的“井岗山磨拉石建造”^[18,19]。此时扬子板块与华夏板块完全缝合形成统一的华南海板，海水退出，本区表现为上泥盆统与上志留统之间的不整合。

从中晚泥盆世开始，地史演化主要受古特提斯裂谷作用控制，扬子板块和华夏板块结合带断裂的拉张活动，从残存的西南部钦防海槽逐渐向东北方向拉开下沉，形成复杂的湘桂粤张裂盆地。本区西部受古特提斯裂谷作用，而东部随着库拉—太平洋板块向北西俯冲及以郯庐断裂与台东断裂为代表的转换断层剪切作用的双重拉张地应力的影响，由于岩石圈的不均一性产生撕裂形成张性断陷盆地，特别是江绍断裂带及新生的长江断裂带（主要为正断层）的活动，地壳下沉，海水从西南及东北两个方向灌入，沉积了一套浅水至较深水相，以碳酸盐岩为主、碎屑岩及煤系地层为次的上泥盆至中三叠统台地型沉积。本区拉张断陷盆地呈幕式发展，在晚泥盆世锡矿期至早石炭世岩关早期、早石炭世大塘早期、

中石炭世威宁早期、早二叠世栖霞早期、晚二叠世龙潭期等拉张断陷作用极盛期,开始出现陆相及海陆过渡相粗粒碎屑沉积;在活动强度减弱时,则出现浅海碳酸盐沉积。特别应指出的是,在九江—瑞昌、铜陵地区还发现少许石炭纪中酸性火山岩,高丽山组普遍夹含火山碎屑石英砂岩,这些均具典型陆内裂谷作用特点。

中三叠世以来,华夏板块与扬子板块进一步挤压,扬子板块向南俯冲,华夏板块向上超覆,形成特提斯型江南前陆褶皱冲断带,卷入包括侏罗纪以前所有地层,造成本区形成以东西向为主的挤压构造形迹,即褶皱与逆(冲)断层。白垩纪开始,库拉—太平洋板块俯冲与郯庐、台东转换断层剪切作用增强,即造成了我国东部东北、华北、苏北北东向拉张沉降盆地及东海、南海弧后盆地,又形成了燕山期强烈的岩浆—火山活动^[30]及北东东和北西(西)向二组剪切断裂系。

目前研究区所见各种构造形迹均是上述古构造演化的最终产物(图5)。

在了解本区古构造演化后,我们概略地分析一下下扬子沉积盆地的演化:

中、下扬子区震旦系至三叠系累计厚度近万米。地层之间仅有局部沉积间断,没有明显的角度不整合,反映本区具长期而稳定的沉降历史。从盆地性质看,震旦纪至奥陶纪为被动大陆边缘拉张裂谷盆地。该盆地内最明显的断裂是石台—宁国—无锡深断裂带(江南断裂带),此断裂控制着震旦纪及早古生代的生物及沉积相。断裂带北侧以浅海台地相碳酸盐岩沉积为主,生物群面貌为底栖介壳相,沉积厚度小于2000m;其南侧以深水斜坡至陆隆盆地相沉积为主,生物群为浮游生物群落,发育斜坡滑塌砾屑灰岩、钙屑浊积岩、等深积岩及硅质岩。有人以此划分为两个地体,分别称为扬子地层地体和江南地层地体^[21]。按地体(Terrane)的最初概念,据Howell(1983)的定义:两地体之间以突变的深断裂为界,无过渡相存在。但本区实际情况是在盆地相薄层粘土质灰岩、硅质岩与台地相碳酸岩之间存在着过渡的斜坡相沉积,在斜坡相带生物群也是混生过渡的^[14]。从而,证实了江南断裂带并非分割两个地体的深断裂,而是被动大陆边缘内陆壳拉张同生断裂。斜坡带在震旦、寒武纪时较宽,中晚奥陶世拉张作用结束,本区受南东侧华夏板块的挤压,盆地向下挠曲,台缘斜坡变陡,造成斜坡带沉积变窄,加之海平面的上升,沉积晚奥陶纪的五峰组硅质页岩。从志留纪开始至早泥盆世,原被动大陆边缘的裂谷盆地受挤压,转换为前陆沉积盆地,发育了典型的前陆盆地沉积序列,即下部的深水碎屑浊流沉积被浅水粗碎屑岩超覆,物源主要来自华夏板块逆冲片和推覆造山带。晚志留世或早泥盆世,前陆沉积盆地关闭上升成陆。整个早古生代本区地球动力学模式是拉张—热下沉—压缩过程。

泥盆纪后,在扬子与华夏板块完全缝合情况下,又受古特提斯构造域的拉张作用,沿原先存在的或新生的断裂重新拉张下沉,形成陆内拉伸沉降盆地。区内晚泥盆至中三叠世沉积总厚度在800—2000m以上,除上泥盆统、上二叠统有部分陆相沉积外,其它均为海相沉积,层状硅质岩、燧石条带、黑色页岩常见。高丽山组火山碎屑岩、铜陵和九江—瑞昌地区上石炭统海相火山岩、长兴龙潭组玄武岩夹层等,这些上地幔物质的喷溢,说明此拉张盆地具初期裂谷性质。此时,控制本区断陷下沉的除先前的江南断裂、江绍断裂,还有新生的长江断裂带。长江断裂带对本区晚泥盆世至早三叠世沉积相、沉积厚度起着明显的控制作用。

中三叠世以后,区内受特提斯构造域的挤压汇聚,断陷盆地变浅干化,形成蒸发岩。侏罗纪开始整个区域褶皱造山,除形成一系列山间盆地外,并产生断裂推覆,改变了以前

古生代构造格局,出现了新的运动体制。

三、岩 浆 岩

本区岩浆岩与火山岩覆盖面积达 1000 km²,特别是中生代岩浆活动强烈, >0.2 km² 的侵入岩体达 260 多个。

最古老的岩体有晋宁期岩体,如九岭富斜花岗岩 (K—Ar 年龄值 837.1 ± 6.4 Ma)。休宁花岗闪长岩体 (Rb—Sr 等时线 936 ± 6 Ma, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.70392$),歙县片麻状花岗岩 (928 Ma) 及许村岩体 (908 Ma) 等,这些过铝花岗闪长岩的岩浆源被认为是古岛弧带蛇绿岩套火山沉积柱部分熔融产生,反映江南古岛弧的花岗岩陆壳随着时间的推移进一步增长。加里东期岩体本区所见较少,仅见庐山东牯岭二云母花岗岩 (365—369 Ma),江西万载丰顶山花岗岩 (411 Ma),其侵入于双桥山群而为下石炭统地层覆盖。海西期仅在九江瑞昌、安徽铜陵矿区见少量火山岩;有确实证据的印支期岩体仅见有瑞昌十六公里石英闪长岩 (204 Ma),羊鸡山石英闪长玢岩 (205 Ma),安庆洪镇闪长岩体 (196 Ma) 镇江东部的圖山岩体等,岩体以岩脉、岩株产出。

区内所见最多的是燕山期岩体,燕山期岩浆作用与本区多金属硫化物矿床关系密切,所以研究较详。燕山期岩体成带沿江分布,受控于长江深断裂带。正如前述,长江深断裂带形成于海西期,至燕山期活动达到高潮。由于拉张下沉,地幔隆起,地壳变薄,在深部产生滑移或滑脱空间,造成沿断裂上侵岩浆的停集场所,形成多层次岩浆房及张性断陷火山盆地。根据刘湘培、常印佛等 (1988) 研究^[22],按岩浆物质来源、成岩机制将本区燕山期岩浆岩划分为同熔型和重熔 (陆壳改造) 型两大系列。同熔型岩浆系列又可分为扬子式 (壳—幔) 和江南式 (幔—壳) 两个亚系列。其中同熔型系列分布面积占本区岩浆岩总面积的 90% 以上,如铁山、武山、月山、铜官山、安基山等。其主要特征是低硅富碱、基性组分较低,不相容元素丰度较高,稀土配分属轻稀土富集型,球粒陨石标准化曲线为平滑右斜型, δEu 近于 1, 稳定同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 为 9.3—9.9‰, $\delta^{34}\text{S}$ 接近陨石型,锶同位素初始值 Sr_i 为 0.705—0.7100; 重熔 (陆壳改造) 型系列主要分布在本区南部,代表性岩体有太平、青阳九华山,上海宝山等。此类花岗岩为陆壳经混合岩化—花岗岩化或重熔—再生岩浆作用而成,岩石类型以钾长花岗岩为主,特征是高硅富碱 ($\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$), 亲石元素丰度较高,稀土元素配分为重稀土富集型,钕亏损强烈,球粒陨石标准化曲线呈 V 型,锶同位素初始值 $\text{Sr}_i > 0.7100$ 。

上述二种岩浆系列与其配套成矿系列具明显差异。前者与铜 (硫)、铁、金、钼、铅、锌密切相关;后者与钨、锡、钼、银、铅、锌矿化有关。长江中下游岩浆岩带的大地构造背景主要与华夏板块与扬子板块的碰撞有关,燕山期可能受库拉—太平洋板块俯冲作用复合影响,形成的陆缘型岩浆岩带,应力场是挤压过渡为剪切拉张。

第二章 沉积作用及沉积相

中、下扬子区，晚志留世末，由于受东南部华夏板块的挤压碰撞而整体抬升。晚泥盆世开始拉张下沉接受沉积。其沉积作用及沉积相受盆地沉降速度、海平面变化和沉积物补给三因素共同影响。早石炭世本区南部（如宜兴—泾县小区）全部由碎屑岩组成，而北部（如巢湖—南京、扬州小区）则夹数层灰岩（金陵组、和州组），碎屑岩粒度变细，说明碎屑来源于本区以外的东南山区。晚石炭世威宁期沉积，全区基本为碳酸盐岩，代表海侵后的高海平面沉积，但各小区岩性略有变化，所以岩性地层单位的划分稍有差异。自北而南：扬州地层小区主要由一套浅灰、灰白色生物屑粒泥灰岩组成，下部夹钙质页岩和砂岩数层，统称黄龙组；南京—巢湖地层小区，威宁期全部为碳酸盐岩地层，称黄龙组，下部为“粗晶灰岩”段，上部为纯灰岩段，但该小区南部南京一带尚包括老虎洞白云岩顶部，根据化石属威宁早期沉积岩层；宜兴—泾县、铜陵—宿松、瑞昌—通山地层小区，基本由碳酸盐岩组成，但底部见少许碎屑岩，划分两组，即下部老虎洞组，上部黄龙组。老虎洞组为白云岩层，白云岩之下发育一套0.1—30余米的碎屑岩，其岩性自下而上由含砾石英砂岩、砂岩，向上过渡为白云质砂岩、砂质白云岩，顶部为一层黄铁矿化白云质粘土岩，与上覆白云岩呈过渡关系。底部石英砾岩的存在，标志着与下伏地层有一沉积间断，随着海平面上升（海侵扩大）碎屑粒度变细，白云质粘土岩代表高海平面的缓慢沉积（凝缩层），而其上的白云岩即为高海平面沉积楔。按岩石地层单位此套碎屑岩应另创组名，但由于其厚度很薄（个别剖面稍厚）所以暂归入老虎洞组，做为底砾岩处理。上部黄龙组由灰岩组成，亦分两段：下部“粗晶灰岩”段，分布不普遍，仅在一些剖面见到；上部为纯灰岩段。这种层序特征，反映中下扬子区威宁期碳酸盐台地有一个自北向南扩张的过程，所以碳酸盐岩层位有向南抬高的趋势（图2）。

在进行详细的沉积相研究之前，我们必需对岩相、沉积环境和沉积相的概念加以解释，以免引起误解。岩相在这里是一描述性术语，是能表明沉积环境的岩性和古生物特征的有规律的综合，强调岩石本身组构及化石生物群的特征，这些特征是根据露头及薄片微相研究所综合。沉积环境按塞利（R. C. Selley, 1970）的意见是指“在物理上、化学上和生物上均有别于相邻地区的一块地球表面”，即沉积环境本质上是地貌上的概念。而沉积相是根据岩相的详细研究，结合现代或古代沉积环境实例，采用“将今论古”或“将古论今”对比的方法，对该岩相的沉积环境做出的解释和综合推理，它包括岩相及其环境解释两个部分。

根据上述概念，为了描述的方便，我们将碎屑岩与碳酸盐岩沉积相特征分别加以叙述。

一、威宁期始时碎屑岩的沉积相

威宁期始时的碎屑岩，基本上由砾岩、含砾砂岩、砂岩或白云质砂岩及少许细—粉砂