

扬子地区盆褶山系深部结构的动力学探究^①

范小林 陆国新 蒋洪堪

(地质矿产部石油地质中心实验室, 无锡 214151)

本文根据地震测深、大地电磁测探、大地热流测量资料整理汇编成有关图表, 结合区域地质与岩石学研究成果进行对比, 综合分析扬子地区岩石圈物性特征(波速、密度、电阻率、大地热流值)所反映的结构与构造特征, 探索该区自中生代以来, 在新全球构造体制下的盆褶山系形成、演化的动力学条件。

关键词 扬子地区 盆地与造山带 深部结构 地动力学条件

第一作者简介 范小林 男 40岁 工程师 石油物探

0 前言

扬子地区近代隶属于欧亚板块东南缘与西太平洋(菲律宾)板块西缘及印度板块北(东)缘相接壤的典型构造区。该地区自10亿年前左右的晋宁运动组成扬子克拉通以来, 曾经历了“两个世代”和“两种构造运动体制”(朱夏, 1986)下的离散与聚合构造活动作用。新生代以来, 本区处于“新一轮造山运动的初始阶段”(Aubouin, 1990)而使得岩石圈挠曲形变生成扬子盆褶山系。因此, 探讨本地区岩石圈板块动力学演化与盆褶山系形成过程有直接的关系。近年来, 作者初涉地质-地球物理综合研究岩石圈板块内部构造结构与盆褶山系之间的联系, 设想有可能“为油气盆地研究开创新思路”(朱夏, 1990)。

1 扬子地区岩石圈地球物理特征

1.1 重磁异常特征

本区重磁异常特征总体表现为低缓负背景。重力场值大致在 $-20 \sim -200 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$; 磁力异常除沿海地区为NNE正、负剧变场外, 大部分呈 $-50 \sim +100 \text{nT}$ 平缓升高背景。区内展布沿海、武陵、龙门三条重力梯度带。盆地大都呈相对重磁高异常, 褶山系则反之(前者如四川盆地, 后者如湘黔山系)(同注一)。

1.2 波速特征

地震测深成果揭示(中国地球物理学会, 1990; 张洪荣, 1990; 秦葆瑚, 1991; 廖其林等, 1990)出如图1所示区内壳幔波速结构纵侧向不均一性。地壳多为三层结构。其中四川、江

^① 地矿部75-054-02-01-01-05专题“扬子地区区域地球物理场的综合地质解释和深部地质组成”部分成果。参加该项工作的还有吴健生、王家林、赵海玲、邓晋福等

汉两盆地呈四层结构。莫霍面埋深除西部大于 35km 外,平均在 30~32km 左右。波速结构以埋深不一断续分布的壳内低速层为特征,地壳平均波速略小于前人所述结果($\bar{V}_p=6.5\text{km/s}$)。总体上盆地 \bar{V}_p 值高于褶皱山系。上地幔顶部波速亦是盆地区高于褶皱山系区。

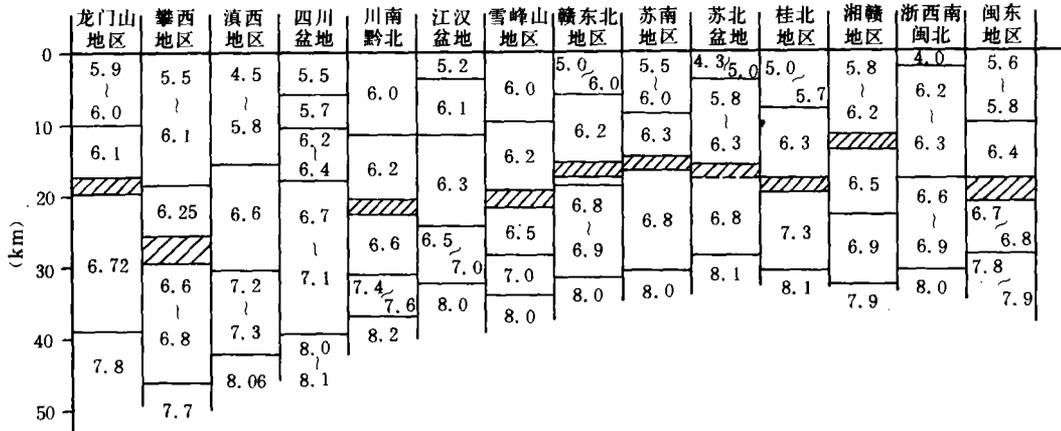


图1 扬子地区地壳上地幔波速特征

($V_p = \text{km/s}$)

阴影部分为低速层 5.6~6.0km/s

1.3 大地电磁测深(MT)

MT 结果^{①②}(中国地球物理学会,1990;张洪荣,1990;蒋洪堪等,1990;邓前辉等,1990)表明该区地电特征主要表现出壳内低阻层分布于盆缘褶皱山区,鄂西、攀西、龙门山地区在接近地壳中下部存在低阻层。全区地电特征由图 2 大致代表。电性结构在侧向上表现为川(黔)鄂(中)苏(北)上地幔为高阻层 $\rho = n \times 10^3 \sim n \times 10^4 \Omega \cdot \text{m}$,其他地区为中或高阻层 $\rho = 1000 \sim 5000 \Omega \cdot \text{m}$ 。上地幔低阻层埋深 80 至 $>200\text{km}$ 不等。

1.4 地热测量

区内少量地热调查成果(中国地球物理学会,1990;秦葆瑚,1991)^③整理汇编成如图 3 所示热流值分布。由图看出,沿海一带高热流值($60 \sim 90\text{mW/m}^2$)向大陆内部递减,湘黔川地区大部为 $30 \sim 50\text{mW/m}^2$ 中低热流分布区。川鄂苏三大盆地较高热流值(常值为 $55 \sim 80\text{mW/m}^2$)展布区。浙皖与粤桂热流值亦有升高趋势。

综上所述地球物理特征与地表盆褶皱山系存在各自的相关性,是近代岩石圈结构的反映。

2 岩石圈结构与深部构造特点

上述地球物理特征可以反映该区岩石圈结构与深部构造特点。鉴于资料有限且结合现

① 地质矿部 75-054-02-06-08 专题报告,1990

② 地质矿产部第六物探大队“七五”科技论文集,1991

③ 金昕,川湘桂地区地热流调查报告,1989

有岩石地化研究成果(赵海玲等, 1990)大致分析如下。

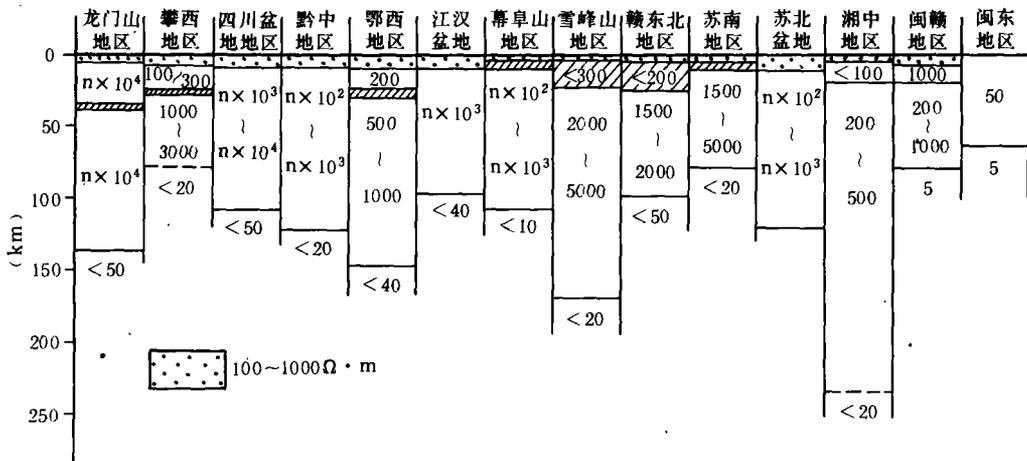


图2 扬子地区岩石圈电性特征

阴影部分为低阻层 ($\le 20 \sim 50 \Omega \cdot m$)

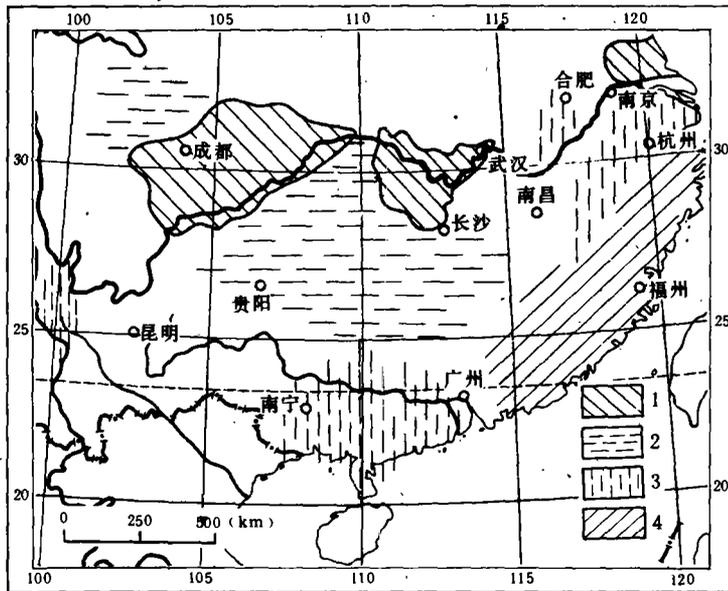


图3 扬子地区大地热流分布示意图

1. 盆地高热流值 ($55 \sim 80 \text{ mW/m}^2$);
2. 褶皱山系低热流值 ($30 \sim 50 \text{ mW/m}^2$);
3. 褶皱山系高热流值 ($60 \sim 70 \text{ mW/m}^2$);
4. 沿海褶皱山系高热流值 ($65 \sim 90 \text{ mW/m}^2$)

2.1 上地幔岩石圈结构与底界起伏

地热资料^①反演得到镁铁质岩石圈地幔岩熔熔点(1200℃~1400℃)与 Sengor 提出大陆边缘岩石圈底界温度(1300℃)相近,其深度与 MT 反演结果(中国地球物理学会,1990;张洪荣,1990;秦葆瑚,1991;蒋洪堪等,1990;邓前辉等,1990;蒋洪堪,1990;江钊等,1990;罗志琼,1990)^②(图4)相近。图示岩石圈底界面反映出因此地幔岩物质不均性至少在 30~150(200)km 深度范围内而呈现出起伏(挠曲)现象。湘黔桂地区 SN 展布梨状增厚与滇川(鄂)NE—NEE 弧形减薄尤为显著,分别对应地表褶山系与盆地。下扬子呈 NNE“独立”变异区。

地震波速(含其反算密度)与岩石地化结果^③(赵海玲等,1990)对比后共同推断该地区上地幔岩石圈组分为双结构:自莫霍面到 60km 以尖晶石二辉橄榄岩占优势(7.8~8.2 km/s, 3000~3100kg/m³),80~120(200)km 之间为石榴子石二辉橄榄岩占主导(8.4~8.6km/s, 3200~3300kg/m³)。60~80km 间为尖晶石相到石榴子石相转换层位。

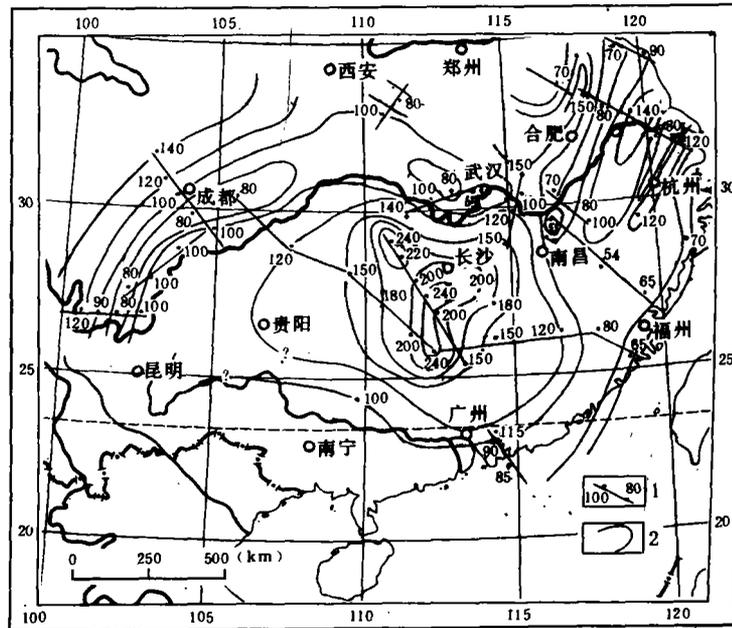


图4 扬子地区岩石圈底界等深图

1. MT 剖面与岩石圈底界埋深(km); 2. 上地幔岩石圈底界等深线

2.2 地壳结构与莫霍面展布

据地震测深结果,本区三(四)层地壳结构被埋深在 18~20km 左右的壳内低速层分割成上壳(双层或多层)厚约 20~22km 和下壳(单层)厚约 10~12km,呈厚上壳、薄下壳特点。上壳由角闪岩相层(结晶基底)、绿片岩相(浅变质岩系)及沉积岩组成。下壳为高角闪岩相(部份麻粒岩相)岩石组成。代表上下壳之间构造滑脱层(面)的低速层归于下壳。

① 金昕,川湘桂地区地流调查报告,1989

② 地质矿产部中南石油地质局,湖南大庸—资兴 MT 试验报告,1983

③ 地质矿产部 75-054-02-01-01-05 专题报告,1990

本区地壳平均波速($V_p=6.3\sim 6.4\text{km/s}$)不算高,说明地壳固结程度弱。上地幔顶部波速与地表盆褶山系相关而显示出侧向差异。因此,在“东西锋线”(朱夏,1986)相互制约下的扬子地区莫霍面受均衡效应影响形成了隆凹相间的起伏。该“年轻”的M面总体上认为起伏不大。小尺度细分则反映出M面起伏以NE、NNE向为主,EW和NW次之。黔湘南部及粤桂一带就是近EW慢拗-慢隆展布(图5)。

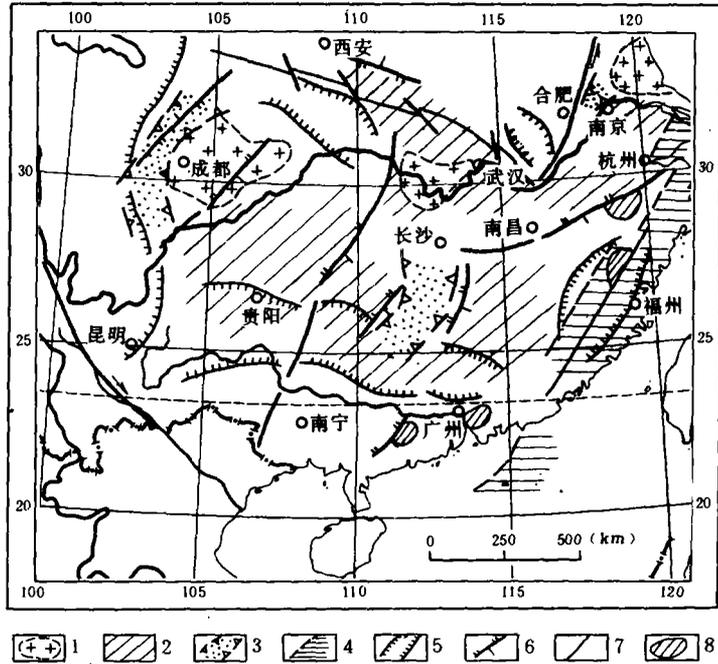


图5 扬子地区深部构造推断示意图

1. Ar(?)—Pt, 结晶基底; 2. 塑性地幔块体; 3. 岩石圈增厚区; 4. 岩石圈减薄区; 5. M面拗陷; 6. 深部冲断层; 7. 深断裂; 8. 移置地块

2.3 扬子地区深部构造格架

由MT测深、地震测深、重磁震联合解释推断得出如图(5)所示的深部构造格架。MT表明在川鄂盆地深部存在高阻地幔块体(刚性), 褶山系地区普遍为塑性地幔块体。沿海为岩石圈减薄区。在川西湘中为地幔岩石圈增厚区。航磁推断本区存在古老结晶基底及可能为古生代就增生于扬子地区东南域的零星“异地块”镶嵌在岩石圈内。另外, 地震测深还证实深部同样存在与地表地质构造迹象类似的逆冲断层。

3 扬子地区盆褶山系形成演化与地动力学

深部构造制约浅部构造, 岩石圈结构的不均匀性又制约着地表地质构造的几何形态。因此, 根据上述岩石圈结构与深部构造的特点可以探究本区盆褶山系形成演化与地动力学条件。

本区曾经历“两个世代”(朱夏, 1986)的构造活动, 在此所论述的盆褶山系是指后一世代所形成的。图6概略地代表了本区自进入后一世代“新全球构造运动”(朱夏, 1986)时期以

来,受“东西锋线”(朱夏,1986)作用产生的变格之后形成构造几何形态。中生代早期,随古特提斯洋壳的消亡,其壳下地幔物质相对欧亚大陆(当时扬子地区已成为欧亚大陆的一部分)壳下地幔物质作NNE蠕散并两者相遇后产生了近南北向挤压,形成近东西向构造体系。图6A可大致代表该时期“体制”下的力源机制在现代扬子北缘岩石圈断面上的体现。图中显示出因扬子地台深部岩石圈地幔向北俯冲导致华北地台基底沿商丹和灵宝断裂呈“弹出”

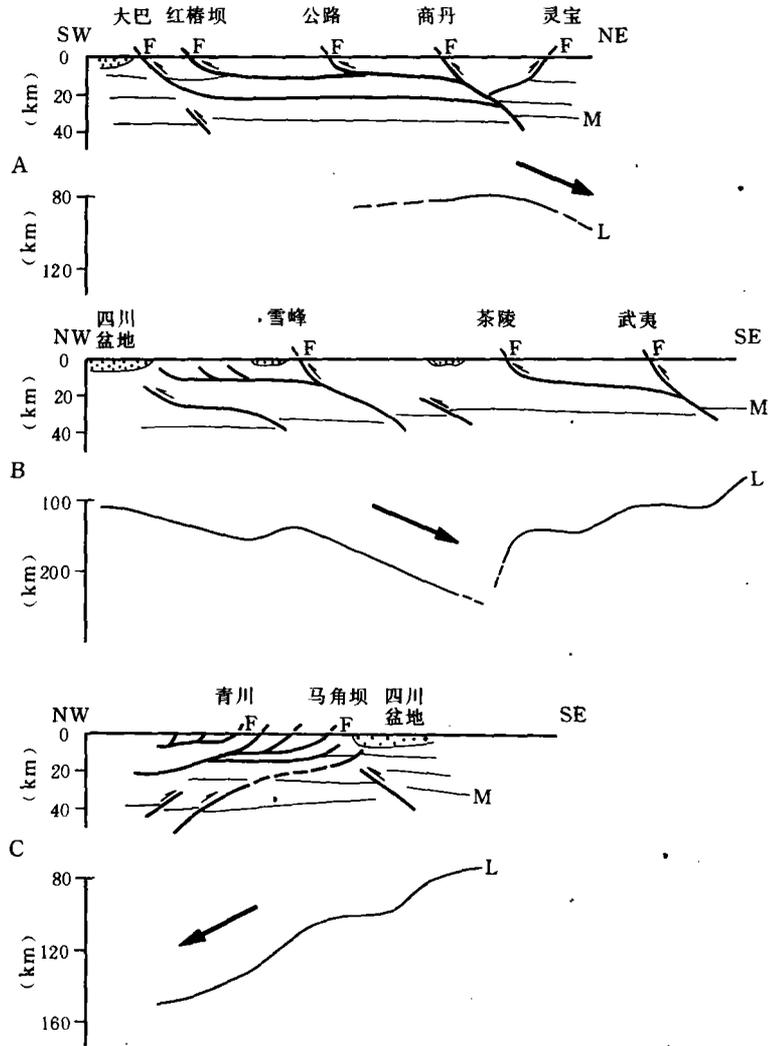


图6 扬子地区典型岩石圈断面几何形态与力源机制示意图

(据地矿部 75-054-02-01-01-05 专题报告改编)

粗黑箭头表示岩石圈地幔俯冲方向

(pop-up)构造且部份南叠掩于扬子地台盖层之上就是反映了南北向挤压在该处长期发育引起陆内敛合“榨挤”(朱夏,1990)之结果。并由此波及扬子地台盖层形成南秦岭北大巴南冲、

褶山系与川东北盆地。中生代晚期,西太平洋(菲律宾)壳下地幔流往北西与因印度和欧亚两大陆碰撞产生的壳下“联合”地幔流往南东相遇在雪峰山地区,导致南东—北西挤压应力场作用下本区北东向为主,北北东向次之的构造体系。图6B揭示了横截该体系残留于扬子东(南)缘岩石圈内部的构造几何形态及该时“体制”下的力源机制在现代的表现:扬子地台北部岩石圈地幔往南东“潜没”(朱夏,1986),浅部地壳(地表)与其相匹配发生层间系列北西指向逆冲叠掩,从而形成雪峰—川东褶山系和川东(南)盆地。新生代以来,扬子地区壳下地幔物质流受喜山(青藏高原)崛起,菲律宾海(南海)扩张,台湾东部褶山系生成的构造作用控制而发生相互扰动蠕散,导致该地区作整体“旋转”形成北北东为主,北西(西)次之的构造体系。类似于上述情形,图6C、B东段表示该时期“体制”下扬子西缘岩石圈地幔往南西俯冲,岩石圈壳层向南东仰冲形成松甘褶小系与川西盆地和扬子东南缘岩石圈减薄,地热增高,地表多系新生代火山岩分布与拉分断陷盆地及向南西逆冲叠覆褶山系。

综上所述,本区盆褶山系形成演化的动力学条件主要是板内地幔物质的会聚或蠕散(伸展)。图7大致代表了本区在“后一世代”体制下盆褶山系形成与深部作用相联系的框架。“东西锋线”作用下,壳下岩石圈地幔在软流圈会聚(伸展)拖曳下相对周缘作陆内俯冲潜没,同时因壳幔岩石圈本身不均匀呈重力不稳定性而产生了壳幔脱节(detachment),壳内层体沿低速(阻)层滑移(slide),壳浅层以消失于低速(软弱)层的“犁式”断层为依托的大型叠掩逆冲,从而形成了近代地表地质景观:盆褶山系。

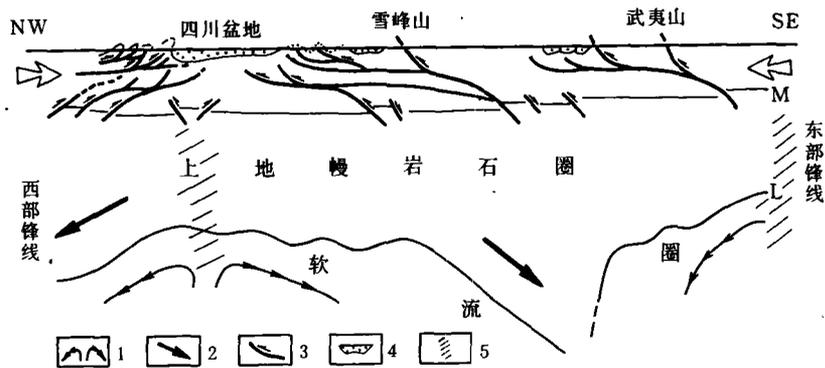


图7 扬子地区地球动力学模式

1. 软流圈地幔运动方式; 2. 岩石圈地幔俯冲方向; 3. 壳内冲断层; 4. 中生代盆地; 5. 地幔高温带

感谢张渝昌教授历年来的悉心指导,蒋洪堪高级工程师提供了宝贵的资料,以致本文得以顺利完成,在此表示谢意。

(收稿日期:1991年11月11日)

参 考 文 献

- 1 朱夏. 朱夏论中国含油气盆地构造. 北京: 石油工业出版社, 1986
- 2 朱夏. 中国含油气盆地形成、发展机制及其对油气生成、运移、聚集的控制作用(代序). 板块大地构造与含油气盆地, 上海: 同济大学出版社, 1990
- 3 中国地球物理学会编辑. 中国地球物理学会年刊. 北京: 地震出版社, 1990
- 4 张洪荣. 川西北龙门山-邛崃山地壳-上地幔的结构构造特征. 四川地质学报, 1990, 10(2)
- 5 秦葆翊. 台湾-黑水地学大断面所揭示的湖南深部构造. 湖南地质, 1991, 10(2)
- 6 朱良葆等. 江西永平爆破北西测线再解释. 地球物理学报, 1987, 30(2)
- 7 蒋洪塔等. 湖北麻城-九宫山剖面深部地质特征初探. 物探与化探, 1990, 14(5)
- 8 邓前辉等. 湖北襄樊-福建罗源的大地电磁测量与地壳上地幔电性特征研究. 地震地质, 1990, 12(2)
- 9 赵海玲等. 中国东南沿海地区上地幔深部作用特征. 中国上地幔特征与动力学论文集, 北京: 地震出版社, 1990
- 10 蒋洪塔. 十堰-洛阳大地电磁测深观测结果. 物探与化探, 1990, 14(4)
- 11 江钊等. 江苏响水-内蒙满都拉地壳上地幔电性结构初探——地学断面研究报道之三. 地震地质, 1990, 12(3)
- 12 罗志琼. 开封-灵璧大地电磁测探研究. 地球科学——中国地质大学学报, 1990, 15(增刊)
- 13 朱夏. 中国中生代沉积盆地构造发展述略. 中国中生代沉积盆地, 北京: 石油工业出版社, 1990
- 14 Aubouin J. The West Pacific Geodynamic Model. *Tectonophysics*, 1990, 183:1~7
- 15 Sengör AMC. Plate Tectonics and Orogenic Research after 25 years, A Tethyan Perspective. *Earth-Science Reviews*, 1990, 27(1/2)
- 16 廖其林等. 福州盆地及其周围地区地壳深部结构与构造的初步研究. 地球物理学报, 1990, 33(2)

ON THE DYNAMIC RESEARCH OF THE DEEP-SEATED STRUCTURE FOR THE BASIN-FOLD-MOUNTAIN SYSTEM IN YANGTZE AREA

Fan Xiaolin Lu Guoxin Jiang Hongkan

(Central Laboratory of Petroleum Geology, MGMR)

Abstract

According to the data of seismic sounding, magnetotelluric sounding and the geothermal flow measurement, a variety of planimetric maps and diagrams have been charted. Compared with the results of the regional geology and lithology research, the characteristic of the physical properties of the lithosphere (velocity, density, resistivity, heat flow etc.) in Yangtze area have been analyzed comprehensively. This paper has also researched the dynamical condition of the basin-fold-mountain system formed and evolved under new global tectonic regime since Mesozoic.