

安庆一月山地区 构造作用与岩浆活动

董树文 邱瑞龙 著



地质出版社

安庆一月山地区构造作用 与岩浆活动

董树文 邱瑞龙 著

地 质 出 版 社

(京)新登字085号

内 容 提 要

安庆一月山地区是长江中下游成矿带的重要矿田之一,它除了具备整个矿带的基本成矿特征外,还发育了一些独特而罕见的地质现象,构成与众不同的构造、岩浆景观。本书着重研究了该区的构造体系和岩浆岩系列,提出了董岭岩浆底辟滑覆构造体系和月山一百子山冲断系这一区域构造格局的新认识,并从这一角度解释了研究区东西两部分沉积盖层变质变形以及岩石系列的差异,作者运用现代岩浆动力学理论,论述了董岭岩浆底辟机理,分析了底辟——气球膨胀侵位机制及控矿规律;并根据岩石学、岩石化学、矿物学、地球化学及稳定同位素等方面的资料,将研究区岩浆岩划分为低硅富铁(I型),富硅富碱(I型)和碱长石英正长岩(A型)三个成岩系列和相应的成矿系列,并探讨了各成岩系列岩浆的生成条件、演化特征,分析了幔壳混熔型岩浆的成因依据等。可供从事地质构造、岩矿等专业的科研、教学、生产人员及院校师生参考。

安庆一月山地区构造作用与岩浆活动

董树文 邱瑞龙 著

*

责任编辑:郑长胜

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: 2页 字数: 240000

1993年10月北京第一版·1993年10月北京第一次印刷

印数: 1—800册 定价: 7.90元

ISBN 7-116-01379-2/P·1135

序 言

长江中下游成矿带是我国著名的铜铁硫金产区之一。有关基础地质和区域成矿分析的研究,经过几代人的不断探索,已积累了丰富的资料,达到了相当的深度;但在一些领域内还遗留一些重大课题,有待进一步研究,以使我们的认识更接近于自然界的本质,这在理论上和应用上都有重要意义。

由于该成矿带是在晚元古一早中生代盖层沉积的背景上,经过中生代构造活化而成,成矿作用几乎都与燕山期花岗闪长岩类的小侵入体有关。以往的研究,主要集中在岩体的岩相、蚀变、地球化学及与成矿关系上,而对成矿岩浆岩的形成、来源、上升侵位等动力学机制及与成矿和大地构造环境的联系上工作不多,可这正是正确认识长江中下游这一陆内成矿带形成机制和规律的主要环节,也是解开为什么同一矿带同类岩体,有的成矿,有的无矿之谜的关键。月山地区同一盖层表现出两种截然不同的地质面貌,一部分未变质和弱变形,而另一部分强烈变质和变形,特别是强烈的热变质和韧性变形,导致盖层面貌全非,构成长江中下游独特的地质现象,为几代人所迷惑。青年学者董树文和邱瑞龙在参加“七五”国家重点科技攻关项目(75—55—02)的专题中,潜心研究,孜孜以求达三年之久,在“安徽省安庆地区成矿条件及铜金铁成矿预测”报告的部分内容基础上,改写成这本《安庆一月山地区构造作用与岩浆活动》专著,基本上回答了上述问题。

作者对安庆地区,首次提出了董岭岩浆底辟滑覆构造体系和月山一百子山冲断系这一区域构造格局的新认识,并从这一角度解释了研究区东西两部分沉积盖层变质变形以及岩石系列的差异;运用现代岩浆动力学理论,论述了董岭岩浆底辟机理,分析了底辟—气球膨胀侵位机制及控矿规律。这一构造格局的新认识的研究方向是可取的,对指导本区的找矿工作具有实际意义,现阶段它和同时存在的其它一些观点(如变质核杂岩等)可以起相辅相成、异曲同工之效,有利于促进本区认识之深化。

作者根据岩石学、岩石化学、矿物学、地球化学以及稳定同位素等方面的资料,将研究区岩浆岩划分为低硅富铁(I型)、富硅富碱(I型)和碱长石英正长岩(A型)三个成岩系列和相应的成矿系列,并探讨了各成岩系列岩浆的生成条件、演化特征,分析了幔壳混熔型的成因依据,提出了岩浆岩含矿性的判别标志。关于岩浆起源和岩石成因,作者把岩浆活动和构造环境相结合,这在理论上和逻辑上是必要的,对指导找矿的方向和部署也有一定的战略意义。

总之,本书是现阶段对长江中下游有关区段构造地质及岩浆作用演变历史的一次较为全面的概括,所提出的许多地质事实和大量数据,不仅进一步丰富了本区的资料库,而且为以后的研究提供了有用的信息。至于本书的不完善之处,相信作者会在下一步深入研究中予以补充和修正。

常印佛

1992.5.

前言

安庆一月山地区是长江中下游成矿带的重要矿田。它除了具备整个矿带的基本成矿特征外,还发育了一些独特而罕见的地质现象,构成与众不同的构造、岩浆岩景观。其中有:下扬子盖层褶皱区(大别造山带前陆带)唯一出露的变质基底——董岭群变质岩系地区;盖层地层(从寒武系—三叠系)普遍发生强烈变质作用的仅有此处;发育两套完全不同的闪长质岩浆岩系统;韧性变形发育在各个构造层内,直至中三叠统,等等。这些独特的地质现象,一直为地质界所关注,并曾为之困惑。早在解放前和解放初期,喻德渊(1945)、汤克诚、杨开庆(1950, 1951)就注意到本区在下扬子江流域中的特殊性。普查找矿工作深化了该区的地质认识,1974年安徽省地质局326队完成了1:50000洪镇幅区调报告,建立了“洪镇帚状构造体系”的区域构造格架(梁善荣, 1974),系统地全面地总结了该区地质资料,影响颇大。到了80年代,先后有一批地质学家陆续在本区开展专题研究,获得许多新认识。如:陆镜元的多旋回准地台构造演化和滑线场理论观点(1979, 1984);徐树桐等基底共轭剪切带和薄皮构造观点(1987);王时诚认为百子山背斜是多层冲断叠片叠置的“假背斜”(1987);薛虎提出黄梅山大型平卧A型褶皱(1990);罗庆坤等统称之印支期伸展构造(1991);傅昭仁等强调董岭变质核杂岩构造模式(1991)。

作者自1986—1990年参加了“七五”国家攻关项目(75—55—02)的三级专题“安徽省安庆地区成矿条件及铜金铁成矿预测”研究。我们着重对该区的构造体系和演化机制及岩浆岩系列及成因作了较系统的工作,并侧重于构造与岩浆作用的关系。首次提出了董岭岩浆岩底辟滑覆构造体系和月山—百子山冲断层系这一区域构造格局的新认识,并将岩浆岩系统划分出低硅富铁壳成幔源型系列(底辟岩浆岩系列)和富硅富碱的幔壳混熔型系列(月山成矿岩浆岩系列)。在安庆地区将岩浆活动和构造环境较好地结合起来,在认识上有突破。

本书是在“安庆一月山地区区域构造分析及其控矿规律”和“安庆地区岩浆岩含矿性研究”子报告基础上改写而成。董树文完成前言、第一章第一节、第二章、第四章、第六章、第八章第一节和英文摘要,并对全书通核;邱瑞龙完成第一章第二、三节、第三章、第五章、第七章和第八章第二节,并对附图审核。全书撰写中得到学部委员、安徽省地矿局总工程师,“七五”攻关项目(75—55—02)负责人常印佛教授的热情鼓励和关心,并在百忙中为本书写了序,作者非常感动,并表示诚挚的谢意。本书的构想,是在完成“安庆地区成矿条件及铜、金、铁成矿预测”项目过程中逐步形成的,曾得到该专题负责人李锡之、周云生高级工程师,以及刘培厚、何大林等同志的支持和帮助,特别是周云生高级工程师多次与作者进行有益的商讨。此外,在广泛的学术交流中作者曾与薛虎研究员、傅昭仁教授、罗庆坤教授、李东旭教授、许志琴研究员、郑亚东教授、徐嘉炜教授等开展热烈的讨论,受益匪浅。马杏垣先生曾鼓励并支持在安庆地区召开现场学术研讨会,把研究深入下去,对此作者铭记于心并表示由衷的感谢。

安庆地区的确是一块难得的地质热土。在地层上,几乎包括了从震旦系到第三系所有

的准地台型地层，并出露了下扬子流域的变质基底，是研究下扬子地区深部地质的唯一窗口；变质作用既有区域变质，又有热动力变质，况且变质矿物典型，变质带清晰；构造变形纷繁复杂，在同一盖层系统内发育有脆性变形，脆-韧性变形和韧性变形，有推覆构造也有滑覆构造，韧性剪切带和糜棱岩发育，变形标志明显，为量化研究提供了绝好的场所；岩浆岩不同类型共存；在区内可划分出三个系列，特征明显，信息量大，尤其是岩浆侵位动力学标志发育；成矿作用更是丰富多彩，不同构造体系、不同岩浆岩系列都有其不同的成矿特征，矿种也有铜、铁、金、铅、锌、硫等。在方圆不足 600km^2 区域内发育并出露如此之多的地质现象，犹如一座天然地质博物馆，傅昭仁教授曾感慨地说：应在这里建成一个永久性的高级研究和实习基地。我们深知，这块热土还蕴藏着更多的地质信息，等待人们去挖掘。本书的一点认识，只是沧海一粟，要做的事还有很多。“八五”期间又有一批地质专家来此开垦，相信又将涌现一批新成果，作者也有幸再次进入月山，继续未尽之事。

在完成本书过程中，还得到曹恒、王刚、张青、杨义忠等同志的无私帮助。插图由马燕、李文陵、王小梅、戴桂芳清绘，高毅敏制作图版，在此一并致谢。

目 录

第一章 区域地质概况	1
第一节 区域构造背景分析	1
一、大别山碰撞造山带的影响	2
二、长江中下游前陆缩短带基本特征	2
三、下扬子印支运动基本特征	7
第二节 区域地层	9
第三节 区域岩浆岩	15
一、区域岩浆岩概况	15
二、岩浆岩的侵位时代	16
三、岩浆岩空间展布特征	19
四、构造岩浆岩带	21
第二章 构造作用	24
第一节 构造层划分	24
第二节 变形期次划分	25
第三节 构造体系划分	27
第三章 岩浆作用	30
第一节 岩浆岩的成因类型及演化系列	30
一、富硅富碱系列 (I 型)	30
二、低硅富铁系列 (I 型)	31
三、碱长石英正长岩系列 (A 型)	31
第二节 岩浆岩成岩条件和成岩机制	31
一、成岩条件	31
二、岩浆包体及岩浆的混合、同化作用	33
第三节 岩浆岩的成因标志	39
一、岩石学及矿物学标志	39
二、岩石化学标志	50
三、微量元素地球化学标志	54
四、铷-锶同位素标志	58
第四章 董岭岩浆底辟滑覆构造体系	59
第一节 底辟构造岩浆岩系统	59
一、岩体产状	59
二、岩体分布与组合	60
三、岩体侵入顺序	60
四、岩体内部构造	61
第二节 底辟滑覆变形体系	63

501	一、环状叠加褶皱	63
501	二、环状面理和线理	65
011	三、环状滑覆断层	65
511	四、糜棱岩	68
511	第三节 底辟变质作用	70
511	一、变质矿物变质带与热场温度梯度	70
511	二、变质与变形关系	72
511	第四节 底辟——汽球膨胀侵位机制	74
511	一、底辟——汽球膨胀侵位机制	74
511	二、岩体上升——传播机制及岩浆房深度	77
511	三、岩浆底辟作用的时代	78
	第五章 董岭底辟岩浆岩	79
511	第一节 岩体地质特征	79
511	一、扬子—东来山岩体	79
511	二、金山—梁家山岩体	79
511	三、海螺山岩体	79
511	四、洪镇—峡石岩体	79
511	第二节 岩石学特征	80
511	一、基性—中性岩岩石学特征	80
511	二、中酸性岩岩石学特征	81
511	三、岩石副矿物特征	81
511	第三节 岩石化学特征	82
511	一、岩石化学参数	82
511	二、岩石化学图解	82
511	第四节 微量元素地球化学特征	86
511	一、稀土元素	86
511	二、过渡元素特征	89
511	三、亲石元素及离场强度元素	92
511	第五节 稳定同位素特征	93
511	一、氧同位素	93
511	二、锶同位素	93
511	第六节 岩浆岩成因探讨	93
	第六章 月山—百子山冲断系	95
511	第一节 月山—百子山冲断系基底构造	95
511	一、近东西向基底剪切带	95
511	二、近南北向基底剪切带	96
511	第二节 盖层构造及冲断系	101
511	一、褶皱构造	101
511	二、冲断层系	102
511	三、冲断系与底辟构造体系的边界断层(大鞍山—龙源岭断层)	105
511	第三节 月山矿田控岩控矿构造特征	107

56	一、月山岩体的控岩构造	107
70	二、月山岩体侵位方式	107
56	三、月山矿田控矿构造	110
	第七章 月山一百子山冲断系岩浆岩	112
03	第一节 岩体地质特征	112
07	一、月山岩体	112
37	二、总铺岩体	112
15	三、严家老屋岩体	112
11	第二节 岩石学及矿物学特征	113
77	一、月山岩体—严家老屋岩体岩石学、矿物学特征	113
87	二、总铺岩体岩石学、矿物学特征	114
07	第三节 岩石化学特征	117
01	一、岩石化学参数	117
07	二、岩石化学图解	117
07	第四节 微量元素地球化学特征	122
07	一、稀土元素	122
07	二、过渡元素	123
04	三、亲石元素及离场强度元素	124
08	第五节 稳定同位素特征	128
18	一、氧同位素	128
18	二、锶同位素	128
18	第六节 岩浆岩成因探讨	129
	第八章 构造作用、岩浆作用与成矿作用	131
08	第一节 构造作用与成矿作用	131
08	一、底辟构造体系含矿性及控矿规律	131
08	二、盖层冲断系形成机理及控矿规律	131
08	第二节 岩浆活动与成矿作用	132
39	一、成岩成矿系列	132
08	二、岩浆岩含矿性判别标志	134
20	第三节 区域成矿及预测	140
00	一、底辟构造体系	140
00	二、月山一百子山冲断系	141
	参考文献	142
	英文摘要	145
	图版说明及图版	155

第一章 区域地质概况

第一节 区域构造背景分析

安庆一月山地区地处长江中下游弧形成矿带的东翼近弧顶处(图1—1)。相当于地质力学划分的淮阳山字型构造体系前弧东翼内侧中段(李四光, 1971, 王治顺等, 1987);或传统地质学所称的下扬子拗陷褶皱带北缘(地质科学院, 1965);地洼说将其定为华中地洼区下长江地洼列——马鞍山怀宁洼拱(向缉熙, 1990)。根据80年代新资料,特别是大别山碰撞造山带的研究,对本区构造背景的认识提供了新的思路,提出了安庆一月山地区位于大别中生代碰撞造山带前陆缩短带江北亚带安徽境内中南段(徐树桐等, 1987, 董树文, 1989, 郝杰等, 1988)。该区中生代变形构造主要受碰撞带前陆带强烈缩短和挤压环

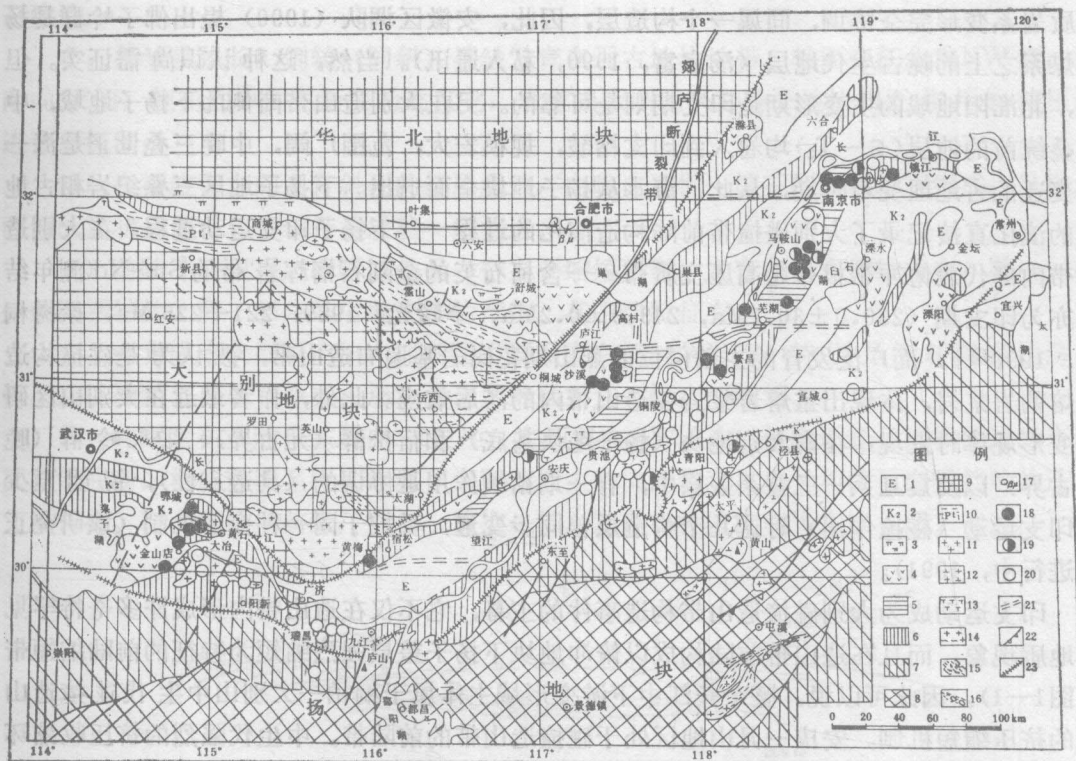


图 1—1 长江中下游矿带大地构造图

1—第三系; 2—上白垩统; 3—晚白垩世火山岩; 4—晚侏罗世火山岩; 5—下—中侏罗统; 6—震旦—三叠系; 7—扬子基底早古生代盖层; 8—扬子基底中晚元古代变质岩; 9—华北基底变质岩; 10—下元古界; 11—花岗岩; 12—花岗闪长岩; 13—正长岩; 14—片麻状花岗岩; 15—构造混杂岩; 16—韧性剪切带; 17—晚第三纪火山岩; 18—铁矿; 19—铜矿; 20—黄铁矿、金矿、铅锌矿; 21—基底剪切带; 22—冲断层; 23—前陆带边界

境控制, 岩浆作用、成矿作用则与挤压 (T_3-J_2)—伸展 (K_2-E) 机制的过渡构造——断裂构造有关 (J_3-K_1)。

一、大别山碰撞造山带的影响

大别山—桐柏—秦岭造山带以及胶东地块是华北地块与扬子地块对接的碰撞造山带, 虽然对造山作用的过程、时限和方式认识尚未一致, 但作为南北大陆的缝合山链几乎是无疑的 (李春昱, 1978, 许志琴等, 1988, 许靖华等, 1986^①, 张国伟等, 1988)。80年代以来, 大别山地区地质研究获得诸多的进展, 甚至更大进展, 其中包括: 构造混杂岩带 (徐树桐等, 1984), 蓝闪石片岩带 (张树业等, 1989), 含柯石英榴辉岩 (许志琴, 1987, 王小民等, 1989, Okey等, 1989), 白片岩 (张树业等, 1989), 微粒金刚石包体 (榴辉岩内) (徐树桐等, 1991), 以及不同规模的推覆构造和韧性剪切带和变质岩系的定时 (河南、湖北、安徽区调队等), 中国科学技术大学获得榴辉岩Sm-Nd年龄 (230—240Ma) (李曙光等, 1989) 等等对深入和系统研究大别造山带地表结构和演化起着积极的推动作用。在这些新资料、新成果的基础上, 桐柏—大别碰撞造山带主体是印支期产物的认识逐渐形成主流, 也就是说: 华北地块和扬子地块在桐柏—大别一线的碰撞时代是三叠纪中晚期 (印支运动)。这种观点与造山带南北两侧的盖层变形演化、沉积相和古地理事实相符合, 至少在大别山北部的北淮阳地区, 石炭—二叠系的扬子煤系地层和佛子岭群 (信阳群) 浅变质岩系变形完全协调, 同属一个构造层, 因此, 安徽区调队 (1990) 提出佛子岭群是扬山煤系之上的晚古生代地层 (汤家富, 1990, 私人通讯)。当然, 这种认识尚需证实。但是, 北淮阳地域的主变形期是印支期则是可靠的。另在大别造山带南侧的下扬子地域, 中三叠统前的地层 ($\epsilon-T_2$) 均卷入到印支褶皱, 规模宏大, 范围广阔, 中晚三叠世正是海—陆变迁的古地理变革时期, 从此, 海水从扬子地块全面退出。下扬子地区三叠纪岩相古地理的演化直接记录了大别碰撞带前陆构造演化的过程——下扬子印支运动过程。在大别造山带内部代表俯冲带根带超高压变质带——含柯石英的金刚石榴辉岩带的Sm-Nd测年结果亦为印支期 ($230.0 \pm 30.7\text{Ma}$, $243.9 \pm 0.2\text{Ma}$, 李曙光, 1989; $221-225\text{Ma}$, 徐树桐等, 1990^②); 而广泛发育的主动侵位的燕山期花岗岩普遍布造山带, 被认为是碰撞构造重熔的岩浆岩, 体现出重熔岩浆岩在造山带内的滞后效应。此外, 作者最近在大别山区研究变形规律时发现: 在南大别地块 (扬子地块基底) 和宿松群 (元古界)、张八岭群 (晚元古界) 以及震旦系—三叠系盖层中, 有一期褶皱作用是协调的 (具透入性), 说明至少在印支运动 (碰撞作用) 时这几个构造层曾同步变形, 受控于同一种变形机制 (该研究正在进行中, 1991)。

印支运动成为大别碰撞造山带构造事件的主幕, 它不仅在造山带内形成许多奇特罕见的地质现象, 而且在造山带前陆构成以俯冲地块下扬子盖层强烈缩短为特征的前陆缩短带 (图1—1)。因此可以说, 整个长江中下游变形域主体属于桐柏—大别山中生代碰撞造山带的挤压缩短机制。安庆—月山地区处于碰撞造山带的前陆带。中生代强烈的挤压收缩环境控制了该区的构造作用、岩浆作用和成矿作用。

二、长江中下游前陆缩短带基本特征

长江中下游前陆缩短带呈狭长条带蜿蜒近千公里, 分布在大别造山带的南缘, 过宁镇

① 许靖华, 1986, 考察大别山地质学术报告 (合肥)

② 徐树桐等, 1989, 大别山 (安徽) 推覆体的构造演化和找矿远景

山脉后在苏北—胶东碰撞带之南、苏北平原下延至黄海。前陆带的主要特征：扬子地块盖层发育齐全，下中三叠系均卷入印支褶皱，构成前陆带特征的紧密线性褶皱带；基底与盖层间发育大规模的滑脱构造；盖层内亦有多层的滑脱面导致盖层大规模缩短；燕山期中酸性岩浆岩在断裂作用引导下广泛发育，成为长江中下游铁、铜成矿作用的主要阶段；晚白垩世发育的陆相红层盆地为代表的裂解机制成为主导因素，改造并肢解了前陆褶皱带，伴有不同规模的重力滑动构造，从而成为当今长江中下游奎—堰相间的构造格局。

1. 前陆带变形特征

1) 褶皱作用：紧密线性褶皱是前陆带主要构造要素。褶皱为直立—倒转褶皱，在江北近大别地块褶皱轴主体向北西倾斜。在沿江地区前陆褶皱带总宽度平均为100km，最窄处为40km，从大别地块凸顶的九江向两侧斜列有七个褶皱带（图1—1），西侧有：九江—大冶褶皱带；广济—鄂城褶皱带；东侧有：湖口—贵池褶皱带；宿松—庐江褶皱带；铜陵—宁镇褶皱带；庐江—六合褶皱带和巢湖—滁县褶皱带。各褶皱带具有相似的地质特征和演化规律：

A. 褶皱带由震旦系—古生界—三叠系地层组成，震旦系仅在背斜核部和紧邻华北地块、大别地块处出现；

B. 卷入褶皱的最新地层是中—上三叠统，中下侏罗统象山群为前陆褶皱带的类磨拉石建造；

C. 褶皱带狭长，倒转（同斜）褶皱发育在近古地块地带。轴面在江北向NW倾，江南向SE倾，倾角向中间逐渐变为近直立，表现出大别地块和扬子地块相互作用的挤压递进变形机制；

D. 在褶皱带之间发育斜列的红层盆地，由晚白垩世—第三纪陆相堆积组成，呈向北西倾的箕状盆地，与褶皱带构成奎—堰构造。

2) 前陆冲断层系：冲断层是另一个主要缩短要素，发育在紧密褶皱带内，其中一部分是同褶皱的，另一部分是后继变形的产物。其主要特征有：

A. 密集成束状间隔产出，冲断层主要发育在褶皱的翼部，特别是倒转翼的拉薄部位，造成冲断岩席相互叠置，形如叠瓦，地层重复、缺失而缩短。

B. 冲断层在前陆带东翼向SE逆冲，在西翼向SW逆冲，但临近扬子地块的边缘表现反向的冲断，构成对冲系统，体现了大别地块主动向南运动，扬子地块反向阻挡的构造应力场特征。在大别山体前缘，宿松—黄梅一带，发育有构造窗和飞来峰（图1—2）。

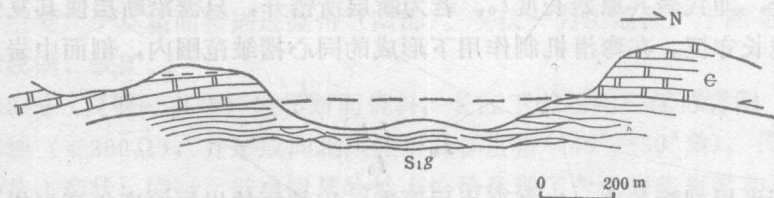


图 1—2 黄梅县王冲水库构造窗示意图

S_{1g}—下志留统高家边组页岩；E—寒武系灰岩

C. 在前陆带盖层中冲断层和主要滑脱面均发育在几个稳定的层位内，至少有两个区域性润滑层和一个界面（图1—3）。这些都是岩石力学性质差别悬殊的岩层界面，它不仅

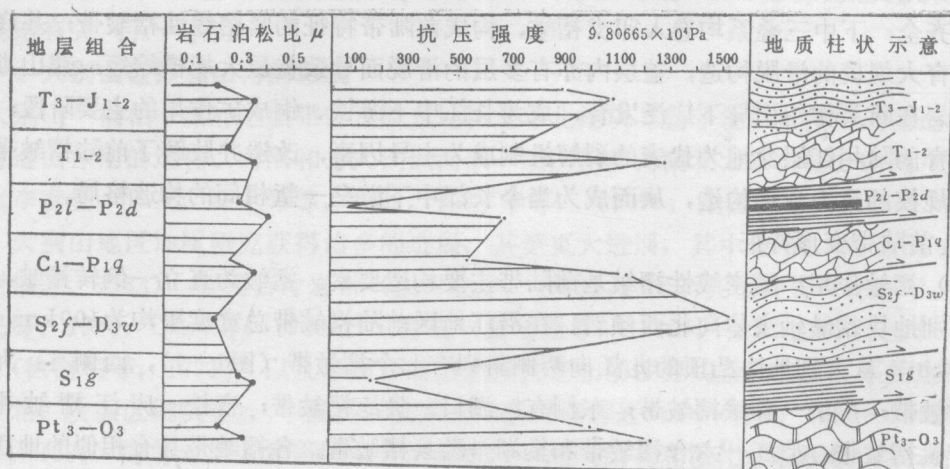


图 1—3 长江中下游矿带主要滑脱面与岩石力学性质关系图
(泊松比 μ 是根据岩石纵波和横波波速求出的)

构成运动面，而且也是长江中下游矿带控岩控矿的主要场所。

3) 基底剪切带：前陆带盖层变形受控于两组基底剪切带，一组近东西向；另一组北北东向。它们的钝角指向大别地块的主应力方向，反映基底韧性共轭剪切带的特征。基底剪切带的盖层表征：A. 盖层变形带的突然或明显收缩段；B. 盖层变形性质、特征和复杂程度截然不同地段的分隔带；C. 北东向褶皱带和同褶皱冲断层的“S”型扭曲带；D. 布格重力和航磁异常交变带或梯度带。东南向剪切带在前陆带东翼大致以 60 km 等距相间出现；北北东向剪切带有两条，相隔 70—80 km；两组剪切带所围限的菱形地块作右旋运动。

4) 前陆带部分平衡剖面的建立：根据 Dahlstrom (1969) 提出造山带前陆区同心褶皱区平衡剖面编制的原则，即：A. 体积不变原则；B. 面积不变原则；C. 岩层厚度不变原则；D. 剖面中各标志层的长度一致原则。长江中下游前陆缩短带主体属浅部盖层变形，岩层缩短主要为褶皱和断层。岩石密度在变形后无明显变化，内应变可忽略不计。这样可证实变形区岩石体积基本守恒；另褶皱轴与断层走向平行，沿构造走向 (b 轴) 不发生变形，即缩短带长度不变，因此，三维的体积不变可转化为二维面积不变原则，体积守恒体现为垂直构造带剖面的面积守恒；又因岩石无显著的内应变，即层厚不变，可将褶皱和断层沿中线展开，即代表其原始长度 I_0 。若为断层所错开，只需沿断层使其复位，故而面积守恒表现为线长守恒。在弯滑机制作用下形成的同心褶皱范围内，剖面中岩层长度在变形中守恒：

$$I_0 = \frac{l_1 t_1}{t_0}$$

l_1 为变形岩层剖面长度， t_1 变形岩层厚度， t_0 是原始岩层厚度。变形岩层剖面中各岩层都应恢复其原始长度，如果所恢复的全部岩层的长度都相等并等于原长，则剖面是平衡的。

在上述原则下，作者在前陆带选择工作程度高、资料丰富、剖面连续的区段进行部分平衡剖面处理。选择了前陆带东翼中段贵池、安庆剖面 (图 1—4)，平衡后计算的结果，

全剖面总缩短 43.24 km, 缩短量为 43%。其中冲断缩短 7.6 km, 缩短量 8%; 褶皱缩短 35.34km, 缩短量 35%, 韧性变形地段(青阳柯村一带) 缩短量达 71%, 明显地大于盖层脆性变形量。

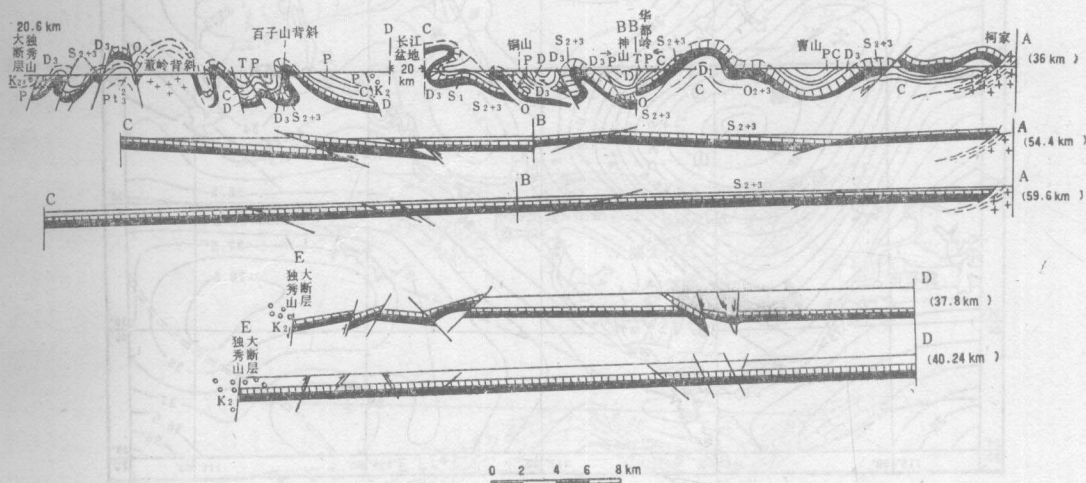


图 1—4 长江中下游前陆褶皱带平衡剖面图

2. 前陆缩短带地球物理资料分析

对现有的地球物理资料结合地质构造成果进行分析, 以期获得前陆带的深部地质和深部构造信息。闵志等^① (1984) 根据 1:100 万布格重力异常图和原始数据, 以及 1:100 万航空磁力异常 ΔT (地矿部航测大队, 1982) 等资料进行莫氏面的重力场反演, 得出几点认识:

1) 大别山区莫氏面最深在 36km 以上, 这是造山带地壳增厚的特征。由于结晶基底变质深, 铁镁矿物含量高, 出现区域强磁场 (磁化率 $k=2600 \times 10^{-6}$ CGSM (磁化单位), 剩余磁化强度 $J_r=1430 \times 10^{-6}$ CGSM, 据雷美光)。皖南地块区域上反映为平缓的弱正磁场。长江中下游矿带比两侧大别地块和扬子地块莫霍面要浅 4—5km, 形成地幔隆, 也反映了大别和扬子地块之间的不连续性。

2) 从杨明寿等^② (1986) 的长江中下游莫霍面图 (图 1—5) 可见, 莫霍面隆起从马鞍山—庐江—安庆—怀宁至湖北鄂城, 四个隆起部位连接成带, 铁矿全部产于隆起带上, 位北部; 铜矿主要产于莫霍面隆起过渡带 (南部)。安庆—月山地区产于隆起带之上并靠近过渡带, 形成铜、铁矿。

另据 HQ13 线 (灵璧—奉贤) 地学断面资料, 长江下游扬州—江苏青阳 (100km 宽) 段为低电阻率域 ($<200 \Omega$), 并形成向北西倾斜的梯度带 (40° — 50° 角), 代表了扬子地块向北俯冲的基底产状。同时, 低电阻从物性上恰恰体现了含矿岩浆岩带和金属矿带的物理特征。

① 闵志等, 1984, 中国东部区域物探对地质构造矿产预测研究报告 (华南部分)

② 杨明寿等, 1986, 区域成矿研究新理论、新方法研讨会文件

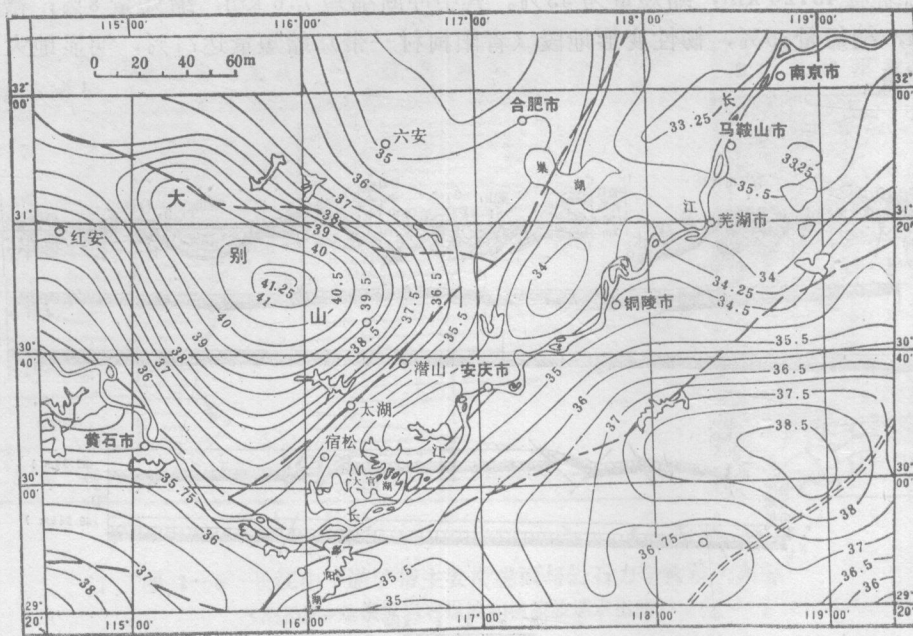


图 1—5 长江中下游地区莫霍面深度、基底分布图

3. 前陆带构造事件及演化

1) 大陆碰撞事件: 华北地块与扬子地块自晚古生代就趋向合拢, 直至晚三叠世拼接完成。主要表现为特提斯海北支最后封闭; 南北地块统一成联合大陆。碰撞事件在大别山—桐柏山—秦岭一线形成缝合线和构造混杂岩; 在前陆带则造成中三叠统前地层全部卷入褶皱, 下扬子海水退却转为陆相, 并记录了印支运动的发育过程。根据碰撞事件发育特征及变形标志, 前陆缩短带可划分为两个变形阶段:

A. 褶皱收缩阶段 (T_3-J_{1-2})——印支运动

晚三叠世构造作用最突出的表征就是褶皱运动。在碰撞机制下, 俯冲地块 (扬子地块) 的盖层在盖层滑脱面上强烈收缩, 使从震旦系—古生界—中三叠统连续地层全部褶皱, 缩短量达35%, 构成前陆褶皱带。这个时期属印支运动最剧烈阶段。伴随褶皱运动的沉积相建造是一套典型的海退序列, 在下扬子地区完成了由海相—陆相的古地理转变。

岩相古地理和古盆地构造分析资料表明, 现存的三叠纪下扬子盆地 (含蒸发岩) 实际上是下扬子三叠纪盆地的南侧次级盆地, 原盆地中心和北侧边缘均被大别造山带和郯—庐断裂带所超覆和破坏 (图1—6)。

B. 断裂活动阶段 (J_3-K_1)——燕山运动早期

下扬子燕山运动处在一个构造机制转换的过渡阶段, 一方面仍然受碰撞事件的收缩应力场控制, 产生缩短量达10%的冲断作用; 另一方面开始受环太平洋的裂解机制影响, 局部的伸展构造开始出现。所以燕山运动早期在下扬子地区具有过渡性质, 但主体仍属前陆带构造。

2) 大陆裂解事件 (K_1-N): 至少在晚白垩世 (早白垩世晚期) 下扬子地区转入到扩张的裂陷阶段, 曾发生于前陆带的早白垩世区域性岩浆、变质和成矿的热作用到此告

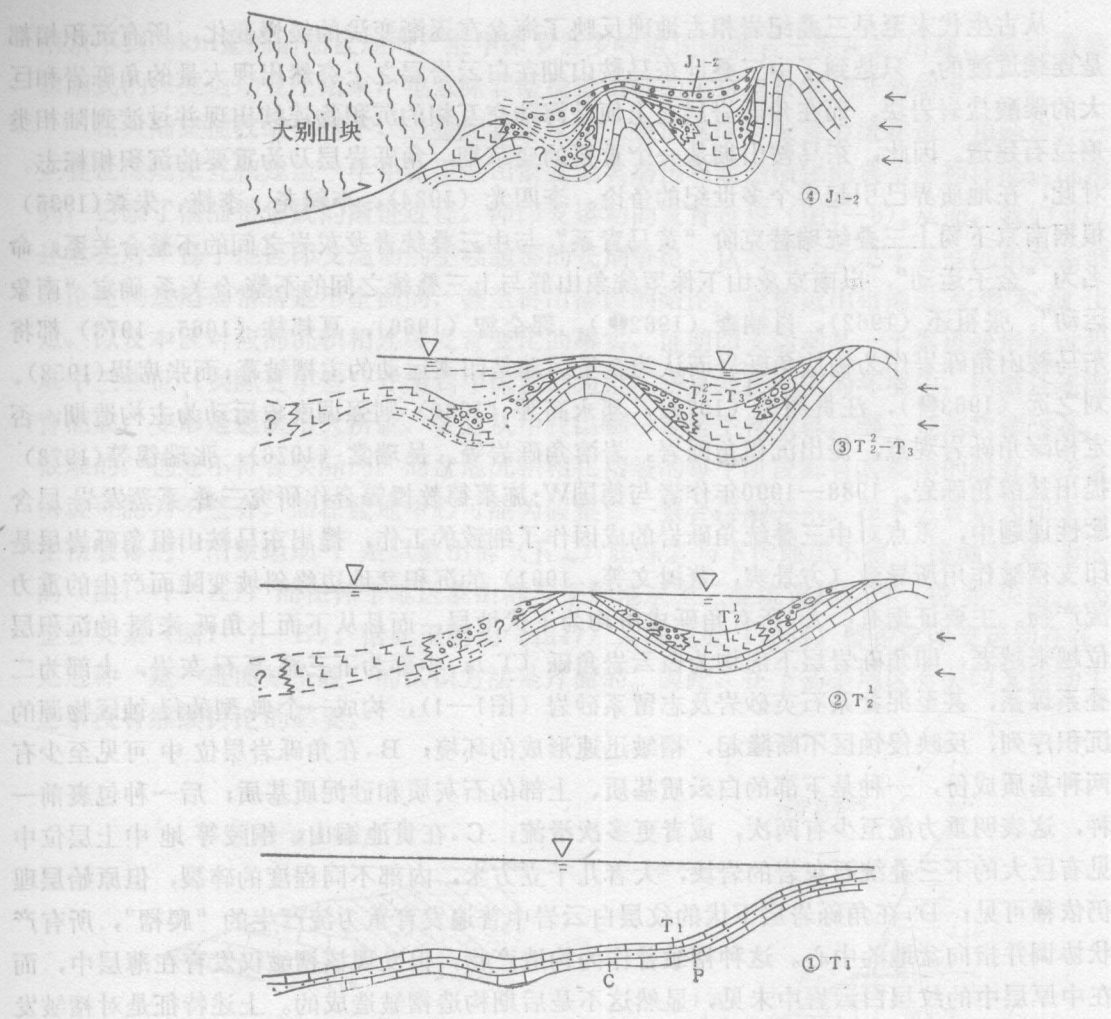


图 1-6 下扬子三叠纪盆地演化图

①—早三叠世；②—中三叠世早期；③—中三叠世晚期—晚三叠世；④—早—中侏罗世

终，随之卷入到中国东部华夏方向的（NE）裂解事件，控制在环太平洋构造带之下。主要地质现象有：一系列北东走向的半地堑红盆地（正断层箕状盆地）形成，沉积了几千米厚的陆相红层，夹有碱性岩浆岩侵入和喷发，并伴有区域性的上地幔隆起（长江地幔垫）。裂陷事件的扩张作用使原收缩期产生的前陆褶皱带肢离破碎，造成下扬子地区目前这种地垒与地堑相间的基本格局。

总之，中生代以来，两个构造事件，三期变形奠定了下扬子区的构造格架。

三、下扬子印支运动基本特征

印支运动是华北地块与扬子地块碰撞的构造期，在前陆带下扬子地域产生强烈的缩短作用，导致下扬子海盆地逐渐缩小，形成中三叠统蒸发岩系；海水退却沉积海陆交互相—陆相类磨拉石建造。三叠纪末—早中侏罗世的沉积环境演变和沉积相特征记录了印支运动褶皱的发育过程。然而，我们所研究的仅是原三叠纪盆地的近南侧次级盆地的残存部分，主盆地已被大别造山带和郯—庐断裂所超覆和破坏。

1. 印支褶皱的发动阶段——东马鞍山期角砾岩建造（ T_2d ）

从古生代末至早三叠纪岩相古地理反映了海盆在逐渐变浅的缓慢变化,所有沉积相都是连续过渡的,只是到了中三叠世东马鞍山期在白云岩层之上突然出现大量的角砾岩和巨大的碳酸盐岩岩块。而在角砾岩层之上便是海陆交互相的沉积物连续出现并过渡到陆相类磨拉石建造。因此,东马鞍山期是一个重要的变革期,角砾岩层乃为重要的沉积相标志。对此,在地质界已引起半个多世纪的争论。李四光(1934),李毓尧、李捷、朱森(1935)根据南京下蜀上三叠统瑞替克阶“黄马青系”与中三叠统青龙灰岩之间的不整合关系,命名为“金子运动”,以南京象山下侏罗统象山群与上三叠统之间的不整合关系确定“南象运动”。张祖还(1962),肖楠森(1962^①),郭全智(1966),夏邦栋(1965, 1973)都将东马鞍山角砾岩作为构造角砾岩而认为金子运动是印支运动的主褶皱幕;而张席提(1958),刘之远(1963^②),汪贵翔等(1974),邓永高等(1980)则强调南象运动为主构造期,否定构造角砾岩观点,提出沉积角砾岩、岩溶角砾岩等。吴瑞棠(1976),张瑞锡等(1978)提出盐溶角砾岩。1988—1990年作者与德国W·施莱德教授等合作研究三叠系蒸发岩层含盐性课题中,重点对中三叠统角砾岩的成因作了细致的工作,提出东马鞍山组角砾岩层是印支褶皱作用所导致(方景爽,董树文等,1991)的沉积盆地边缘斜坡变陡而产生的重力流产物。主要证据有:A.所有角砾成份均为下伏地层,而且从下而上角砾来源的沉积层位越来越老,即角砾岩层下部均为白云岩角砾(T_2);中部为下三叠系石灰岩,上部为二叠系煤系,甚至泥盆系石英砂岩及志留系砂岩(图1—1),构成一个典型的侵蚀区物源的沉积序列,反映侵蚀区不断隆起,褶皱迅速形成的环境;B.在角砾岩层位中可见至少有两种基质成份,一种是下部的白云质基质、上部的石灰质和砂泥质基质;后一种包裹前一种,这表明重力流至少有两次,或者更多次滑流;C.在贵池铜山、铜陵等地中上层位中见有巨大的下三叠统石灰岩的岩块,大者几千立方米,内部不同程度的碎裂,但原始层理仍依稀可见;D.在角砾岩层下伏的纹层白云岩中普遍发育重力流产生的“爬褶”,所有产状协调并指向盆地的中心。这种褶皱曾作为构造产物,但发现该褶皱仅发育在薄层中,而在中厚层中的纹层白云岩中未见,显然这不是后期构造褶皱造成的。上述特征是对褶皱发育初期阶段的反映,同时也是对印支运动发动阶段的记录。

2. 印支运动发展阶段——黄马青期海陆交互相建造(T_2)

印支褶皱加剧,海盆萎缩,海水进一步退却,陆源物质明显增多,形成上三叠统钙质页岩—砂岩—夹煤系的海陆交互相建造。此刻,南北大陆已连成一体,印支期褶皱已铸成。黄马青群沉积范围急剧缩小,仅沉积在已经褶皱盆地中心(向斜核部),呈狭长的带状断续分布在前陆带的拗陷内。最大宽度仅60km。

黄马青群本身的褶皱较中三叠及其以前的地层褶皱要弱些,但褶皱轴和运动方向仍然一致。

3. 印支运动定型阶段——象山群山前盆地类磨拉石建造(J_1-2)

碰撞作用仍在继续,褶皱进一步发育成倒转—平卧褶皱样式,地势继续抬升,海水全部消失转为陆相,前陆带业已形成。在褶皱倒转翼的拗陷区(山前盆地)堆积了近2000m厚的陆相沉积物,形成具底砾岩的类磨拉石建造。象山群分布更为局限,仅出露在安庆—

① 肖楠森, 1962, 宁芜地区中生代陆相地层和地质构造特征, 中国地质学会1962年年会论文摘要汇编

② 刘之远等, 1963, 苏南印支运动性质的几个问题讨论, 江苏地质学会1965年年会论文汇编