

文章编号:0253-9985(2010)02-0140-11

苏北盆地构造特征及箕状断陷形成机理

陈安定

(中国石油化工股份有限公司 江苏油田分公司 地质科学研究院,江苏 扬州 225009)

摘要:苏北盆地是典型的箕状断陷,具“坳(K_2t-E_1f)-断(E_2d-E_2s)-坳(N_{1-2y})”3层结构,分“裂陷、断-坳、断-翘”3种类型,历经3次抬升改造,是古近纪晚期的“残留盆地”。苏北盆地发育不同类型的断裂组合,北东、北西方向构造。文章探讨了箕状断陷形成机理,指出地层掀斜不可能通过“旋转”产生,大量的张性断层主要产生于先期逆断的盆地基底和力偶反向,箕状盆地是凹陷在同一方向上遭受拉张、裂陷和挤压、基底拱升交替作用时接受沉积或抬升削蚀的结果。而拉张和挤压的动力主要来自印度板块、太平洋-菲律宾板块对欧亚大陆的俯冲、碰撞,两者的交替作用使中国东部在北西方向上形成张-压交替的“手风琴式”力学环境,从而造就了基底拱升式断-坳结合型箕状盆地。

关键词:成盆动力学;右行剪切;左行剪切;复杂小断块;残留盆地;断陷盆地;箕状凹陷;苏北盆地

中图分类号:TE122.2 **文献标识码:**A

Tectonic features of the Subei Basin and the forming mechanism of its dustpan-shaped fault depression

Chen Anding

(Geological Research Institute of SINOPEC Jiangsu Oilfield Company, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

Abstract: The Subei Basin is a typical dustpan-shaped fault depression composed vertically of three layers, i. e., a downwarped basin deposit(K_2t-E_1f), a fault depression basin deposit(E_2d-E_2s) and a tilt-block basin deposit(N_{1-2y}). The basin had gone through three episodes of uplifting and is a relic basin formed in the late Early Tertiary. It also developed some fault combinations of different types and NE- and NW-trending structures. This paper documents a discussion on the forming mechanism of the dust-shaped fault depression, and comes to the conclusion that the tilting in the depression is the least likely to be caused by “rotation”, and that the numerous extensional faults were resulted from the early reverse faulting of the basement and the reversing of force couple. The present dustpan-shaped basin is the result of deposition or uplifting and erosion when experiencing extension, faulted depression and compression at the same direction, alternating with basement uplifting. The dynamic of the extension and compression mainly came from the subduction and collision of the India Plate and the Pacific-Philippine plate to the Eurasia. With the two forces alternatively working on the eastern China, an “accordion-like” stress field (with extension and compression alternated) was formed in the NW direction, resulting in the dustpan-shaped basin.

Key words: basin-forming kinetics, right lateral shear, left-lateral shear, complex small fault-block, relic basin, faulted basin, dustpan-shaped depression, Subei Basin

目前,在苏北、渤海湾盆地成因问题上仍是众说纷纭,有人称其为主动裂谷,也有人称其为

被动裂谷和伸展走滑、伸展拉分、走滑拉分盆地等。尽管现在多数人仍将裂谷盆地理论作为苏

北盆地成因的“经典”学说,但随研究的深入,区域应力场解释逐渐成为趋势。现将一些重要观点列出如下。

朱夏(1965,1979)曾指出,渤海湾和苏北-南黄海盆地属于断-拗转化型盆地^[1]。在探讨其形成机理时,特别提到西部印度板块。指出由印度板块向欧亚大陆的敛聚碰撞引起中国板块分体东移,加上地幔垫的作用,在东部从白垩纪末至新第三纪初形成一系列断-拗结合、断-拗转化型盆地。并提出新第三纪以来,西太平洋岛弧的火山活动与边缘海成长对中国板块在印度板块影响下发生的分体东移起了“煞车”甚至“倒车”的作用^[2]。

在多数人接受裂谷盆地理论情况下,胡朝元(1982)提出了渤海湾盆地属于右旋张扭盆地,认为拉张与地幔垫并无联系,而是印度洋、太平洋板块及深层地壳隆起对流三种动力作用^[3]。

杨献德(1983)通过实验证实,断块掀斜可以在同一方向上实施“先挤压、后拉张”的外力作用下完成,认为应力场转化是断块掀斜的主要原因^[4]。

赵重远(1984)提出,渤海湾地区的张性构造实际上反映的是中生代剪切挤压构造格局,它的形成既有印度板块-欧亚板块碰撞引起的右旋剪切作用,也有太平洋板块向欧亚大陆俯冲带来的弧后扩张^[5]。马力等(1993)也认为,边界大断力学性质的转换(印支-燕山期逆冲、推覆转为第三纪引张滑动)和帚状断裂体系构造骨架的继承,是盆地构造演化的重要特点^[6]。

许薇龄(1987)详细描述了太平洋、欧亚、印度3大板块相对运动对苏北-南黄海盆地沉积所起的控制作用,认为印度板块加速向欧亚靠拢促使郯庐断裂从左旋变右旋,发生吴堡事件断块升降和戴南组同生断裂强烈活动。东部太平洋板块俯冲带来吴堡运动、三垛运动,戴南组、三垛组等褶皱抬升。至中新世,太平洋板块挤压力完全取代拉张力,盐城组为拗陷,局部出现逆冲推覆。总之,第三纪整个沉积过程,随着太平洋板块和印度板块对欧亚板块活动方式和强弱不一,形成了完整的断陷-拗陷转化过程^[7]。

漆家福等(1995)特别注意到叠加在张性断裂

带上的走滑作用,认为力源应来自板块边界传递的区域应力场^[8]。

许浚远(1999)指出,欧亚板块东缘新生代盆地均为右行剪切拉分盆地,拉分源于印度板块与欧亚板块碰撞,时间为始新世中期至中新世早期^[9]。

笔者(2001)提出,苏北盆地实际是一个多次改造的早第三纪残留盆地。新生代构造现象既是中生代时期构造作用的延续,也是始新世以来复杂应力环境作用的结果。始新世以来,由印度板块向欧亚大陆冲撞引发的NE向挤压力加入到本区,使苏北盆地从此处在因两大板块非匀速推进而产生的二元交变动力环境中:印度板块力源占主导时,产生“右旋扭动”力偶,在燕山早-中期逆断层复活反转的同时,由于中国西部大陆的不断抬升,本区总的以沉积作用为主;而太平洋板块力源占主导时又产生“左行剪切挤压”,在整体抬升基础上,斜坡-凸起处的过多削蚀进一步加强了箕状盆地结构。两种力源的时空交替实际形成了一个完整的“断-拗-隆”沉积-抬升构造旋回^[10]。

1 概况

苏北盆地由高邮、金湖、溱潼、海安、盐城等11个小型箕状凹陷组成,凹陷间分布13个凸起、低凸起(图1)。受建湖隆起分隔,以南和苏南隆起夹持部分称东台拗陷,以北和滨海凸起、鲁苏隆起夹持部分称盐阜拗陷(图1)。

苏北盆地基底为中生界上白垩统浦口组(K_2p)、赤山组(K_2c)。在苏北盆地内部,有新生界一般都有浦口组,新生界与古生界直接接触只是局部情形,一种是后期断裂造成的“断层接触”关系,如真武、杨村断裂;另一种是中间抬升剥蚀造成的直接接触,如滨海凸起。

苏北盆地的主体由上白垩统泰州组(K_2t)、古新统阜宁组(E_1f)、始新统戴南组(E_2d)、三垛组(E_2s),新近系盐城组($N_{1-2}y$)等陆相碎屑岩地层组成,缺失渐新统。地层年龄及历次构造运动详见表1。其中,戴南组对应渤海湾盆地的孔店组,三垛组对应渤海湾盆地的沙河街组下部三段、四段^[11]。

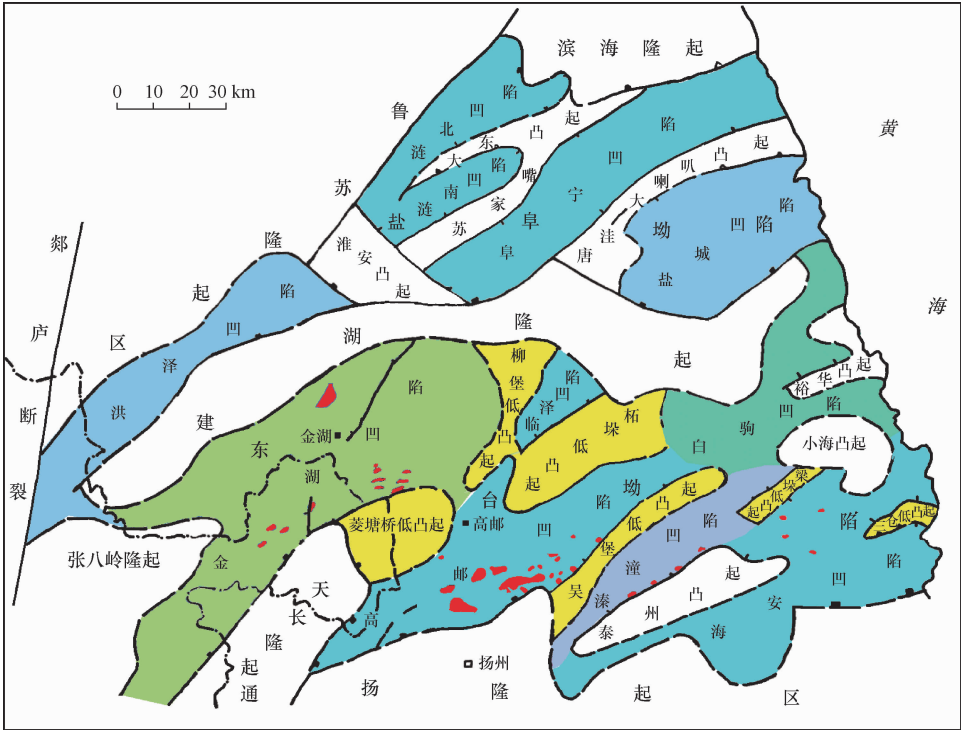
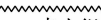


图 1 苏北盆地构造区划图

Fig. 1 Tectonic partition of the Subei basin

表 1 苏北-南黄海盆地地质年代及地质事件

Table 1 Geological times and events in the Subei-Nanhuanhai basin

地层				段	代号	距今年龄/Ma	主要构造运动	主要地质事件	
界	系	统	组						
新 生 界	第四系	全新-更新统	东台组		Q	2.6	东台运动	东台事件 盐城事件	
	新近系	上新统	盐 城 组	二	$N_2\gamma_2^3$	5.3	盐城事件		
		中新统		二	$N_1\gamma_2^{1+2}$	11.0			
				一	$N_1\gamma_1$	23.5			
	古近系	渐新统			E_3	33.7	三垛事件	三垛事件	
		始新统		二	$E_2^2s_2$	41.0			
				一	$E_2^2s_1$	46.0			
			戴南组	二	$E_1^1d_2$	50.0	真武事件	真武事件	
				一	$E_1^1d_1$	53.0			
		古新统		阜 宁 组	四	$E_1^2f_4$	54.4	吴堡运动	吴堡事件
					三	$E_1^2f_3$	56.6		
					二	$E_1^2f_2$	59.0		
					一	$E_1^1f_1$	65.0		
					中生界	白垩系	上统		
			一	K_2t_1				83.0	
赤山组			K_2c	88.0					
下统	浦口组		K_2p	96.0			燕山事件		
	葛村组		K_1g					燕山运动	

2 构造特征

2.1 “坳-断-坳”3层结构

始新统属于断陷为主的沉积、盐城组属于坳陷为主的沉积是多数人的共识,从地震剖面上看也很清楚,有争议的是阜宁组。说是坳陷,地层只分布在分割的凹陷内;说是断陷,地层边缘并无边缘相带。其实,判断是坳陷还是断陷,主要应根据边界断层对物源、相带的控制,是恢复后的原型盆地而不是残留地层范围和凹陷的吻合程度。

沉积是构造的纪录。通过最近一轮层序地层、沉积相和原型盆地恢复研究,证实泰州组、阜宁组沉积时期的苏北盆地与南黄海盆地是一个统一的大湖盆,沉积体系跨凹陷分布^{*}。戴南组一段是同生断裂发育的高峰期,真武断裂内侧分布多个“群边样”砂体,底部有厚层“泥砾”,地震剖面上反映出“底超”和口袋样地层加厚(图2),这就充分证实了断裂的同沉积活动特征。但阜宁组三段、二段,泰州组二段等截然不同,尽管地层分布孤立,但尖灭处不存在边缘相,可以推断它们曾有着统一的物源体系、跨凹陷分布的沉积相带。尤其阜二段的深湖-半深湖相带遇断层突然中断,恰恰证明了沉积作用曾经跨过断层。目前,在苏南仍残存数个第三系小型凹陷,说明阜宁组沉积曾延展至此。另戴南组底部的泥砾也间接证明,曾经分布在“通扬隆起”上的阜宁组已在戴南组沉积时被“消化”了。这也就证明了古新世时期断层活动较弱,属于坳陷为主的沉积。近年来裂变径迹资料提供有力证据,证实古近系曾广泛覆盖包括鲁苏隆起、张八岭隆起、苏南隆起在内的盆地周边地区^[12]。所以,苏北盆地总的经历3个演化阶段,即泰州期—阜宁期坳陷盆地阶段、戴南期—三垛期断陷盆地阶段和盐城期坳陷盆地阶段,纵向上具坳-断-坳3层结构。

2.2 3次抬升改造的“残留盆地”

从图2和图3剖面图上不难看出,苏北盆地分别在戴南组、三垛组、盐城组沉积前发生过抬升削蚀,引起地层削截和角度不整合,前人已将其命

名为吴堡事件、真武事件和三垛事件(表1)。因缺失渐新世地层,三垛事件间断长达14.2 Ma。裂变径迹资料佐证了真武事件和三垛事件^[12]。

与通常抬升时的褶皱形态不同,这里的抬升削蚀发生在一侧断陷、一侧翘升的箕状凹陷背景上,削蚀主要发生在翘升侧(图3)。平面上,吴堡事件在高邮、金湖凹陷较强(中带);真武事件在东部盐阜、海安、白驹凹陷较强(东带);三垛事件在全区都强,尤其在西带洪泽、涟阜较强。剥蚀强带呈北东向跨凹陷的大隆大凹结构,说明以北西向压应力占主导。箕状凹陷在深凹和斜坡处的不平衡抬升削蚀不仅在地震剖面显而易见^[13],同时从地球化学资料中获得有力证明,这一点笔者已有详细报道^[14,15]。

2.3 3种结构类型的箕状凹陷

箕状凹陷是苏北盆地凹陷的主要形态。按照断陷期沉降幅度和后期改造强度又可分为3种结构类型。

裂陷型——以高邮凹陷为代表,是一种具“反Y字”双断结构的箕状凹陷。伴随断层活动,戴南组、三垛组(图2)增厚显著,但“底超”不明显。深凹沉降幅度大、阜宁组生油层成熟状况最佳,斜坡抬升幅度小。

断-坳型——以金湖、溱潼凹陷为代表,是一种由单条断层和“倾斜基底面”构成的箕状凹陷(图2)。伴随断层活动和“挤坳掀斜(形成机理将在下文讨论)”,戴南组、三垛组增厚明显,“底超”表现突出,深凹沉降幅度较大、阜宁组生油层成熟状况较好,斜坡抬升幅度较小。

断-翘型——以洪泽、海安、盐城凹陷为代表,古、始新统地层翘升角度大,真武事件或三垛事件抬升幅度大,戴南组保存差(图2),阜宁组生油层成熟度低。深凹阜宁组源岩成熟度直接关系着整个凹陷的油气丰度。多年来的勘探证实,高邮凹陷油气资源最丰富,金湖较丰富,海安、洪泽相对贫。

2.4 断层顺、反向叠置和其他类型

按断层的作用,苏北盆地的正断层分“同沉

* 刘玉瑞. 苏北-南黄海盆地基础地质及勘探方向研究. 中国石化股份有限公司科技开发部项目, 2005

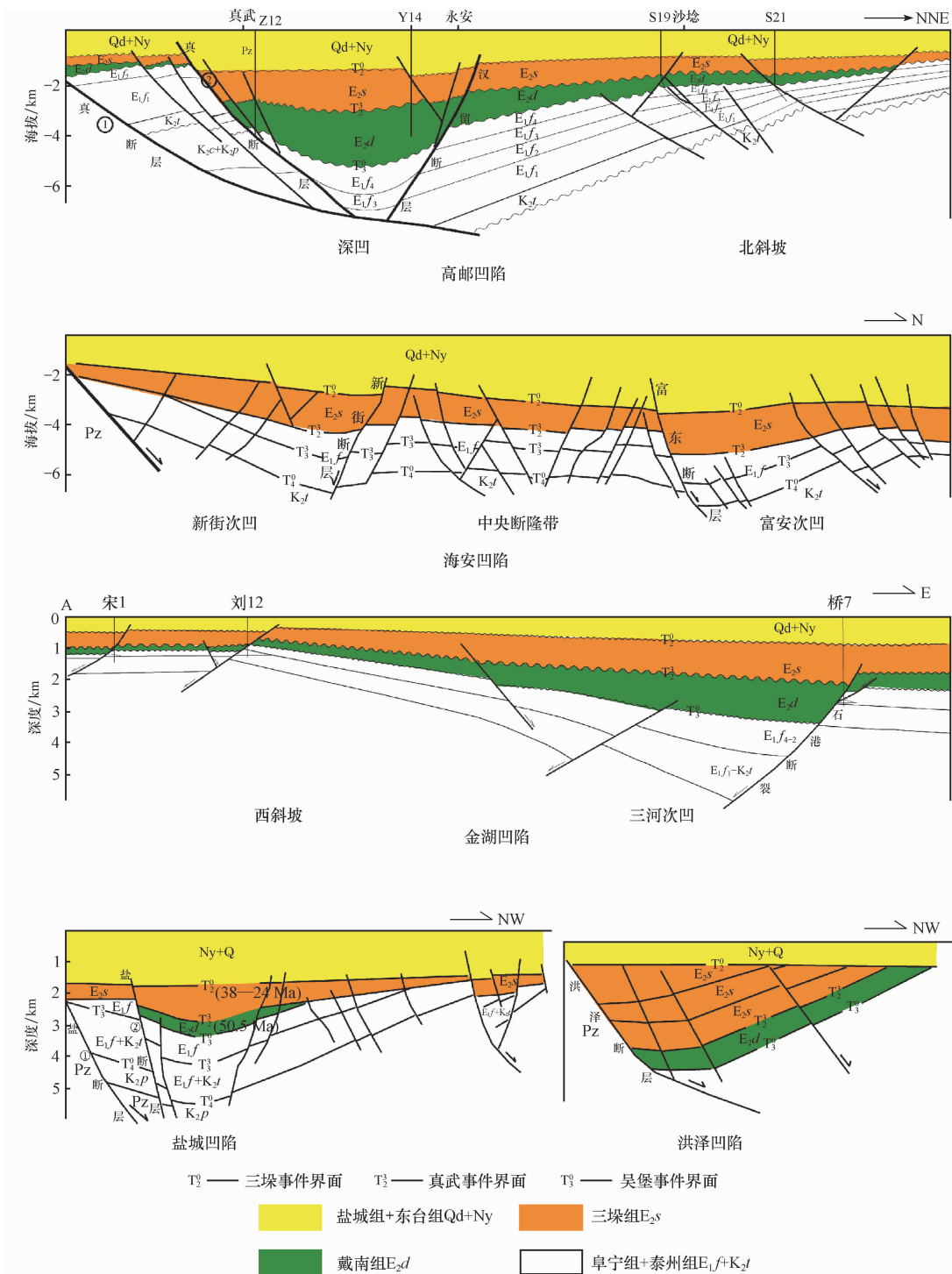


图 2 地震资料解释苏北盆地构造剖面

Fig. 2 Structural section of the Subei basin from seismic interpretation

积”和“同抬升”两种。同沉积断层发生在旋回早期,控制沉积相和地层厚度,主要发育在戴一段、垛一段、盐一段时期;同抬升断层发生在旋回结束阶段,如吴堡事件、真武事件、三垛事件构造抬升期间,控制地层残存厚度(下掉盘地层保存多,翘

升盘地层削蚀多)。

控制沉积主要为顺向正断层,分布在始新统戴南组和三垛组。在高邮凹陷最发育,其它凹陷少,推断是在拉伸过程中受沉积负载牵引形成的新生断层。

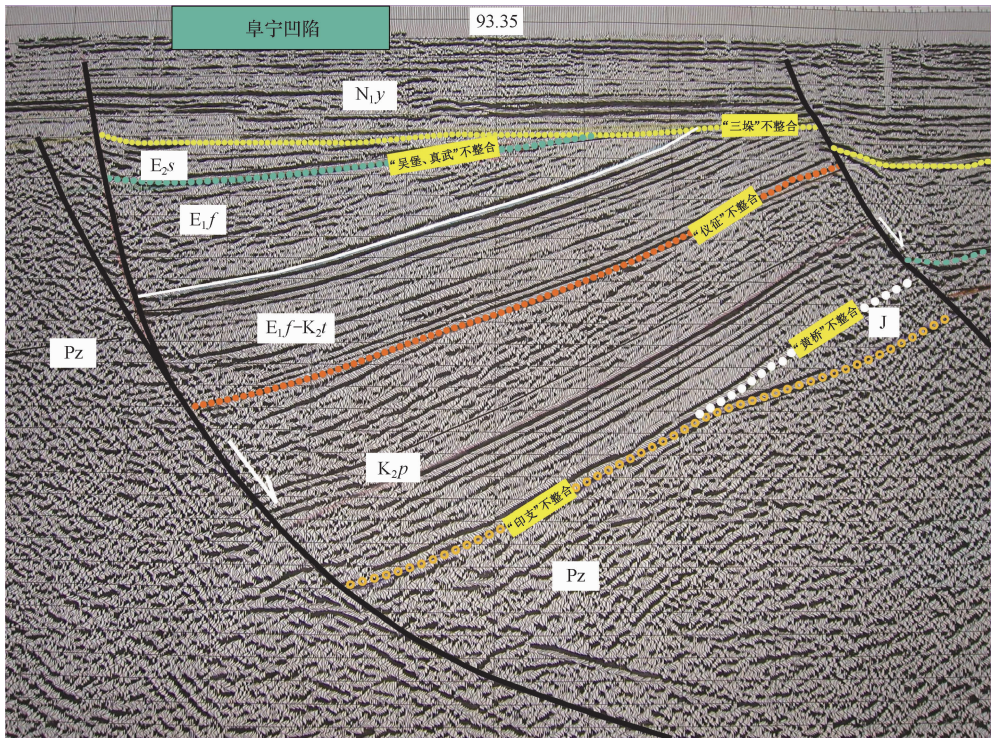


图3 阜宁凹陷 93.35 测线反映的地层角度不整合

Fig.3 Angle disconformity on the seismic line 93.35 in the Funing sag

控制地层残存主要是“反向正断层”，是以控凹断层为代表的一系列平行断层，分布在泰州组至三垛组，但以泰州组、阜宁组密度最高，所有凹陷普遍存在，大多通向盆地基底，分析属于重新复活的燕山早、中期逆断层，在“挤压拱升”背景上拉张形成。顺、反两种断层形成双层结构（图4）。

苏北盆地以正断层为主，兼有走滑断层和逆断层，刘玉瑞（2004）对此有详细报道^[16]。典型的（右行）走滑断层是金湖石港断裂（图5）和吴堡断裂，其标志之一是主断裂两侧伴生一系列羽状正断层等。上述走滑断层都是西南端张开度大，暗示右行剪切力源来自西南方向。同时，在金湖凹陷又发现铜城、泥沛、崔庄3条逆断层（图5），发育在始新世晚期。3种不同性质的断层为3个不同走向，张性断层呈北东、北东东向，走滑断层呈北北东向，逆断层呈近南北向。据应变椭球分析，这3种不同性质的断层分别代表了北东向右行扭动应力场中的张性断层、剪切断层和压性断层（图5）。另北北西向、北北东向断鼻带分别重合于右行剪切主压应力轴和剪切断层走向。

2.5 北东、北西向构造交织

苏北盆地总的以北东向构造为主，北西向构造为次，前者为主断层和凹陷走向，后者为凹陷中隔和断鼻构造带走向。其中北西向构造的作用日益得到重视，如北西中隔主要控制戴南组等沉积

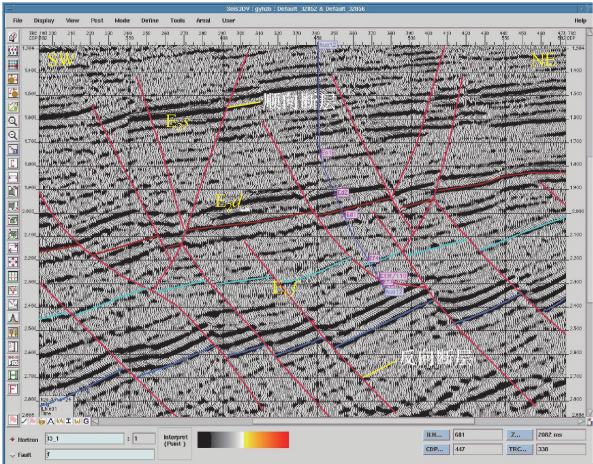


图4 高邮凹陷花庄地震剖面

Fig.4 Seismic section in the Huazhuang of the Gaoyou sag

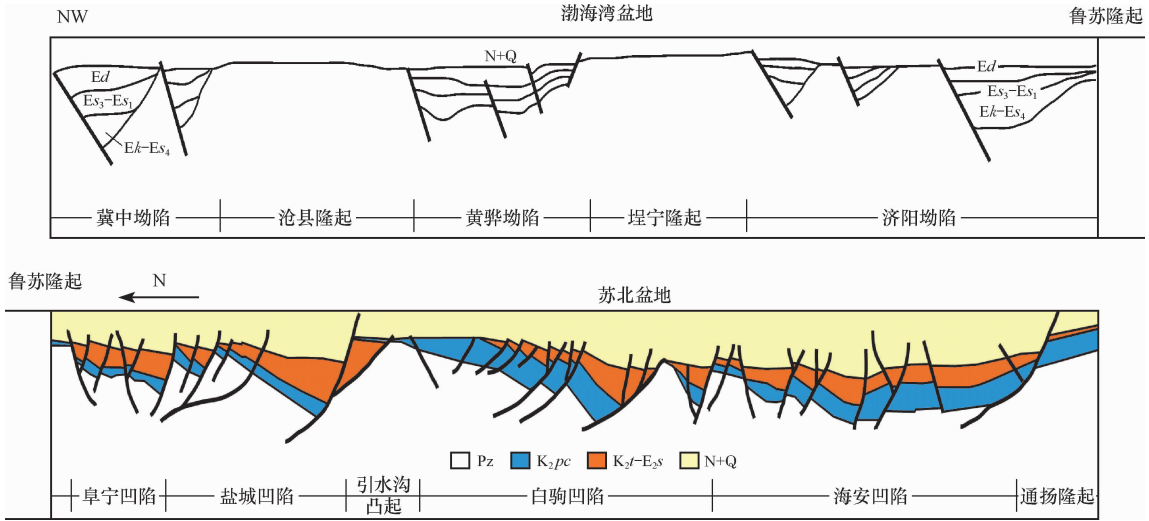


图6 渤海湾盆地和苏北盆地箕状凹陷的对称结构

Fig. 6 The symmetry between the dustpan-shaped sag in the Bohai Bay basin and the Subei basin

称地背向中间隆起(图2中海安凹陷)。

昔日的背冲构造格局后来成为发育对翘盆地的基础,这一点至少在下扬子地区已得到验证。张永鸿(1993)指出,印支—燕山中期,苏南和苏北构成对冲构造格局,苏北向南冲,苏南向北冲,南京—海安一线是中心轴^[19]。第三纪发育的箕状断陷正好利用了早期的逆断层,苏北形成南断北超凹陷,苏南形成北断南超凹陷,表明两者之间的密切关系。不过,由于苏南构造变形不如苏北强烈,所以,苏南第三纪凹陷的发育程度不如苏北。通过多个盆地的分析发现,早期逆断为后期正断发育提供了先天条件。

4 箕状盆地成因机制

箕状凹陷的重要特点是地层掀斜。对于掀斜的成因有多种解释,最主要的是沉积负荷重力引起地层旋转。然而,旋转是不可能发生的。因为旋转需要一个可滑动的圆柱形拆离面,否则,巨大的地层黏性阻力将无法克服。但是,自然界不可能有这样一个滑动面。一些室内流砂试验似乎在证明着沉积负载引起地层掀斜的可能性,但试验中用一张帆布垫在流砂下面,通过拉动帆布达到流砂作“回倾”运动的目的,这是在自然界无法获得的力学环境^[20]。总之,旋转是一种不合理解释。

那么,地层掀斜又是如何实现的呢?笔者认为,它是在双断背景下实施水平挤压、基底上拱,

再经削蚀夷平形成的。也可以先接受拗陷盆地沉积,后挤压上拱,再经拉张、塌陷、不平衡削蚀形成。这里强调的所谓断陷必须是“对称双断”,否则,不足以引起沉降。道理很简单,因为单断情况下不可能通过旋转来“腾”出沉积空间。

过去,人们往往孤立地、就事论事地看待箕状凹陷,不去看与之对称的另一面。比如,研究苏北盆地的不去管渤海湾盆地,研究渤海湾盆地的不去管苏北盆地,实际两者是以鲁苏隆起为对称轴,在一个具“背冲”结构的“复式背斜”基底上发育起来的对翘盆地群。早期拉张时,鲁苏隆起也接受过沉降,始新世发生隆升,这已被裂变径迹资料证明^[12]。所以,箕状凹陷通常都是拱张塌陷的断隆一翼或其中的一个。个别情况下,另一翼的断陷盆地群也可能在构造抬升中因为剥蚀而消失,变成一组“单翘型”盆地。

根据沉积地层与基底地层产状的关系,箕状盆地可分为3种类型,但都和基底上拱有关:1)地层产状近于水平地充填在凹陷中。它是在拉张裂陷后,紧接着发生挤拗、基底上拱、充填沉积后形成,持续的超覆沉积是其主要特点。由于盆地经历了断和拗两种作用后形成,故称为断-拗结合型盆地。2)地层倾斜上翘,产状与基底一致。它是在拉张裂陷时发生沉积,沉积期后发生挤压、基底上拱和不均衡削蚀形成,也可能先以拗陷方式沉积,沉积期后发生拱升、裂陷,接受剥蚀后形成。此类盆地称为断-翘型盆地。3)下部地层以超覆为主,上部地

层以翘升削蚀为主。它是在拉张裂隙和挤压、基底拱升的多次交替作用下形成的一类盆地,主要特点是底部有超覆、顶部有削蚀,称为过渡型盆地。中国东部的箕状断陷大多属此类型,它实际代表了一种从地堑式盆地到基底拱升式断-坳结合型盆地,再到基底拱升式断-翘式盆地的演变旋回(图 7)。

笔者在苏北盆地选择了一个对称发育箕状断陷的实例——高邮凹陷 G44 测线剖面(图 8),用图示说明其演变过程。它以柘垛凸起为对称轴,高邮凹陷和临泽凹陷在两侧对称分布,追索其演变过程如下:

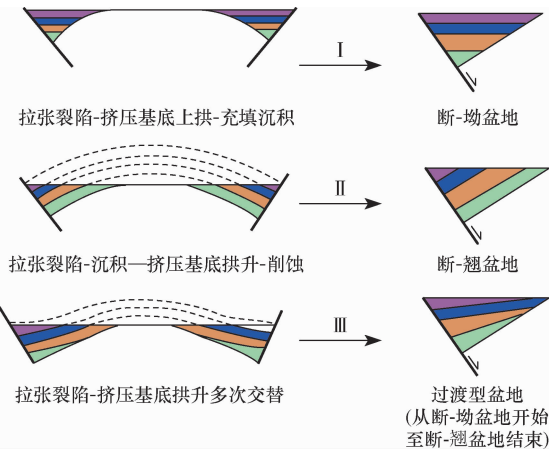


图 7 3 种类型箕状凹陷形成图解

Fig. 7 Diagrams showing the formation of three types of dustpan-shaped sags

1) K_1 末,受太平洋-库拉板块挤压作用影响,本区发育一系列冲断、推覆构造,经削蚀夷平,奠定盆地基底。2)在相对破碎的基底上发生 K_{2pc} (浦口组、赤山组)、 K_2t-E_1f (泰州组、阜宁组)两期大型坳陷沉积,张性正断层有活动但相对弱,赤山组沉积末、阜宁组沉积末分别发生构造抬升削蚀。3)戴南组(E_2d)张性断层强烈活动,拉张与挤压交替,造成基底拱张和断-坳结合型盆地沉积、晚期挤压抬升不平衡削蚀,结束演化旋回。4)三垛组(E_2s)仍延续其拱张、塌陷,断陷、坳陷沉积,直至不平衡抬升削蚀的演变过程。三垛组中、后期基本上属于大面积沉降的坳陷沉积,断层活动微弱,构造抬升也一直延续至古近纪末。5)新近纪盐城组早期(N_1y_1)为断-坳盆地沉积,中、晚期过渡为坳陷($N_1y_2-N_2y_2$)。盆地的整个演变过程既有断层的多次“阵发”活动,也有基底的不断拱升、塌陷和多期不平衡削蚀。

5 箕状断陷形成的动力学条件

随着构造研究的深入,简单的裂谷盆地理论与箕状盆地中现有构造现象的矛盾越来越大,它既不能解释苏北盆地基底与莫合面的“同像”,也不能解释地层翘倾、不平衡削蚀,走滑断层、逆断层的存在,更不能解释成排的北西向断鼻带等,而这一切用左行剪切、右行扭动的交替均可以获得圆满解释。当然,古老逆断层作为箕状断陷形成的先天条件也不可缺少。

对于裂陷盆地的产生,到底是太平洋板块俯冲消减生成的地幔物质上拱引起的裂陷(纵向力),还是印度板块挤压中国西部大陆,从而在中国东部产生右行扭动力偶引起的裂陷(水平力),这两者有原则的区别。首先,前者同裂谷盆地理论一样,不能解释那些只有压应力才能形成的诸多构造现象。相反,后者引发东部大陆裂离有以下 3 方面根据。

其一,依据来自胡朝元(1982)曾报道过的 P. Morlna 开展的一项模拟实验。实验证明,中国西部大陆被挤压可以在东部大陆引起北东走向的张裂和右行走滑^[3]。

根据之二,印度板块挤压向中国东部的应力传播已得到实际资料证明。始新世以来,甚至更早时期中国大陆即处在印度、太平洋-菲律宾和西伯利亚三大板块的夹击当中。有关研究认为,中

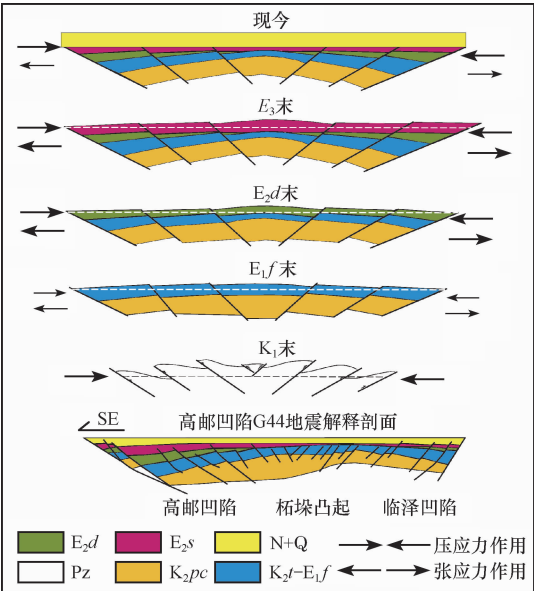


图 8 高邮凹陷 G44 测线演化剖面

Fig. 8 Structural evolution sections along seismic line G44 in the Gaoyou sag

国大陆的大部分地区现今应力场受印度板块碰撞影响较大,中国东部长江以北地区的主压应力轴方向为北东向即是印度板块挤压应力场向东部传播的结果^[21,22]。而来自东南方向太平洋-菲律宾板块的挤压主要产生北西向压应力。随着印度板块挤压的加剧,西部地层大幅度缩短造成的“北上运动”对中国东部从西侧施压,从而对东部地层形成反时针牵引而出现右行扭动,加上老地层中普遍存在的脆性破裂,右行剪切拉分^[9]势在必然。

根据之三是东部裂陷与西部碰撞的时间耦合。过去一度认为,碰撞时间主要发生在 40 Ma 前后,晚于本区张性断裂活动。近年来的研究结论,两大板块碰撞起始时间为 65 Ma,即白垩纪—古近纪之交,西藏古新世早期磨拉石沉积是重要证据(万晓樵等,2001^[23~25];莫宣学等,2003^[26])。还有人认为这一时间可提前到白垩纪坎潘期(83~72 Ma)^[27]。朱弟成等(2004)分析了各种资料后认为,印度板块、欧亚板块初始碰撞在 70~65 Ma,主碰撞期为 55~50 Ma,陆-陆碰撞为 45~35 Ma^[28,29]。另外,普遍认为印、欧两大板块在古近纪末—新近纪初也发生过一次猛烈撞击。苏南镇江地区有一北西向“埤城”褶皱带,根据裂变径迹年龄指示其隆升时间为 23 Ma(即古近纪、新近纪之交)^[12],证实了印度板块向欧亚大陆的一次强烈碰撞。本区张性断裂活动主要锁定在戴一段(53~50 Ma)、垛一段(始于 46~41 Ma)和盐一段早期(23.5 Ma 前后),这 3 个时间段与印度板块、欧亚板块的剧烈碰撞时间相吻合,也和渤海湾盆地主要裂陷时间(孔店期和沙河街早期)相吻合。

根据洋壳主要向北和北西方向运动的过程,推断它将从东侧给中国东部大陆施压,从而带来左行剪切变形。不过,此时的剪切强度相比燕山期要弱很多。

当某个水平剪切力初次作用于一套地层时,只会造成一种方式的(压性)构造变形。二次作用时分两种情形:当两期构造力的方向、性质一致时,构造方向及变形方式均不变,仅有变形程度增加;如果是换向剪切,即第二次相对第一次时作反向剪切,如相同方向上先左行、后右行,或先右行后左行时,或平面上旋转 90°后再施加同样方式的剪切时,前期的压性构造必定在后期被松弛。特别是前期已经引起地层破裂的情况下,后期必定拉开前期的逆断层形成张性断层(图9)。也就是

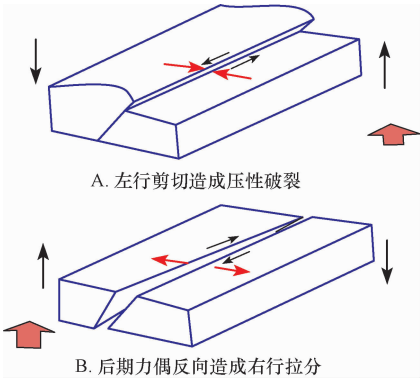


图9 换向剪切引起构造反转

Fig. 9 Diagram showing the tectonic inversion caused by reversed shearing

说,压应力也可以带来张性变形。这就像破冰船破冰,明明是水平挤压,但冰层既有重叠也有拉开。实际上,构造变形和构造力的概念有所不同,前者是表,后者为里,有时表里不一。

综上所述,中国东部在燕山早、中期冲断推覆中奠定了后期裂陷基础,从始新世以来又接受印度板块、太平洋-菲律宾板块指向北东和北西的交替挤压。指向北东的侧压力在遇到早期逆断层时主要转化为北西向张应力,从而实现在同一方向(北西)上张-压交替的“手风琴”力学环境,由此形成了基底拱升式断-坳结合型箕状盆地。

参 考 文 献

1 朱夏. 我国陆相中生界含油气盆地的大地构造特征及有关问题. 见《大地构造问题》. 科学出版社,1965

2 朱夏. 中国东部板块内部盆地形成机制的初步探讨[J]. 石油实验地质,1979,(1):1~9

3 胡朝元. 渤海湾盆地形成机理与油气分布特点新议[J]. 石油实验地质,1982,4(3):161~167

4 杨献德. 试论断块的掀斜运动[A]. 见:张文佑. 断块构造文集[C]. 北京:科学出版社,1983

5 赵重远. 渤海湾盆地的构造格局及其演化[J]. 石油学报,1984,5(1):1~8

6 马力,钱基,穆曰孔,等. 苏北-南黄海盆地的构造演化和烃类生成[J]. 南京大学学报(地球科学),1993,5(2):148~163

7 许薇玲. 苏北南黄海地质构造特征[J]. 上海地质,1987,(23):54~64

8 漆家福,张一伟,陆克政,等. 渤海湾新生代裂陷盆地的伸展模式及其动力学过程[J]. 石油实验地质,1995,17(4):316~323

9 许致远,张凌云. 欧亚板块东缘新生代盆地成因:右行剪切拉分作用[J]. 石油与天然气地质,1999,20(3):187~191

10 陈安定. 苏北箕状断陷形成的动力学机制[J]. 高校地质学报,2001,7(4):408~418

11 叶得泉,钟筱春,姚益民,等.中国油气区第三系(Ⅰ)总论[M].北京:石油工业出版社,1995

12 陈安定,郭彤楼,万景林.裂变径迹、同位素年龄研究苏皖周边隆起构造抬升[J].大地构造与成矿学,2004,28(4):379~387

13 陈安定.苏北盆地第三纪构造抬升的地震地层证据及相对剥蚀量[J].小型油气藏,2002,7(1):4~9

14 陈安定.“未熟油”与“未熟生烃”异议[J].地质论评,1998,44(5):470~477

15 陈安定.苏北第三系成熟演化指标与深度关系的3种模式[J].石油实验地质,2003,25(1):58~63

16 刘玉瑞,刘启东,杨小兰.苏北盆地走滑断层特征与油气聚集关系[J].石油与天然气地质,2004,25(3):279~293

17 邱旭明.扭动作用在苏北盆地构造体系中的表现及其意义[J].江汉石油学院学报,2002,24(2):5~7

18 杨克绳.中国中新世代沉积盆地箕状断陷类型、形成机理及含油性[J].石油与天然气地质,1990,11(2):144~155

19 张永鸿.下扬子盆地构造演化和地壳演化解释[A].见:孙肇才,郭正吾.中国南方古、中生界海相油气勘探研究[C].北京:科学出版社,1993,39~48

20 周建勋,漆家福,童亨茂.盆地构造研究中的砂箱模拟实验方法[M].北京:地震出版社,1999,25

21 江素云,许忠淮,俞言祥.中国及其邻区周围板块作用力的研究[J].地球物理学报,1996,39(6):764~771

22 郭良迁,黄力人.中国大陆的应变应力场研究[J].华北地震科学,2000,18(3):50~58

23 万晓樵,丁林,李建国,等.西藏仲巴地区白垩纪末期—始新世早期海相地层[J].地层学杂志,2001,25(4):268~272

24 邱旭明.苏北盆地高邮凹陷油气输导特征及油气分布[J].石油与天然气地质,2008,29(4):7~10

25 徐旭辉,朱建辉,江兴歌.区带资源定量评价方法及在苏北盆地溱潼凹陷的应用[J].石油与天然气地质,2007,28(4):5~7

26 莫宣学,赵志丹,邓晋福,等.印度—亚洲大陆主碰撞过程的火山作用响应[J].地学前缘,2003,10(3):135~148

27 马孝达.西藏中部若干地层问题讨论[J].地质通报,2003,22(9):695~698

28 邱旭明,严元峰,唐焰.苏北盆地下闵杨油田的发现及意义[J].石油与天然气地质,2007,28(5):14~17

29 朱弟成,潘桂棠,莫宣学,等.印度大陆和欧亚大陆的碰撞时代[J].地球科学进展,2004,19(4):565~571

(编辑 高 岩)

(上接 139 页)

4.8 加快制定页岩气技术标准和规范

加强政府引导,依托页岩气资源战略调查重大项目和勘探开发先导试验区的实施,加快页岩气资源战略调查和勘探开发技术标准和规范体系建设,促进信息资料共享和规范管理。加强知识产权保护。积极参与页岩气国际标准制定。

总之,页岩气是一种新型的非常规油气资源,是油气资源勘探开发新的重要领域,由于党中央和国务院对页岩气发展的高度重视,有各大油公司的积极支持、广大油气地质工作者的艰苦努力和卓有成效的工作,可以预见在不远的将来,我国页岩气领域定会为缓解我国油气能源紧张和建设环保型经济中起到重要的促进作用。

参 考 文 献

1 Daniel M J,Ronald J H,Timer U,et al. Unconventional shale-gas systems:the Mississippian Barnett Shale of north-cent ral Texas as one model for thermogenic shale-gas assessment [J]. AAPG Bulletin,2007,91(4):475~499

2 《页岩气地质与勘探开发实践丛书》编委会.北美地区页岩气勘探开发新进展[M].北京:石油工业出版社,2009

3 李新景,胡素云,程克明.北美裂缝性页岩气勘探开发的启示

[J].石油勘探与开发,2007,34(4):392~400

4 Kuuskraa V A. Unconventional natural gas industry: Savoir or Bridge[R]. EIA Energy Outlook and Modeling Conference,2006

5 张抗,谭冬冬.世界页岩气资源潜力和开发现状及中国页岩气发展前景[J].当代石油石化,2009,17(3):9~12

6 闫存章,黄玉珍,葛泰梅.页岩气是潜力巨大的非常规天然气资源[J].天然气工业,2009,29(5):1~6

7 张金川,汪宗余,聂海宽,等.页岩气及其勘探研究意义[J].现代地质,2008,22(4):640~644

8 潘继平.页岩气开发现状及发展前景[J].国际石油经济,2009,11:12~15

9 李建忠,董大忠,陈更生,等.中国页岩气资源前景与战略地位[J].天然气工业,2009,29(5):11~16

10 张金川,徐波,聂海宽,等.中国页岩气资源勘探潜力[J].天然气工业,2008,28(6):136~141

11 金之钧,蔡立国.中国海相油气勘探前景、主要问与对策[J].石油与天然气地质,2006,27(6):722~730

12 伍新和,张丽,王成善,等.西藏羌塘盆地中生界海相烃源岩特征[J].石油与天然气地质,2008,29(1):348~353

13 张金川,姜生玲,唐玄,等.我国页岩气富集类型及资源特点[J].天然气工业,2009,29(12):1~6

14 李玉喜,聂海宽,龙鹏宇,等.我国富含有机质泥页岩发育特点与页岩气战略选区[J].天然气工业,2009,29(12):115~118

15 张金川,金之钧,袁明生.页岩气成藏机理和分布[J].天然气工业,2004,24(7):15~18

(编辑 张亚雄)