

文章编号:0253-9985(2008)05-0597-10

扬子板块中、古生代盆地的改造变形

丁道桂,潘文蕾,彭金宁,陆永德

(中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所,江苏 无锡 214151)

摘要:扬子板块内海相中、古生代盆地自中三叠世末以来,经历了3期不同性质构造作用的改造变形。首先是在中三叠世末—早、中侏罗世的印支运动期,江南—雪峰基底拆离体由南东向北西方向(同时派生由南向北,由东向西的方向)的逆冲推覆,以及后缘弹性松弛的断陷构造作用的改造,使得海相中、古生代盆地发生了第Ⅰ期的由强及弱递进衰减的逆冲—褶皱变形。继而在晚侏罗世—早白垩世的燕山运动期,叠加了第Ⅱ期以郯庐断裂带为代表的NNE向大陆平移走滑构造的简单剪切,以及拉分断陷构造作用的改造变形。之后在晚白垩世—古近纪的喜马拉雅运动期,下扬子区在由南向北的伸展拆离与多米诺式拉张断陷构造作用下,受到了第Ⅲ期的变形改造。这3期构造变形作用促使了扬子板块海相油气的早期聚集、晚期热演化和再分配。

关键词:基底拆离;逆冲—褶皱;走滑拉分;伸展拆离;中、古生代;扬子板块

中图分类号:TE121.1

文献标识码:A

Transformation and deformation of the Meso-Paleozoic basins in the Yangtze Plate

Ding Daogui, Pan Wenlei, Peng Jinning, Lu Yongde

(Wuxi Petroleum Geology Research Branch of SINOPEC Petroleum Exploration and Production Research Institute,
Wuxi, Jiangsu 214151, China)

Abstract: The Meso-Paleozoic basins in the Yangtze Plate experienced three episodes of transformation and deformation of different tectonic actions since the end of the Middle Triassic. The first episode occurred in the Indo-Chinese epoch from the end of the Middle Triassic to the early Middle Jurassic, when the SE-NW overthrusting of the Jiangnan-Xuefeng basement detachment body (with the induced S-N and E-W overthrusting) and the transformation of faulted depression with resilient relaxant trailing edge caused the progressively decreasing thrusting-folding deformation of the Meso-Paleozoic marine basins. The second episode occurred in the Yanshan epoch from the Later Jurassic to Early Cretaceous, when the basins were overprinted with simple shear caused by the NNE-trending horizontal strike-slip structures (represented by the Tan-Lu fracture zone) and deformation induced by pull-apart and faulting tectonic mechanisms. The last episode occurred in the Himalayan epoch from the Later Cretaceous to the Paleogene, when the Lower Yangtze area experienced transformation and deformation caused by S-N extension and detachment as well as domino type pulling-apart and faulting structures. These three episodes of transformation and deformation facilitated the early accumulation, later thermal evolution and re-distribution of marine oil and gas in the Yangtze Plate.

Key words: basement detachment; thrusting-folding; strike-slip and pull-apart; extension and detachment; Meso-Paleozoic; Yangtze Plate

刘光鼎院士在论述前新生代残留盆地油气资源的勘探前景时曾指出^[1]:“在中国海陆区内,除

收稿日期:2008-08-10。

第一作者简介:丁道桂(1946—),男,教授级高级工程师,盆地构造。

了新生代陆相碎屑岩沉积之外,前新生代还有广泛的海相碳酸盐岩分布,它们具有同样甚至更好的生油条件;只是在中生代时期大规模的造山运动中遭受了强烈挤压、改造,以致有些油气藏已经抬升地表,受到剥蚀破坏,但是在辽阔的中国大地必定还有许多未遭受破坏的残留盆地,尽管它们在基底拆离,逆冲推覆的挤压作用下,已经失去了盆地的形态,却仍然能保留大量的油气资源”。近年来在川东北地区普光、毛坝场等一批大型海相气田的发现,确证了这一论断前瞻性的指导意义。

扬子板块海相中古生代盆地主要经历了3期不同性质构造作用的改造变形。

1 第I期:中三叠世末一早、中侏罗世基底拆离式逆冲推覆构造及后缘弹性松弛断陷作用

导源于古特提斯洋在中三叠世末碰撞关闭的印支运动,扬子板块在受到挤压作用并向北、西俯冲与碰撞缩短的过程中,由于板块的挠曲,在板内中、上地壳内发生了基底拆离的构造作用,形成了江南-雪峰,马关-河江等大型拆离推覆体。并且发生由南东向北西方向(同时派生由南向北、由东向西的方向)水平推挤运动,成为扬子板内中、古生代盆地改造变形最主要的动力学来源(图1)。

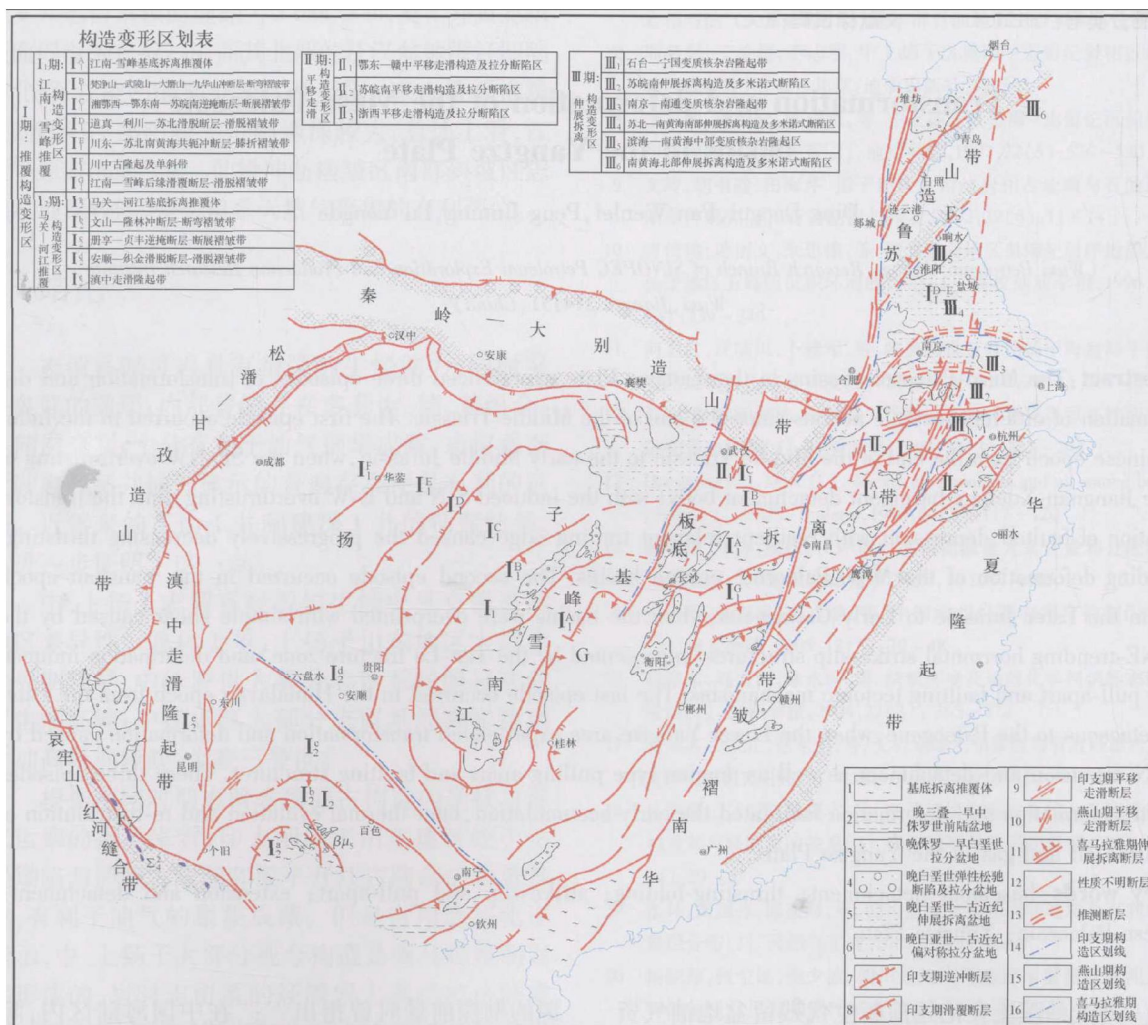


图1 扬子板块3期构造变形区划简图

Fig. 1 Simplified map Showing the deformed areas during the three episodes in Yangtze Plate

1.1 江南-雪峰基底拆离构造及板内递进变形

大陆板块壳内基底拆离式(basement decoupling)构造的形成机制是:通常大陆岩石圈负载年龄决定了最大有效弹性厚度的上限值。但是许多根据实际探测资料模拟的有效弹性厚度值远低于这个水平。这说明曾发生过某些与板块年龄无关的弱化作用。其机制可能与弹性板块在某一深度上(比如说二分之一有效厚度处)存在着的拆离作用有关。它把大陆板块的地壳拆离分成上、下两层,彼此独立地发生挠曲变形。由于大陆板块不同深度其流变学的性质不同。上地壳和上地幔遵循拜尔利(Byerlee)脆性变形定律。而下地壳则因温度作用而发生韧性蠕变变形。板块在俯冲过程中,当板块挠曲度较小时,构造应力极少超过板块破裂极限,有效弹性厚度几乎与板块厚度完全相同;当弯曲到曲率较大时,挠曲应力使弹性的上地壳与韧性的下地壳之间超过破裂极限而产生破裂,导致形成拆离带。这时有有效弹性厚度减少一半。因此较大的挠曲应力作用和曲率是基底拆离构造形成的力学机制。受上、下地壳之间韧性剪切拆离带的影响,是导致大陆板块强度减弱易发生变形的原因。

古特提斯洋的关闭使扬子板块由南东向北西方向的东昆仑—松潘—甘孜—秦岭—大别—苏鲁印支造山带俯冲消减的过程中,随着挠曲度的不断增大,在板内上、下地壳之间产生破裂拆离带,形成江南-雪峰基底拆离推覆体。而马关—河江基底拆离体,则是扬子板块西南部边缘上,在碰撞作用下形成的大型推覆体。

1.1.1 江南-雪峰基底拆离构造

对于江南-雪峰基底拆离体,朱夏曾认为^[2]:“这里的活动是在硅铝层底面上,在大陆岩石圈内拆离的结果,未曾涉及到洋壳”。并指出:“这种多层次盖层推掩和基底拆离的结合是薄壳构造的一种类型,但它是在没有洋壳和地槽的条件下发生的”。因此,不能将江南-雪峰带视作为“造山带”。整个江南-雪峰基底拆离带被燕山运动期NNE走向的洪湖—湘阴、湖口—南昌—崇义平移走滑断裂带分为雪峰山、幕阜山和怀玉山—障公山3个推覆体。它们分别向西、北西、北方向长距离的水平推挤运动,成为扬子板内海相中、古生代盆地

递进改造变形的主要动力学来源。

在中、上扬子区的雪峰山,从万县—桃源MT大剖面上^[3]可以看出,雪峰山下的中、上地壳内有两个壳内高导层。一个位于8~10 km深度,代表了中、上元古界绿片岩相变质程度板溪群和冷家溪群与中、下元古界角闪岩相变质岩系之间的岩石密度与物性转换面,也就是“软弱”的拆离面;另一个位于约20 km深度,代表中—下地壳角闪岩相变质岩系与下元古界麻粒岩相结晶基底之间的转换界面,它既是主导了江南-雪峰基底拆离体的主导性滑移面软弱带,同时也是导致壳内剪切重熔的热动力变质的韧性剪切带。在这个滑移面上被剪切重熔形成的花岗质岩浆大多沿着逆冲断层向上侵入到中、上地壳中,如九宫山岩体(r_5^3)、监利桃花山岩体(r_5^3)等。

在江南-雪峰带,莫霍面的埋藏深度约为37 km,从中、上杨子的湘鄂西至雪峰山,莫霍面性状表现为略为向西倾的平坦直线,在雪峰山下既没有“山根”,也没有中、上扬子克拉通地壳向雪峰山陆内“A式俯冲与潜没”现象与痕迹。在山前更没有形成挠曲下凹的“前渊”(foredeep),因此,江南-雪峰不是“陆内造山带”,只是扬子板块壳内基底拆离体。

近来由中石化南方勘探开发分公司施工的反射地震剖面在凯里—台江段已证实中、上元古界板溪群由东向西推覆在下二叠统地层之上,雷山—台江冲断片相对水平位移达37.5 km。确证了江南-雪峰带属于基底拆离的构造属性。

在中扬子南缘的幕阜山推覆体内,我们所测制的黄石—九岭—武功山构造地质大剖面^[3]在修水县城北的辽山和清水岩等地,发现了覆盖在中元古界双桥山群($Pt_{2+3}sj$)之上的从震旦系、寒武—志留系、泥盆系—下三叠统连续沉积完整的中古生代地层。上、下古生界之间呈现假整合—整合接触,并无加里东的褶皱运动。因此,江南-雪峰带也不是加里东运动的“古陆”,它的推覆与隆起只是中三叠世以来的构造事件。

在下扬子区的皖南障公山前缘,从东至县良田村到黟县郭村,中元古界上溪群暗绿色砂泥质板岩逆冲在下震旦统休宁群紫红、灰绿色含砾砂板岩之上。休宁群又向北逆冲在上震旦统雷公坞组含砾冰碛泥岩层、蓝田组条带状灰岩和皮园组灰黑色条

带状厚层硅质岩层之上。整个震旦系又向北逆冲在下寒武统荷塘组黑色含碳、磷云岩与薄板块含碳质灰岩层之上。构成宽约 300~1 000 m 延伸约 80 km 以上的,由若干冲断岩片组成的叠瓦状逆冲断层。主断面为宽约 30 m 的碎裂岩-糜棱岩带,产状为 $170^{\circ} \angle 82^{\circ}$ 。指示由南向北的推覆方向。下盘的寒武系地层形成轴向近 EW 的褶皱(图 2)。

1.1.2 扬子板内海相中、古生界盆地的递进变形改造

在江南-雪峰基底拆离推覆作用下,扬子板块海相中、古生代盆地发生了由强及弱,由早至晚,由深到浅的递进(衰减)的逆冲-褶皱变形。按照主要逆冲断层性质与产状,褶皱类型、变形发生时间、主要拆离面-滑脱层的深度,以及水平位移量和压缩变形量,在扬子板块内从江南-雪峰基底拆离体两侧到川中古隆起区,划分 7 个主要变形区带(图 3)^[4],其构造特征见表 1。

1.1.3 江南-雪峰基底拆离推覆体后缘弹性松弛的断陷作用

弹性松弛断陷作用所形成的盆地通常是位于

迭瓦状推覆体岩片的上盘之中或后缘(图 4 中模型 3)。例如武陵山后缘的沅陵-麻阳盆地(K_{1-2})、雪峰山后缘的衡阳盆地(K_2-E)、幕阜山后缘的宜丰-高安盆地(K_2)、障公山后缘的屯溪-休宁盆地(J_3-K_2)、怀玉山后缘的弋阳-广丰盆地(K_2)等(图 1)。对于这一类中生代陆相红盆的成因,Royden L H(1985)^[5]曾用发育在阿尔卑斯-喀尔巴阡山异地逆冲推覆体上盘的维也纳盆地进行模型分析,认为这一类盆地是形成于岩石圈缩短背景上的断陷盆地。由于断陷是薄皮的,下地壳和地幔并不受地表拉张的影响,因此在盆地下面并没有热异常。由于深部没有热扰动,也就没有拉张后的热沉降。根据我们在野外观测的结果,控制此类盆地沉降的边界断层大多具有早期逆冲形成剪切透镜体和糜棱面理,后期指示反向下滑的脆性破劈理和擦痕线理的构造特征。因此其拉张断陷的成因应是:基底拆离的推覆体沿前缘的主断裂带向前快速水平运动后,在其后侧的前冲分支断层间的块体,由于弹性松弛作用而发生重力反向下滑的断陷作用。这类盆地只位于大型推覆体底面拆离面或滑脱断层之上盘,断陷深度和沉降幅度小于推覆体岩片的厚度。一般为 4 000~

表 1 扬子板块内递进变形构造特征^[4]

Table 1 Progressive intraplate deformation characteristics of the Yangtze Plate

构造单元	江南-雪峰基底拆离带 (I_1^A 带)	梵净山-武陵山-大磨山-九华山冲断层-断弯褶皱带 (I_1^B 带)	黔中-湘鄂西-鄂东-宁镇逆掩断层-断展褶皱带 (I_1^C 带)	利川-道真、苏北滑脱断层-滑脱褶皱带 (I_1^D 带)	川东共轭冲断层-膝折褶皱带 (I_1^E 带)	川中古隆起及单斜带 (I_1^F 带)	赣中-湘中-桂东后缘滑覆断层-滑脱褶皱带 (I_1^G 带)
变形时间	中二叠世末	晚三叠世-早侏罗世	中、晚侏罗世	晚侏罗世末	早白垩世末	晚白垩世	晚三叠世-早侏罗世
主要拆离面-滑脱层	17~20 km, 7~10 km 深度两个壳内高导层	7~10 km 深度壳内高导层	7~10 km 深度壳内高导层及 Z- ϵ_1 底、 S_1 底滑脱层	ϵ_1, S_1, P_1 底为主要滑脱层	S_1, T_2 底为主要滑脱层	无层间滑动	S_1 与 P_1 底为主要滑脱层
断层性质与产状	大型脆-韧性剪切断裂带	叠瓦状高角度($>65^{\circ}$)冲断层	$30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 中等倾角的逆掩断层	犁式低倾角($<30^{\circ}$)滑脱断层	褶皱核部小型共轭冲断层	无断裂活动	勺状重力滑覆断层
褶皱类型	相似褶皱不协调褶皱	等厚的同斜倒转的断弯褶皱	不对称的等厚断展褶皱	偏对称-对称的滑脱褶皱	弯滑作用下的膝折尖棱、箱状、挠曲等褶皱	无褶皱作用	不对称-倒转滑脱褶皱
水平位移量	极大(>200 km)的累计位移量	较大(100~200 km)累计位移量	中等(50~100 km)累计位移量	较小(50~30 km)累计位移量	极小(<30 km)累计位移量	无明显水平位移	中等-较小(50~30 km)累计位移量
压缩变形量, %	>70	50~70	30~50	20~30	<20	<10	20~50

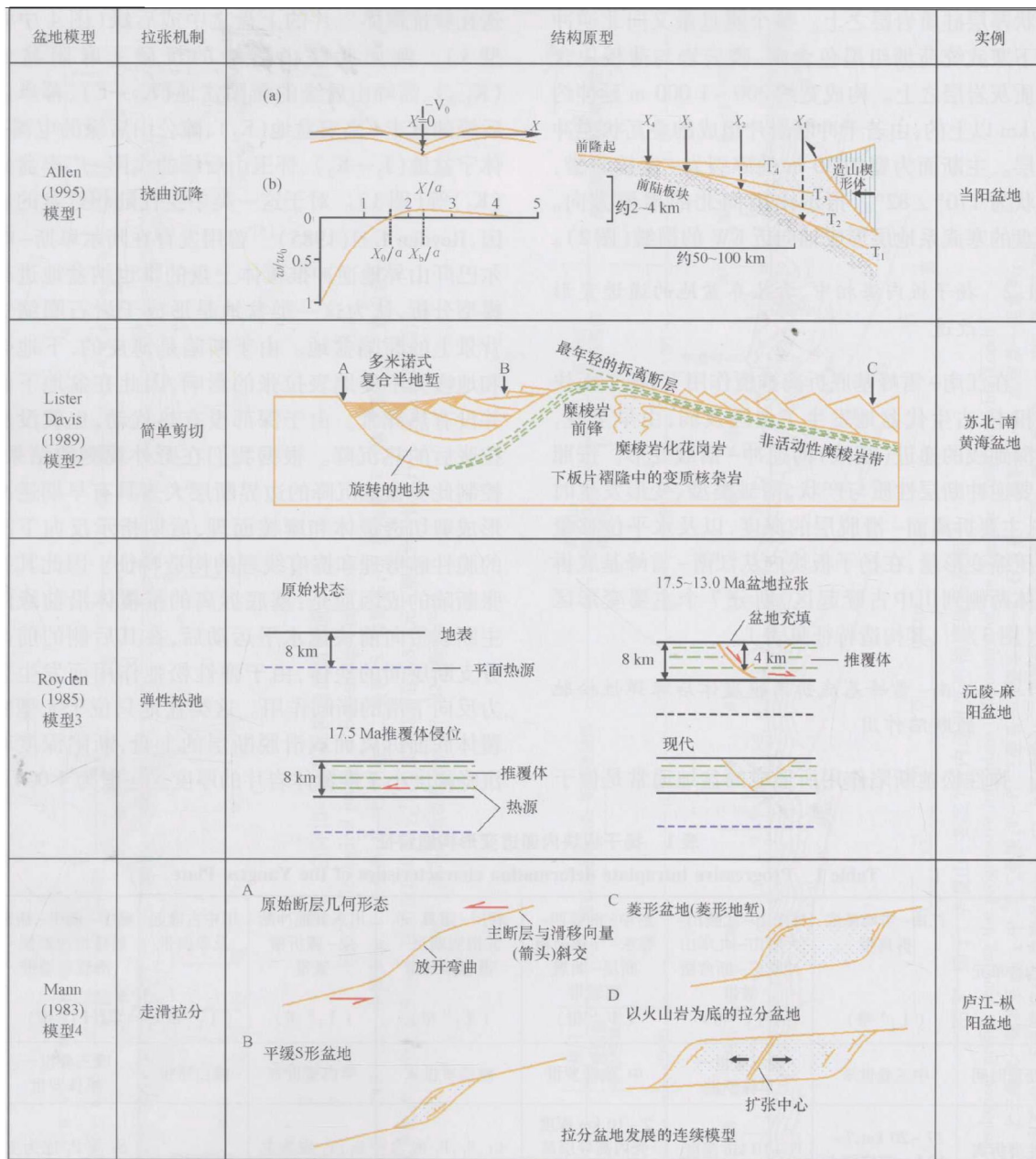


图4 扬子板块中、新生代陆内拉张盆地原型与分类

Fig. 4 Prototypes and classification of the Meso-Cenozoic intracontinental extensional basins in the Yangtze Plate

5 000 m。而沉积物多为近源的山间河流冲积相的粗碎屑砂砾岩。盆地的平面分布范围也局限在基底拆离体的范围之内,盆地的长轴垂直于推覆体的逆冲方向。由于盆地大多属于快速堆积过补偿的粗碎屑岩,因而缺乏有利的烃源条件。

1.2 马关-河江基底拆离构造及板内递进变形

位于哀牢山-红河古特提斯洋缝合带北侧、扬

子板块西南缘的马关-河江基底拆离体,是由越南北部的上元古界绿片岩相变质板岩构成,向 NNE 方向凸出的基底拆离体。前缘为弧形倾向 SSW 的越南宿静-太原韧性剪切带,向 NW 方向延伸即为倾向南、向北逆冲的马关-西畴逆冲断裂带。马关-河江推覆体南界即是哀牢山-红河古特提斯洋缝合带。

在这一基底拆离体中还有海西期花岗岩体

(γ_4)随之逆冲。燕山期剪切重熔的二长花岗岩(γ_5^2)侵入在寒武系地层之中。并和晚海西期一印支期超镁铁岩、辉绿岩及二叠系、中-下三叠统地层共同形成马关-河江基底拆离体根带的构造混杂岩带。前缘由一系列弧形的高角度冲断层与古生界的冲断岩片相叠置构成由南向北逆冲的马关-西畴冲断带。

马关-河江基底拆离体西侧以小江近南北走向的左行走滑断裂带为界,由南向北发生逆冲和推覆活动;东北侧则是以六盘水-紫云-都安走滑断裂带作为与雪峰山基底拆离体由东向西逆冲推覆构造变形域之间的转换带。在扬子板块西南缘,同样也产生了由南向北,构造变形强度由强及弱,变形时间由早到晚的递进(衰减)改造变形。并可进一步分为由 I_2^a 到 I_2^d 的递进变形区带(图1)。

2 第Ⅱ期:晚侏罗世—早白垩世大陆平移走滑构造及拉分断陷作用

这一阶段在中、下扬子区强烈平移走滑活动的出现是一次重要的变格运动。据 D C Engbreson 等研究(1985)^[6],在白垩纪的 135 ~ 100 Ma,伊泽纳奇板块(Izanagi)以高速 166 ~ 264 km/Ma,向 NNW 至 N 方向斜向俯冲运动。从而造成与东亚大陆的左旋扭动。结果在东亚大陆边缘上,形成一系列以郯庐断裂带为代表的大规模的 NNE 向的左行平移走滑活动。

对于郯庐断裂带平移走滑运动的定年研究,朱光等^[7](2005)认为主要有两期活动。第一期是对郯庐断裂带(桐城县-牛栏铺段)早期剪切带糜棱岩中的白云母样品用 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年,获得了 $(192.5 \pm 0.7) \sim (188 \pm 0.7)$ Ma 坪年龄数据,代表了导源于扬子板块与华北板块碰撞,大别-苏鲁造山带形成时期,以转换断层形式出现的郯庐左行走滑运动。第二期是对肥东段的糜棱岩中的角闪石进行 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年,获得了 (143.3 ± 1.3) Ma 的变形坪年龄^[8],同时还获得了新生黑云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 的 (134 ± 0.6) 及 (137 ± 0.8) Ma 的冷却年龄数据。王小凤等^[9](2000年)等也分别采用 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$,断层泥 K-Ar 法和石英 ESR 法(电子自旋共振法),获得了 $(104.8 \pm 3.7) \sim (55.0 \pm 1.1)$ Ma 的断裂活动年龄数据。证实了郯庐断裂带在

白垩纪发生过大规模的左行平移运动。这两期平移走滑活动记录了在扬子板块东部,由特提斯板块构造域由南向北的汇聚碰撞作用向伊泽纳奇-库拉-太平洋板块向北的斜向俯冲和平移走滑作用的转换。

在扬子板块东部,这一时期的平移走滑构造作用,除了郯庐断裂带之外,还形成了诸如(自西向东)中扬子区的远安-枝江、洪湖-湘阴、麻城-团风、湖口-南昌-崇义平移走滑断裂带;在下扬子区还形成了沿长江、七都-九连山-茅山东、绩溪-涇湖、天目山-白际山、乌镇-马金、萧山-常山、江山-绍兴等一系列大型平移走滑断裂带(图1)。根据我们对这些断裂带的性质与构造特征的野外调查,这些断裂带大多表现为脆性-脆韧性断裂。碎裂岩带宽约 30 ~ 80 m。断层面产状陡倾-直立。发育高角度破劈理和单轴拉伸的剪切透镜体。剪切面上具走向 NNE-SSW,近水平的拉伸线理和擦痕 a 线理。沿断裂带常有中酸性的花岗闪长岩脉、小岩株侵入。

在扬子板块东部,这一期大规模的平移走滑构造极大地改变了前一期(印支期)的由南向北推覆作用下的逆冲-褶皱构造变形的格局。其构造效应主要有。

1) 水平错移作用:对前一期(印支期)所形成的江南-雪峰基底拆离体的肢解和左行错移。洪湖-湘阴平移走滑断层使幕阜山推覆体相对于雪峰山推覆体左行向北错移。使雪峰山前缘的怀化-桃源逆冲断层向北错移至幕阜山前的崇阳县大源铺-临湘北一带,水平位移量约 127.5 km。郯庐-湖口-南昌平移走滑断层又使得障公山-怀玉山推覆体相对于幕阜山左行向北错移。江南-雪峰推覆体前缘逆冲断层从幕阜山前过湖口后向北错移至东至县良田村-黟县郭村一线,水平位移量也约为 120 km 左右。平移走滑断层肢解了整个江南-雪峰基底拆离带,分为 3 段。错移作用自西向东具有逐渐增强的趋势。

2) 左行简单剪切变形作用:主要是在下扬子区对印支期形成的递进变形逆冲-褶皱带,不仅使其水平错移,而且叠加了左行简单剪切变形。使前期的近 EW 走向的逆冲-褶皱构造线,左行扭动至 NE 走向。例如东至-石台复背斜,西段和中段仍保持了 EW-NEE 轴向,而东段的泾县北贡里复背斜已被七都平移走滑断层左行扭曲为 NE 走向。

同样太平湖复向斜西段还保持了近EW-NEE走向,而东段则被绩溪-漏湖平移走滑断层左行扭曲呈NE走向。而在浙西天目山-白际山、乌镇-马金、萧山-常山等一系列密集的平移走滑断层所叠加的左行简单剪切变形作用更为强烈,所形成的NE走向的逆冲-褶皱构造轴线已完全置换与取代了前期(印支期)的近EW走向的构造线。在紧临郯庐断裂东侧NE走向的滁县和巢湖-含山逆冲-褶皱带也属于类似的成因。总体上简单剪切的扭曲变形作用从西向东也是逐渐增强。

3) 拉分断陷作用:与大型平移走滑断裂带晚侏罗世一早白垩世、晚白垩世两期活动时间的不同深切割深度相匹配。在平移走滑断层东(右)侧或两条断层之间,形成两期不同沉积物的拉分断陷盆地(图3中模型4)。在晚侏罗世一早白垩世时期,与郯庐断裂左行平移走滑活动相关的拉分断陷是庐江-枞阳火山-碎屑岩盆地(J_3-K_1);与沿江平移走滑断裂带相关的是宁芜拉分断陷盆地(J_3-K_1);与七都-茅东平移走滑断层相关的是溧阳-郎溪盆地(J_3-K_1);与绩溪-漏湖平移走滑断层相关的是亭子山盆地(J_3-K_1);与天目山-白际山平移走滑断层相关的是安吉-临安县盆地(J_3-K_1);与乌镇-马金平移走滑断层相关的是桐庐盆地(J_3-K_1);而与萧山-常山平移走滑断层相关的则是寿昌盆地(J_3-K_1)和金华-衢州盆地(K_2)。这些拉分断陷盆地的北侧常发育一条与两侧NNE向走滑断层正交的,走向SEE-EW向的拉张正断层,沿断层多有花岗岩、花岗细晶岩和流纹斑岩、石英斑岩类酸性岩脉侵入。在拉分盆地中则主要沉积了火山-碎屑岩系。在庐枞、宁芜火山岩盆地中的火山岩以高钾、钙碱系列及钾云系列为主,少数钙碱岩系。岩性以粗面玄武岩-玄武粗安岩-粗石英安岩-流纹岩为主。是在陆内拉张的构造背景下形成的。郯庐断裂较大的切割深度为中、基性岩浆的上升提供了通道。而在皖南-浙西一带的晚侏罗世一早白垩世的火山岩则多偏酸性(中酸性),属高硅低碱的钙碱系列,可能与岩浆源的深度变化有关。总体上地壳拉分断陷作用的深度与程度,从西 II_2 区向东 II_3 区也有增强的趋势。

这一期的平移走滑构造拉分断陷作用在鄂东-赣中区(II_1)主要表现为水平错移变形;在苏皖南区(II_2)则不仅有水平错移变形,还有简单剪

切扭曲变形和拉分断陷作用;而在浙西区(II_3)这3种变形作用则表现最为强烈。印支期的逆冲推覆构造大部分已被平移走滑构造变形强烈置换。

第二次的拉分断陷作用则主要在晚白垩世期间。由于这次左行平移活动是在前一次平移走滑运动所形成断裂的基础上的再次活动。因此只在主断层与分支走滑断层之间,形成宽度较小,沿断裂带走向分布的晚白垩世的陆相含泥质的粗碎屑岩断陷小盆地。如远安断陷盆地(K_2)、湘阴-宁乡盆地(K_2)、万安-泰和盆地(K_2)、金华盆地(K_2)等,分布较零散。

3 第Ⅲ期:晚白垩世—古近纪伸展拆离构造及多米诺式断陷作用

在这一时期由于继伊泽纳奇-库拉板块之后,太平洋板块持续向北北西方向俯冲运动,使处于东亚大陆的下扬子区处于区域性向北伸展拉张的构造环境。在郯庐断裂带以西,从苏皖南到苏北-南黄海地区,形成了一系列的中、新生代拉张断陷盆地:无为-南陵-广德盆地(K_2-E)、句容-常州盆地(K_2-E)、东台坳陷盆地(E)、盐阜坳陷盆地(E)、南黄海南部的青岛坳陷盆地(K_2-E)和北部的烟台坳陷盆地(K_2-E)。盆地均具有南断北超的箕状半地堑形态,并与其间近EW走向的隆起带(如南京-南通-勿南沙隆起、滨海-南黄海中部的崂山隆起),以及坳陷盆地中若干凸起带(如溧阳-长兴凸起、天长凸起、江都-小海凸起、建湖-沂山-蒙山凸起、莱西、乳山凸起等)一起构成具有“多米诺骨牌式”排列结构的“盆-岭构造”^[10-12](图1)。这一期的拉张构造是对海相中、古生代盆地的另一种形式的改造方式,是对于曾遭受过前二期逆冲-褶皱和左行平移走滑作用之后的,迭加了简单剪切的拉张变形。这对于受到强烈的变形、变位和剥蚀作用之后的海相中、古生代盆地十分重要。再次的深埋作用将重建遭受破坏的海相油气系统,促使海相烃源岩晚期的热演化和二次生烃。

对于这一时期所形成的中、新生代盆地的构造成因,历年来均有各种不同的认识。一些学者从盆地所处的构造位置,把盆地的拉张与郯庐断裂带的左行平移走滑运动相联系,而归于拉分盆地的原型。但从盆地内大量地震剖面上判读,控制盆地拉张沉降的均为上陡下缓、走向NE-近EW的犁

式正断层,而不是 NNE 走向陡倾的高角度平移走滑断层。在南黄海,拗陷盆地与隆起带、凸起呈近 EW 走向的展布,并不受平移走滑构造所制约。另一些学者^[13~15]从苏北盆地古近系与新近系地层中有较多的碱性玄武岩、辉绿岩体的侵入活动,而试图用异常地幔垫的上拱,引起地壳的拉张沉降,即 McKenzie (1978) 纯剪切拉张模型来解释其成因机制。但问题在于纯剪切拉张形成的盆地具有较对称的结构形态。而苏皖南-苏北-南黄海盆地呈现的是由南向北多重递进伸展拉张,南断北超的半地堑呈“多米诺骨牌式”排列的不对称结构形态。应该是简单剪切拉张的结果。

因此,我们试图用 G A Davis (1988)、G S Lister (1989)、B Wernicke、郑亚东等^[5,15~18]在研究北美科迪勒拉地区盆-岭构造时,提出的伸展拆离构造模型来解释下扬子区中、新生代断陷盆地的成因(图4中模型2)。

晚白垩世以来,太平洋板块替代了之前的伊泽纳奇板块,继续向 NNW 方向俯冲运动。牵动了东亚大陆边缘的下扬子苏皖南-南黄海区域的大陆地壳,处于伸展拆离拉张减薄的应力状态。从皖南至苏北,再到南黄海,地壳伸展的过程是由南向北递进进行的。由于基岩块体左旋下滑所形成的半地堑盆地和凸起呈典型的多米诺骨牌式的排列。其间 NEE-近 EW 走向的石台-宁国、南京-南通、滨海-南黄海中部的崂山印支褶皱隆起带,相对于上白垩统一古近系地层来说,则成为“变质核杂岩”(metamorphic core complexes)隆起带。间隔了3次递进的伸展拆离构造。

第一次伸展构造主要是在石台-宁国“变质核杂岩隆起带”北侧,形成了木镇-烟墩伸展拆离脆-韧性剪切带和无为、南陵-广德以及句容-常州盆地(K_2-E)。南陵-广德盆地南侧的木镇-烟墩断层是一条产状北倾($355^\circ \angle 68^\circ, 30^\circ \angle 54^\circ$)、走向近 EW 宽约 80~100 m,脆-韧性伸展拆离正断层。土黄色断层泥发育了 S-C 组构。断层泥具有由条带状层组成的内部剪切组构($Sc: 27^\circ \angle 65^\circ \sim 350^\circ \angle 63^\circ$)和透镜状岩片组成的择优取向组构($Ss: 15^\circ \angle 43^\circ$)。这条断层控制了南陵-广德箕状半地堑断陷盆地南侧的沉降。而北侧白垩系底部砾岩则超覆在下二叠统栖霞组灰岩层之上。呈现了南断北超、古生界基岩块体在拆离断层面上左行旋转下滑的伸展断陷机制和多米诺诺

层式(Domino faults)的结构形态。基岩块体旋转后撬起的脊,经剥蚀后则成为南陵-广德和句容-常州两个“凹陷”之间的溧阳-宜兴“凸起”。

第二次伸展构造主要是发生在南京-南通-勿南沙“变质核杂岩隆起带”北侧,形成了扬州-南通伸展拆离正断层和苏北-南黄海南部多米诺式断陷盆地(K_2-E)。扬州-南通伸展拆离正断层及一系北倾的分支正断层,控制了总体是 NEE-近 EW 走向的东台拗陷-南黄海南部的莒南断陷,建湖凸起-沂山-蒙山凸起,盐阜拗陷-南黄海南部的胶州凹陷、五莲斜坡的左旋断陷沉降和多米诺骨牌式的“盆-岭”排列结构。

第三次伸展构造主要是发生在滨海-南黄海中南部“变质核杂岩隆起带”的北侧,形成了南黄海中南部崂山隆起北侧的大型脆-韧性伸展拆离正断层剪切带,控制了南黄海北部晚白垩世-古近纪呈近 EW 走向的青州凹陷、莱西凸起、诸城凹陷、乳山凸起和平度-栖霞凹陷的沉降,以及多米诺式的排列结构方式。最终,整个苏北-南黄海盆地(K_2-E),向北超覆在响水口-千里岩一线的苏鲁造山带隆起南侧的斜坡上。

需要指出的是,这一期的伸展拆离构造是由南向北递进发展的,在时序上也是有南先北后的序次,在构造发展上是一种多重递进式的伸展拆离作用。在前白垩纪基岩构造中,由于近南北向的印支运动期逆冲-推覆构造和燕山运动期平移-走滑构造格局的影响,在第三期伸展拆离过程中,基岩块体的伸展下滑、左行旋转,不可避免地要利用和迁就一部分先存的逆冲与平移走滑断层,使苏皖南-苏北、南黄海地区的“凹陷”沉降幅度与“凸起”的剥蚀程度的差异性及其形态与分布方位上显示出前期构造的痕迹,甚至一定程度上影响了我们对断陷盆地原型、成因的判别和构造区划,需要仔细的筛分与鉴别。

4 结论

扬子板块海相中、古生代盆地自印支运动以来,先后经历了3期不同性质构造作用的构造变形。在扬子板块的上、中、下不同区域形成了不同的改造图像。

在上扬子区,从雪峰山向西到川东褶皱带,从马关-河江基底拆离体到秧坝地区,只经历了中三

叠世末—晚侏罗世一次基底拆离式推覆作用和递进(衰减)逆冲—褶皱变形。所形成的尖棱—共轭膝折、箱状、挠曲背斜是主要的含油气圈闭类型。所形成的油气藏应属印支期—早燕山期聚集的早期原生油气藏。

在中扬子区,除了经历了中三叠世末—晚侏罗世的由南向北推覆作用和递进逆冲—褶皱变形外,在白垩纪—古近纪阶段,还叠加了第Ⅱ期的偏对称走滑作用下的拉张断陷变形。在印支期的逆冲—褶皱带中,逆冲断层下盘属于原地中—弱变形体的挤压背斜或半背斜,属于早期有利的油气圈闭类型。而被中、新生界地层所覆盖的不整合面上的古潜山,则可能是海相烃源岩晚期二次生烃的重要圈闭类型。

在下扬子区,则经历了3期构造变形。在第一期(中三叠世末—晚侏罗世)江南基底拆离体由南向北推覆作用及形成的递进逆冲—褶皱变形过程中,苏北—南黄海地区应处于构造变形相对较弱的滑脱褶皱—共轭膝折褶皱变形区。但早期形成近E—W走向的逆冲—褶皱构造被晚侏罗世—早白垩世时期的以郯庐断裂带为代表的,一系列大型NNE走向的左行平移走滑断层的平错移离而肢解,或者是被左旋简单剪切而扭曲变形呈NE走向。接着又被在晚白垩世—古近纪随之而来的由南向北多重递进式伸展拆离构造所拉张。海相中、古生界地区岩块左行旋转下滑所形成一系列南断北超半地堑(箕状)断陷盆地呈多米诺骨牌式的排列,叠加在海相中、古生界盆地之上,使得油气聚集的控制因素变得格外复杂。但海相中、古生界在第Ⅰ期构造变形中,在逆冲断层下盘所形成的属于中—弱变形强度的原地变形体的挤压背斜、半背斜,以及滑脱背斜、膝折背斜仍然是早期油气聚集并保存的主要圈闭类型。而在被中、新生界地层所覆盖的不整合面上的古潜山圈闭中,则有可能找到“朱家墩式”海相烃源晚期生烃的油气藏。但是对下扬子区的油气勘探而言,需要改变地震测线及综合物探剖面的布线方法。部署近南北走向的测线和提高海相地层的讯噪比,是正确解释下扬子区特别是苏北地区构造变形图像,认识构造变形规律,识别可能的含油气圈闭的前提条件。

参 考 文 献

1 刘光鼎. 前新生代海相残留盆地[A]. 周玉琦, 王金渝, 贾建

- 谊, 等编. 朱夏油气地质理论应用研讨文集[C]. 北京: 地质出版社, 2001. 21~23
- 2 朱夏. 试论中国新生代油气盆地的地球动力学背景[A]. 见: 朱夏, 编. 朱夏论中国含油气盆地构造[C]. 北京: 石油工业出版社, 1986. 61~70
- 3 丁道桂, 郭彤楼, 刘运黎, 等. 对江南—雪峰带构造属性的讨论[J]. 地质通报, 2007, 26(7): 801~809
- 4 丁道桂, 刘光祥. 扬子板内递进变形——南方构造问题之二[J]. 石油实验地质, 2007, 29(3): 238~246
- 5 艾伦 P A, 艾伦 J R. 盆地分析原理与应用[M]. 陈全茂, 张学预, 李大成, 等译. 北京: 石油工业出版社, 1995. 1~384
- 6 Engebretson D C, Cox A, Gordon R G. Relative motions between oceanic and continental plates in the pacific basin[Z]. Special Paper 206 of the Geological Society of America, 1985. 17
- 7 朱光, 刘国生, Dunlap W J, 等. 郯庐断裂带同造山走滑运动的⁴⁰Ar/³⁹Ar年代学证据[J]. 北京科学通报, 2004, 49(2): 190~198
- 8 刘国生, 朱光, 牛漫兰, 等. 郯庐断裂带东段走滑运动的⁴⁰Ar/³⁹Ar法定年[A]. 中生代以来中国大陆板块作用过程学术研讨会论文摘要集[C]. 合肥: 合肥工业大学, 2005. 22~23
- 9 王小凤, 李中坚, 陈柏林, 等. 郯庐断裂带[M]. 北京: 地质出版社, 2000. 1~374
- 10 罗庆坤, 姜大志. “江南隆起”东段北缘印支期以来构造变形特征及油气远景评价[A]. 张渝昌, 编. 江南—雪峰地区的层滑作用及多期复合构造[C]. 北京: 地质出版社, 1993. 67~68
- 11 姚永坚, 夏斌, 冯志强, 等. 南黄海古生代以来构造演化[J]. 石油实验地质, 2005, 27(2): 121~128
- 12 郭旭升, 梅廉夫, 汤济广, 等. 扬子地块中、新生代构造演化对海相油气成藏的制约[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(3): 295~304
- 13 刘少锋, 庄培仁, 徐成彦. 下扬子拗陷带古生代盆地构造的叠加关系和区域应力场特征[A]. 张渝昌, 编. 江南—雪峰地区层滑作用及多期复合构造[C]. 北京: 地质出版社, 1993. 211~246
- 14 靳久强, 宋建国. 中国板块构造对油气盆地演化和油气分布特征的控制[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1): 2~8, 22
- 15 郑亚东, 张青. 内蒙亚干变质核杂岩核内递进伸展作用[A]. 钱祥麟, 编. 伸展构造研究[C]. 北京: 地质出版社, 1994. 4~11
- 16 Davis G A, Zheng Yadong. A possible cordilleran-type metamorphic core complex beneath the Great Wall near Hefangkou, Huairou County, northern China[J]. Geological Society of America (Abstracts with Programs), 1988, 20: 324
- 17 Lister G S, Davis G A. The origin of metamorphic core complexes and detachment fault is formed during Tertiary continental extension in the northern Colorado River region[J]. USA Jour Structural Geology, 1989, 11: 65~94
- 18 李永宏, Burlin Y K. 滨里海盆地南部盐下大型油气田石油地质特征及形成条件[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(6): 840~846

(编辑 高 岩)