

文章编号:1009-2722(2013)07-0001-10

# 从陆内到陆缘:中国东部古近纪断陷盆地的深部背景及沉积特征

张 威<sup>1</sup>, 蒙 轸<sup>2</sup>, 许淑梅<sup>1,3\*</sup>, 李灵波<sup>1</sup>, 李建伟<sup>1</sup>, 冯怀伟<sup>1</sup>, 徐琦松<sup>1</sup>,  
李 萌<sup>1</sup>, 张海洋<sup>1</sup>, 吴 鹏<sup>1</sup>, 刘 智<sup>1</sup>

(1 中国海洋大学地球科学学院, 青岛 266100; 2 甘肃省地矿局第二地质矿产勘查院, 兰州 730020;

3 海底科学与探测技术教育部重点实验室, 青岛 266100)

**摘 要:**太平洋板块、印度板块和欧亚板块的演化对中国东部古近纪沉积盆地的沉降及充填具有控制作用。讨论了我国东部新生代断陷盆地群的深部构造背景,在相对统一的板块构造背景中初步分析了陆缘断陷盆地和陆内断陷盆地的形成演化与周边板块主要构造运动事件的关系,并对这种关系的一致性进行了简要讨论。在此基础上,对不同构造演化阶段内的陆缘和陆内断陷盆地的沉积建造特点和沉降中心迁移规律进行了对比分析,对位于中国东部复杂构造体制内不同位置的陆缘与陆内断陷盆地每个构造演化阶段的沉积响应特征及其一致性和差异性进行了初步研究。将东部陆内和陆缘断陷盆地的沉积建造渐变特征或变异规律与深部构造过程表现进行综合分析,对深入理解我国东部陆相断陷盆地群系的盆间关系,深入认识新生代断陷盆地浅部过程与深部过程之间的耦合具有重要理论意义。

**关键词:**新生代;陆内断陷盆地;陆缘断陷盆地;沉积特征;中国东部

中图分类号:P736.5

文献标识码:A

## 1 中国东部新生代陆内、陆缘断陷盆地深部背景

从全球板块构造格局分析,中国东部处于西太平洋三角带区域<sup>[1]</sup>,是印度—澳大利亚板块和太平洋板块与欧亚板块的巨型汇聚地带,也是全球汇聚中心,其东西两侧分别与特提斯构造域和西太平洋构造域演化相关。

印支运动以来,我国东部大地构造格局发生了重大改组,古生代长期保持的近 EW 向构造为 NE 向环太平洋构造系取代,陆内的薄皮冲断滑脱作用以及伴随着太平洋岛弧海沟系的产生,中国东部在中生代造山褶皱基底之上形成了数量、规模庞大的新生代断陷盆地群<sup>[2]</sup>,渤海湾盆地、苏北—南黄海盆地和东海陆架盆地相继在弧后部位出现是晚中生代以来亚洲东部活动大陆边缘的构造演化经历的主要事件,因此,许多学者曾用弧后扩张模式解释我国东部新生代断陷盆地群的成因<sup>[3-7]</sup>。Tapponnier 与 Molnar<sup>[8,9]</sup>对东亚大陆构造提出了开创性的论点,认为印度板块对欧亚大陆的楔入是造成东亚大陆构造变形的主导因素,这种楔入构造模式是三叠纪以来东亚大陆构造的主要特征。

中国东部及东亚陆缘的构造演化是一个统一

收稿日期:2013-05-06

基金项目:中国石化股份胜利油田分公司西部新区研究中心攻关项目

作者简介:张 威(1986—),男,在读硕士,主要从事海洋沉积学、层序地层学研究工作. E-mail:wei\_ouc@163.com

\* 通讯作者:许淑梅(1970—),女,博士,副教授,主要从事海洋沉积学、层序地层学研究工作. E-mail:xsm@ouc.edu.cn

渐变的过程。由于陆壳增生、边缘海拉开,中国大陆远离了俯冲带,使得中国东部新生代陆块构造环境从活动大陆边缘转化为板内环境。从地球物理资料揭示的地壳结构与盆地分布等特征可以看出,中国东部断陷盆地群的发育主要与岩石圈的均匀拉伸变薄作用有关,盆地裂陷阶段,强烈的火山活动在东部广大区域内广泛发生,表明发生过区域性地幔隆起并伴随相应的热事件,在盆地发育部位,岩石圈强烈减薄,并发生软流层的上隆<sup>[10-12]</sup>。对中国东部新生代火山岩所进行的大量研究表明,其主要属于大陆拉斑玄武岩序列,与板块内部裂陷作用有关,<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr等岩石化学资料也提供了佐证<sup>[13]</sup>。

Huang和Zhao<sup>[14]</sup>与Zhao<sup>[15]</sup>通过对东亚及西太平洋的高精度层析成像资料分析,获得了关于西太平洋俯冲板块的深部前缘和沿马里亚纳海沟俯冲板块的深部成像重要成果,结合横跨印度尼西亚班达弧、苏门答腊或青藏高原东侧的层析成像结果,可以发现东亚地区下部的地幔在一系列剖面上总体为下沉的新特提斯板块和古太平洋板块构成的“V”字型结构。通过不同剖面间的对比,发现这些“V”字开口由南向北变宽,“V”字的尖角逐步抬升,夹角变大而类似“U”型。由于两侧大洋板块携带大量的水分俯冲,使得该区地幔,也就是Maruyama等<sup>[1]</sup>所提出的WPTZ(西太平洋三角区)或BMW(大地幔楔区)<sup>[15]</sup>的深部地幔易发生水化现象,总体上受物质平衡原则的制约,使得东部物质上涌,且上升强度可能与印度板块和欧亚板块的碰撞由南向北逐渐减弱有关,从而导致中国东部岩石圈减薄、地壳破裂、岩浆活动增强、地震活跃、重力梯度带形成、大一超大型金矿形成、盆地形成和油气富集等浅部效应。Liu等<sup>[16]</sup>的数值模拟结果表明,大量地幔岩石圈物质沿印度—澳大利亚板块与欧亚板块的碰撞带处持续注入,约50 Ma后,软流圈地幔侧向挤出明显,并导致中国东部弥散性的软流圈上涌、岩石圈裂解、火山作用广泛发育、浅层挤出构造发育、盆地向东跃迁。这种上涌和Huang和Zhao<sup>[14]</sup>的深部层析成像结果一致。

除重力资料反演和天然地震层析所提供的变化趋势外,Flower等<sup>[17]</sup>根据岩石地球化学参数论证了印度板块与欧亚板块碰撞以来发生的“自

西向东”的侧向“地幔流”,并将这些成果作为边缘海形成的成因假说证据,认为侧向地幔流使太平洋俯冲板片后退导致岩石圈拉张和边缘海形成,这一假说也提供了新生代伸展断陷盆地的深部背景。特提斯除了在中国西部形成巨大的青藏高原和挤压性盆山系统,还在东部形成大量逃逸盆地群,即伸展盆地和伸展性盆岭格局。

无独有偶,发育在太平洋东岸、北美西部的盆岭区也是典型的大陆裂陷作用区<sup>[18]</sup>。北美西部大陆裂陷作用区以拉伸断块山和被红层及火山岩充填的盆地平行间隔排列为特征,现今的伸展率大约为1 cm/a<sup>[19]</sup>,总伸展量可与红海主裂陷伸展量比较,红海南东端已达350 km<sup>[20]</sup>,远大于东非裂谷的伸展量(Kenya裂谷为15 km)。另外,我国西南部陆缘带与印度大陆板块之间古近纪陆—陆碰撞造山带还仅限于喜马拉雅、冈底斯山一带,而其后续从中国西部到哈萨克斯坦广袤的特提斯北部地域,大面积准平原化、泛盆地化,处在与现今亚洲大陆东部相似的薄壳伸展的构造环境<sup>[21]</sup>。长期以来,盆岭区一直作为解决大陆裂陷作用过程的关键地区被广泛深入研究。

考虑到我国东部新生代断陷盆地的位置差异,将渤海湾盆地等位于陆块内部的盆地称为陆内断陷盆地;将发育于大陆架地区的断陷盆地如东海陆架盆地称为陆缘断陷盆地<sup>[22]</sup>。总体上来说,中国东部陆内断陷盆地和陆缘断陷盆地处于相同的大地构造背景,既受太平洋板块俯冲的影响,又受印度—亚洲大陆碰撞的远程效应的控制,两大构造体系域在中国东部新生代断陷盆地演化的各个时期所起的作用既有差异,又有继承。

从平面构造格局考虑,太平洋“后退式俯冲”和印度洋“前进式俯冲”及其对东部断陷盆地的大地构造演化有重要影响,但是周边造山带——青藏高原(喜马拉雅造山带,为挤出构造)和台湾造山带(为楔入构造)的演化对东部断陷盆地的影响也不容忽视<sup>[23]</sup>,周边造山带的形成和演化也影响了东部新生代断陷盆地内部沉积相分布和盆地沉降中心的变化。

在对东部新生代断陷盆地的大地构造背景取得较为一致认识的情况下,一些学者试图进一步探究陆内裂陷盆地和陆缘裂陷盆地在沉积建造等其他特征上的本质关联。陈建文等<sup>[24]</sup>利用新华

夏构造体系作为区域构造背景对东海陆架盆地与松辽盆地的油气形成与分布进行了对比分析;王涛<sup>[25]</sup>注意到位于不同地区的东部裂陷盆地处在不同的发育阶段,根据裂谷盆地发育演化阶段,将中国东部裂陷盆地分为 4 种类型:裂谷前期盆地(东海陆架盆地)、裂谷断陷期盆地(以渤海湾盆地为代表)、裂谷拗陷期盆地(以松辽盆地为代表)、复合型残留盆地(主要见于中国东部南方地区,如三水盆地)。

新生代东部裂陷区周边板块构造事件主要包括:①古新世(60~65 Ma),印度和欧亚板块开始陆—陆碰撞,新生代盆地开始裂陷、断陷;②早始新世(56~50 Ma),印度和欧亚板块发生强烈陆—陆碰撞,西菲律宾海盆和班达海开始扩张;③中晚始新世(43~39 Ma),太平洋运动方向由 NNW 向转为 NW 向,皇帝海岭转折为夏威夷海岭,青藏高原快速隆升;④渐新世初(34~32 Ma),西菲律宾海盆停止扩张,南海启动扩张,区域构造发生向东的迁移;⑤渐新世末(25~23 Ma),四国和帕里西维拉海盆开始扩张,南海结束扩张,青藏高原再次快速隆升,中国东部绝大多数盆地变为拗陷盆地;⑥中中新世(15~13 Ma),冲绳海槽出现,区域东西向挤压导致 SN 向褶皱发育,全区进入右行压扭阶段;⑦中新世末(6~5 Ma),吕宋岛与台湾岛碰撞,SN 向马里亚纳海槽扩张,区域构造再次向东迁移。

## 2 中国东部新生代陆内、陆缘断陷盆地沉积特征

### 2.1 陆内、陆缘断陷盆地发育过程中的关键事件

中国东部陆缘断陷盆地既与陆内裂陷盆地有着“质”的相同起源,又与边缘海盆地有着“貌”的相似之处,但由于陆内裂陷区与陆缘区的边界条件不同,且东部陆内与陆缘区在太平洋后退式俯冲、印度洋前进式俯冲区域构造格架内的相对位置不同,其对应深部地幔结构也不完全相同,即前面论述的东亚地区下部地幔由南向北,下沉的新特提斯板片和古太平洋板片构成的“V”字型结构向“U”字型结构变化<sup>[14,15]</sup>,深部结构的变化必然导致陆内裂陷盆地和陆缘裂陷盆地在演化进程中

出现差异。

### 2.2 陆内、陆缘断陷盆地的沉积特征

#### 2.2.1 陆内断陷、陆缘断陷盆地的沉积特征

中国东部陆内和陆缘断陷盆地具有以下共同特征:中国东部陆缘区与陆内裂陷盆地区的基底性质基本一致,而与具大洋型地壳的边缘海盆地基底相差甚远<sup>[26,27]</sup>;陆缘与陆内断陷盆地的构造格局及演化阶段相似;不论是陆内裂陷还是陆缘裂陷,其裂陷作用起源于深部因素,即地幔隆起和伴随的热事件,以及地壳变薄和在水平方向上的伸展;盆地形态以半地堑为主,部分为地堑;盆缘控制性同声断裂呈浅部陡、深部缓的犁状或铲状,并消失于一定深度,为典型的伸展构造<sup>[28,29]</sup>;盆地充填序列和沉积相的配置较为相似,皆受构造格架的明显控制,在盆缘断裂内侧发育冲积扇—扇三角洲体系或水下扇体系,较深湖沉积和水下重力流沉积普遍存在<sup>[30]</sup>;皆形成于区域应力场转化的构造背景下,即从盆地形成前的左旋压扭体制转化为右旋张扭体制后才出现断陷盆地系<sup>[22,31]</sup>;盆地裂陷期、断陷期和拗陷期 3 个阶段的演化规律清晰,在拉伸过程均具有幕式的特点<sup>[32]</sup>。这种幕式过程的动力学响应主要体现在多期性的同沉积断裂活动、构造格架的变化、幕式的沉降过程、多个由古构造运动面限定的区域性沉积旋回(层序)的发育、沉积体系的分布、盆地构造形态、沉积—沉降中心的迁移规律等诸多方面均有许多相似之处。

#### 2.2.2 陆内断陷盆地——渤海湾盆地沉积特征

渤海湾盆地新生代断陷初期为三角洲—泥坪—膏盐湖沉积充填形式。主要沉积为盐湖沉积体系的红色岩系、膏泥岩、盐韵律层及湖相沉积,由盆地短轴方向物源供屑,在此期间尚伴有基性、中性火山喷发岩。

渤海湾盆地新生代断陷盆地扩张期常见陆地沉积体系的冲积扇或河流沉积、滨岸沉积体系及深湖沉积体系,以短轴方向为物源供屑。陆地冲积扇一般前积直接进入深水湖内,形成受边界正断层制约的陆岸水下扇,为一套粗碎屑沉积组成的重力流性质扇体,沉积厚度较大,扇体面积大小不等,有时可沿湖底发育深水水道,这种水道可能是水下扇体水道延伸形成。若物源来自缓坡岸,

则多形成扇三角洲或辫状三角洲。

渤海湾盆地新生代断陷盆地扩张晚期或进入萎缩期常发育河流冲积平原—三角洲或砂质滩坝或砂泥坪(局部为碳酸盐岩滩坝)—浅湖—深湖或滑塌浊积岩,分布有陆地沉积体系、滨岸沉积体系、浅水碳酸盐岩沉积体系、浅湖及局部的深湖沉积体系,多由盆地短轴方向物源供屑。河流携带陆源碎屑在滨岸带形成三角洲、滨岸砂质滩坝或滨岸砂泥坪。在陆缘碎屑供应不足区,如古岛湾口、封闭的潟湖等处形成碳酸盐岩滩坝或局部形成生物礁。

渤海湾盆地新生代断陷盆地进入萎缩期后,盆地充填趋于平缓,断层不再有剧烈活动,盆地开阔平缓,常发育河流冲积平原—三角洲或滩坝—浅湖沉积充填形式,主要有陆地、滨岸及浅湖沉积体系。

渤海湾盆地新生代转入坳陷期,即盆地演化到平原化阶段后,形成大面积的河流冲积平原,主要以陆地沉积体系充填全盆,以广布砂质低弯度曲河流为主,而其上部则发育有砂质高弯度河流。盆地边缘靠近母岩物源区也有粗碎屑的砂质辫状河或陆地冲积扇沉积。新近纪的馆陶组和明化镇组沉积期为此种形式沉积。

### 2.2.3 陆缘盆地——东海陆架盆地沉积特征

由于东海陆架盆地位于陆缘近海区,与陆内

断陷盆地新生代的沉积主要有2点不同:①与陆内断陷盆地以陆相沉积为主不同,其沉积作用受海平面变化影响明显,在高海平面时期分别发育了相应的海相沉积;②与陆内盆地各坳陷基底和盖层均受局限的格局不同,陆缘盆地内各次级盆地构造发育阶段和沉积建造具有明显的先后次序和向东迁移的特征。

东海陆架盆地古近纪具有“东西分带、南北分段”的总体沉积特征,该沉积格局是受区域构造和深部构造联合制约下的综合结果。在东海陆架盆地西带坳陷,早古新统月桂峰组属裂陷期,在西带的长江凹陷、丽水—椒江凹陷均为陆相沉积,主要发育陆相的三角洲—扇三角洲—滨浅湖沉积体系。中古新统灵峰组属陆内裂陷盆地的断陷期,受东海海平面上升影响,海水自盆地的东南方向入侵,在西带坳陷南部的丽水—椒江凹陷和钱塘凹陷沉积海相地层,主要发育海相三角洲—扇三角洲—滨浅海—半深海沉积体系,盆地处于欠补偿状态,形成厚层暗色、黑色泥岩,为西带坳陷的主力烃源岩层。由于海进范围尚未波及西带坳陷北部的长江凹陷,该区仍接受陆相沉积,发育河流—三角洲—滨浅湖沉积体系。盆地断陷期“南海北陆”的沉积格局也体现了东海陆架盆地“南北分段”的构造特征(图1)。

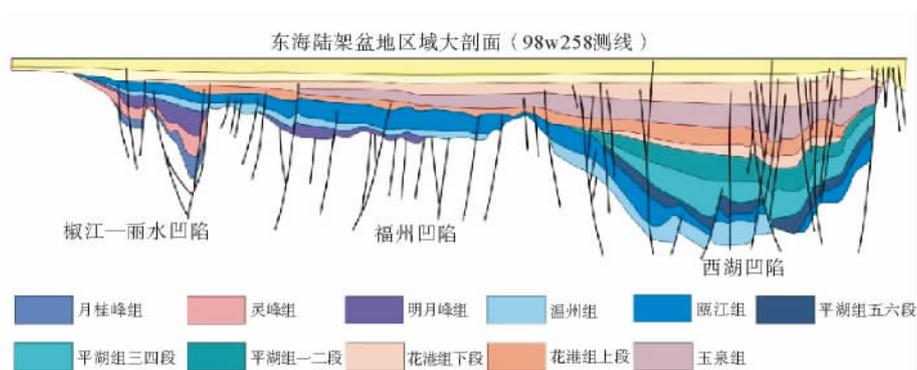


图1 东海陆架盆地区域大剖面

Fig. 1 The regional profile of the East China Sea Shelf Basin

西带盆地断陷末期,其南部的丽水—椒江凹陷、钱塘凹陷沉积海相地层,盆地的沉积范围比中古新统灵峰组有所扩大,该时期开始发生大规模的海侵作用,丽水—椒江凹陷和钱塘凹陷完全连通形成统一整体(此时与长江凹陷仍未连通),呈

现出开阔浅海环境,在前期分割凹陷的凸起之上(如灵峰低凸起早—中古新世为分割丽水凹陷的凸起,而在晚古新世没于水下,形成水下低台地)形成碳酸盐岩台地沉积体系,发育海相三角洲—扇三角洲—碳酸盐岩台地—滨浅海—半深海沉积

体系。西带拗陷北部的长江凹陷主要发育陆相交互沉积。盆地断陷末期随着陆源碎屑供应的减少,盆地内沉积物的物源容易发生由单一的“陆源”向“混源”(陆源+内源)的变化,这一点与陆内断陷盆地断陷末期的总体沉积物源类型的转变类似。

中晚始新世(43~39 Ma)时,太平洋“后退式俯冲方向”由 NNW 向转为 NWW 向,皇帝海岭转折为夏威夷海岭。在东海区,瓯江运动结束了西部拗陷带的断陷沉降期,盆地沉降中心向东部

迁移,形成东海陆架盆地的东部拗陷带——浙东拗陷,接受中始新统平湖组海陆交互相含煤系沉积(图 1)。浙东拗陷北部的西湖凹陷东带拗陷在早期平湖组五六段沉积期为正常海相环境;平湖组三四段为河口湾—潮坪—潟湖—滨浅海沉积体系,随着钓鱼岛—琉球压性岩浆弧隆升造山作用的持续加强及相对高海平面期,演变为平湖组一二段的潮控三角洲—潮坪—潟湖沉积体系;浙东拗陷南部的钓北凹陷为非障壁砂质海岸,地形宽缓,形成河口湾—滨浅海沉积体系(表 1)。

表 1 东海陆架盆地西带拗陷和东带拗陷古近系沉积特征对比

Table 1 Comparison of the Paleogene depositional characteristics between the western depression and the eastern depression of East China Sea Shelf Basin

沉积特征	西带拗陷	东带拗陷
盆地规模	盆地规模中等,盆地窄而深,沉积较厚	盆地规模大,盆地宽而浅,沉积厚度巨厚
盆地性质	陆缘断陷盆地	陆缘—弧后受局限陆表海盆地—开阔滨浅海、拗陷盆地
盆地发育期及演化阶段	盆地发育早,主要接受古新世—早中始新世沉积;盆地演化阶段可划分为裂陷期、断陷期和拗陷期	盆地发育晚,主要为晚始新世—渐新世—中新世沉积;盆地演化阶段可划分为裂谷期、拗陷期和反转沉降期
盆地基底沉降速率	基底沉降速率由早古新世裂陷期盆地的 750 m/Ma 减至晚古新世拗陷期盆地的 250 m/Ma;早始新世的沉降速率为 100 m/Ma	中—晚始新世盆地基底沉降速率为 960 m/Ma;渐新世盆地基底的沉降速率为 80 m/Ma;中新世盆地基底的沉降速率仅为 60 m/Ma
物源	陆源沉积、(陆源+内源)混合沉积	陆源沉积、(内源+陆源)混合沉积
沉积环境	陆相(早古新世)—海相(中晚古新世)—海陆交互相(早中始新世)	海相(晚始新世早期)—海陆过渡相(晚始新世中晚期)—陆相(渐新世)
沉积的主控因素	①构造运动(雁荡运动、瓯江运动);②海平面变化;③物源供应;④气候	①构造运动(玉泉运动、花港运动);②海平面变化;③气候及水化学条件;④物源供应
沉积体系类型	湖相三角洲、滨浅海相三角洲、扇三角洲、滑塌浊积扇、滨浅海、滨浅湖、碳酸盐岩台地,沉积体系较为简单	曲流河、湖相三角洲、辫状河三角洲、潮控三角洲、冲积扇、河口湾、潮坪、潟湖、滨浅湖、滨浅海、滨浅湖/海滩坝沉积体系,沉积体系较为杂乱

随着钓鱼岛—琉球隆褶带强烈抬升运动,始新世末玉泉运动结束了西湖凹陷的受局限海的海陆过渡相沉积发育期。渐新世开始,西湖凹陷转变为拗陷阶段,钓鱼岛的进一步隆升使东带拗陷与广海隔绝,形成渐新世陆相拗陷盆地,盆地由张应力场转变为挤压应力场,除局部斜坡主断裂继续活动外(西湖凹陷北段),张性断裂停止活动,以受海侵影响的陆相沉积为主,并具有前陆盆地的某些特征,充填了花港组巨厚陆相沉积地层,主要发育冲积扇—曲流河—曲流河三角洲—辫状河三角洲—滨浅湖沉积体系(图 1、表 1)。

### 2.3 中国东部新生代陆内、陆缘断陷盆地沉降中心迁移规律

陆内断陷盆地和陆缘断陷盆地的沉降中心具有相同的迁移方向和近似的迁移规律。陆内裂陷盆地的沉降中心随时间的推移定向向东迁移的现象在渤海湾盆地表现明显<sup>[33]</sup>。在渤海湾盆地西缘和北缘以古新统和早始新统孔店组沉积的厚度在其新生界各组所占比例最大(在南缘昌潍拗陷其厚度大于上覆所有地层之和),而且其厚度比该组在海域的厚度增加 2~3 倍。这类“早断早衰”型拗陷的油气藏大部甚至全部都在孔店组内<sup>[34]</sup>。向盆地内部到黄骅拗陷和济阳拗陷的主

体部位,形成始新统沙河街组三、四段和沙河街组一段至渐新统东营组的两大套储层和主力烃源岩的组合,与“早断早衰”型坳陷比较,其储层和烃源岩层位均发生上移,属于“继承发育”型坳陷。渤海湾盆地东部渤中坳陷渐新统东营组和上覆的新近系、第四系最发育,其厚度可达 8 000 m,其时沉降速率为盆地西北缘地区该期沉降速率的 4 倍左右,主要储层进一步上移至新近系馆陶组和明化镇组<sup>[35]</sup>,为“晚断晚衰”型坳陷(图 2)。

陆缘断陷盆地的沉降中心新生代也具有向东迁移的特点。东海陆架盆地东带断陷和西带断陷存在着演化时间上的差异,发育 2 个时间不同、特点各异的断陷带,裂陷发育期由西向东逐渐变新,沉降中心自西向东迁移。晚白垩世晚期—早古新世,西部坳陷带发生裂陷,该期东海陆架盆地的沉积建造只限于在东海陆架盆地西带诸坳陷:以椒江、丽水凹陷为代表,往北经过钱塘凹陷、长江口凹陷、苏北坳陷、南黄海坳陷,往南进入台湾海峡的彭佳屿凹陷、南日岛凹陷、澎湖凹陷等<sup>[36]</sup>;甌江

运动以后(始新世)转为裂后沉降;晚古新世,随着盆地裂陷由西向东逐渐迁移,中央隆起带开始接受沉积。始新世中期,西部坳陷带和中央隆起带抬升并遭受剥蚀。始新世中期,东海陆架区发生了以剪切挤压作用为主的玉泉运动,钓鱼岛形成水下隆起,盆地向东具有明显的构造跃迁,形成大量压扭型雁行排列的褶皱雏形,东部沉降进入鼎盛期,此时整个东海陆架盆地呈现西高东低的大型“匙状结构”(图 1),由此拉开东海陆架盆地东带坳陷沉积演化的序幕。东带为始新世裂陷带,自晚始新世进入断陷期,形成东海陆架盆地的沉降中心,花港运动(渐新世末)转为裂后沉降。中新世,盆地沉降中心再次向东跃迁至冲绳海槽盆地,在东缘冲绳海槽西北坡,中新世开始裂陷,上新世晚期才转为裂后沉降阶段(表 2)。

因此,东海陆架盆地新生代具有沉积沉降中心由西向东跃迁的特征,西部坳陷带以上白垩统一古新统的断陷沉积为主,东部坳陷带以巨厚的始新统一中新统沉积为主(图 1)。

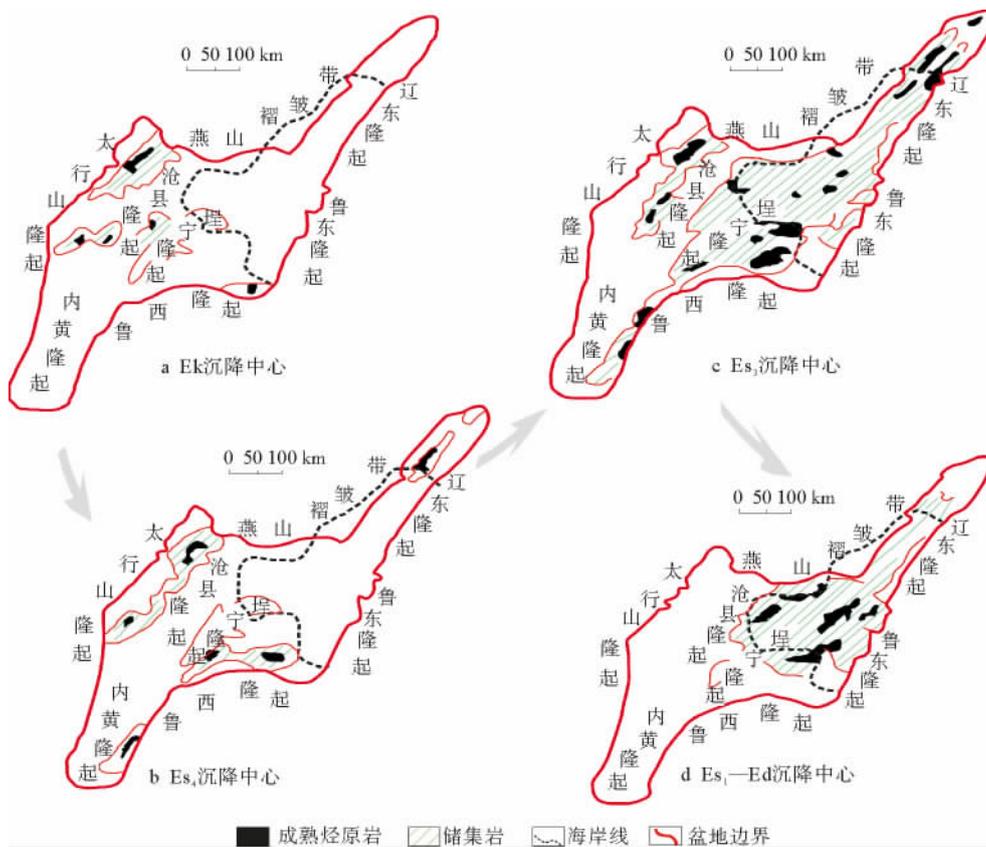


图 2 渤海湾盆地新生代各期沉降中心时空迁移平面演化(据文献[6],略有修改)

Fig. 2 Distribution of Cenozoic subsiding centers in Bohai Bay Basin in different stages(modified from reference [6])

表 2 东海陆架盆地和菲律宾海盆地东西分带性质及沉降中心向东迁移特征  
Table 2 The west-east zonation and subsiding center eastward migration from the East China Sea Continental Shelf Basin to the Philippine Sea Basin

	东海陆架盆地			菲律宾海盆地		
	琉球海沟以西或琉球岛弧隆起以西			马里亚纳海沟以西或马里亚纳岛弧隆起以西		
盆地位置	西带坳陷(长江凹陷、丽水—椒江凹陷)	东带坳陷(浙东坳陷、台北坳陷、彭佳屿坳陷)	东部聚敛边缘(广义冲绳海槽)	西带盆地(西菲律宾海盆)	东带盆地(四国海盆、帕里西维拉盆地)	东部聚敛边缘(马里亚纳海槽盆地)
盆地开启时间及沉降中心	盆地早古新世开启,沉降中心位于西带坳陷	盆地晚始新世开启,沉降中心东迁至东带坳陷	盆地中上新世开启,沉降中心再次东迁,至冲绳海槽	盆地早古新世开启,沉降中心位于西带盆地	盆地晚始新世—渐新世开启,沉降中心东迁至东带盆地	盆地中上新世开启,沉降中心再次东迁至马里亚纳海槽
盆地走向	NE	NE	EW—NE	SN—NNW	SN—NNW	NNW—EW
盆地性质	陆缘裂陷盆地	陆缘断陷	弧后断陷	弧后盆地	弧后盆地	弧后盆地
盆地基底属性	大陆壳,向东减薄			洋壳,向东变新		

对比浅部渤海湾向东的构造—沉积—沉降中心的迁移规律,以及东海陆架盆地向东跃迁规律,认为深部过程表现为西部深层向东涌进,东部深层向东回卷后撤,这个过程简称为“西进东退”<sup>[16]</sup>。深部的“西进东退”与浅部过程的中生代晚期以后块体向南逃逸、盆地向北或向东跃迁具有动力学上的一致性。

东海陆架盆地沉降中心由西带向东带的迁移与皇帝海岭转折为夏威夷海岭的时间(47 Ma)大体相同<sup>[37]</sup>。皇帝海岭转折为夏威夷海岭指示了板块运动方向的巨大变化,太平洋板块的运动和俯冲方向自此由 NNW 向转为 NWW 向,原来的南北走向的转换断层变为新的俯冲带<sup>[38]</sup>,这也正是印度板块与欧亚板块发生碰撞的时间。

东海陆架盆地除了与陆内裂陷盆地具有上述的共性之外,东海陆架盆地沉降中心由西带向东带的迁移与菲律宾海盆沉降中心由东槽向西槽的迁移时间不谋而合,均在中始新世(表 2)。东海陆架盆地“西带裂陷—东带断陷—东缘岛弧系(冲绳及其西侧的钓鱼岛)”的组合规律与菲律宾海盆“三位一体”的沟—弧—盆体系也具有相似性<sup>[41]</sup>。菲律宾海盆“三位一体”的沟—弧—盆体系为“成熟”了的弧后盆地<sup>[42]</sup>,其中西带西菲律宾海盆是菲律宾海板块内最老、最大的盆地,形成于 65~45 Ma<sup>[43]</sup>;东带四国海盆和帕里西维拉海盆形成于 27~15 Ma<sup>[44]</sup>,与其东缘的小笠原—马里亚纳

弧共同构成菲律宾海盆“三位一体”的沟—弧—盆体系(表 2)。菲律宾海盆总体上具有“东西不对称、南北不对等”的结构特点<sup>[45-47]</sup>,东海陆架盆地整体上“东西分带、南北分段”的构造特征也是十分清晰的<sup>[48]</sup>。

菲律宾海板块的周缘都以俯冲带为界与欧亚板块分隔,直到中新世末期菲律宾海板块和欧亚板块的碰撞形成了台湾岛,这一过程直到今天还在延续<sup>[46,47]</sup>。显然,印度—亚洲大陆碰撞的远程效应不会影响到菲律宾海板块,菲律宾海盆的形成和演化主要与太平洋板块的俯冲有关。东海陆架盆地西带裂陷—东带断陷—东缘岛弧系(冲绳海槽)与菲律宾海盆“三位一体”的沟—弧—盆体系的相似性又使得我们必须重视陆缘断陷盆地与边缘海盆地某些相似之处,并促使我们思考东部陆缘盆地是否就是陆内裂陷盆地和边缘海盆地的过渡体系;从陆内到陆缘再到边缘海,是否构成了巨型的成因连续、沉积建造规律渐变的盆地群系。

#### 2.4 中国东部新生代陆内、陆缘断陷盆地沉积速率变化特征

自西向东从陆内断陷盆地到陆缘断陷盆地,盆地沉降速率具有逐渐升高的趋势,变化趋势明显。陆内断陷盆地中以济阳坳陷为例,裂陷期沉降速率约 180 m/Ma,随后减至 80 m/Ma;断陷期最大沉降速率为 290 m/Ma,随后减至 180 m/

Ma; 拗陷期盆地整体抬升, 最大构造沉降速率  $40 \text{ m/Ma}$ <sup>[49]</sup>。而陆缘盆地在 3 个演化阶段的沉降速率均大得多, 以东海陆架盆地为例, 裂陷期沉降速率约  $750 \text{ m/Ma}$ , 随后减至  $250 \sim 100 \text{ m/Ma}$ ; 断陷期沉降速率为  $960 \text{ m/Ma}$ , 随后减至  $80 \text{ m/Ma}$ ; 拗陷期沉降速率为  $60 \text{ m/Ma}$ <sup>[50]</sup>。

### 3 讨论与认识

喜马拉雅造山带和台湾造山带分别是新生代特提斯构造域和环太平洋构造域的最主要造山事件。对于受特提斯构造域和环太平洋构造域联合作用下的东部陆内和陆缘断陷盆地而言, 其形成和演化与周边新生代造山带的形成关系密切。尤其是要特别重视新特提斯构造域喜马拉雅造山带的阶段性快速隆升与东部陆内和陆缘盆地阶段性加速沉降之间的关系; 环太平洋构造域台湾造山带的形成、发育与东部陆内和陆缘断陷盆地阶段性隆升并出现反转构造及不同的盆地反转程度之间的关系和差异也非常重要。在深入认识东部陆相断陷盆地群系的盆间关系、新生代断陷盆地浅部过程与深部过程之间的耦合、陆内断陷盆地和陆缘断陷盆地的构造控盆、盆地控相、盆地充填特征的基础之上, 总结陆内和陆缘断陷盆地在沉积特征的连续性与变异规律。

研究陆内和陆缘断陷盆地发育演化进程中沉积特征的渐变特征及变异规律, 还需对以下问题进行深入探讨: ①在相对统一的板块构造背景中分析陆内和陆缘断陷盆地的形成演化与主构造运动幕次事件的关系, 并对这种关系的一致性进行分析; ②陆内和陆缘断陷盆地与新造山运动形成的不同造山带(喜马拉雅造山带和台湾造山带)之间的关系及这种关系的异同; ③对位于中国东部复杂构造体制中不同位置的陆内与陆缘断陷盆地每个构造演化阶段的沉积响应特征及其一致性和差异性研究; ④陆内和陆缘断陷盆地内构造岩相带分析及类似构造岩相带沉积充填模式的比较; ⑤中国东部陆内断陷盆地—陆缘断陷盆地—弧后盆地在沉积建造特征上是连续性的渐变还是差异性的突变。

#### 参考文献:

[1] Maruyama S, Santosh M, Zhao D. Superplume, supercon-

tinant, and post-perovskite; mantle dynamics and anti-plate tectonics on the Core-Mantle Boundary[J]. *Gondwana Research*, 2007, 11: 7-37.

- [2] 李三忠, 索艳慧, 戴黎明, 等. 渤海湾盆地形成与华北克拉通破坏[J]. *地质前缘*, 2010, 17(4): 64-89.
- [3] Karig D E. Origin and development of marginal basins in the western Pacific[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1971, 76: 2 542-2 561.
- [4] 环文林, 时振梁, 鄢家全. 中国东部及邻区中生代构造演化与太平洋板块运动[J]. *地质科学*, 1982(2): 179-190.
- [5] 郭令智, 马瑞士, 施央申, 等. 论西太平洋活动大陆边缘中—新生代弧后盆地的分类和演化[J]. *成都理工学院学报*, 1998, 25(2): 134-144.
- [6] 孙肇才. 从东海石油地质重要进展看西太平洋大陆边缘新生代盆地的构造演化——一种海沟向洋后退的残余弧后盆地演化模式[J]. *海相油气地质*, 2004, 9(1-2): 1-17.
- [7] 郑球根, 周祖翼, 蔡立国, 等. 东海陆架盆地中生代构造背景及演化[J]. *石油与天然气地质*, 2005, 26(2): 197-201.
- [8] Tapponnier P, Molnar P J. Active faulting and tectonics of China[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1977, 82: 2 905-2 930.
- [9] Tapponnier P, Peltzer G, Le Dain A Y, et al. Propagating extrusion tectonics in Asia: new insights from simple experiments with plasticine[J]. *Geology*, 1982, 10: 611-616.
- [10] Nissen S S. Deep penetration seismic soundings across the northern margin of the South China Sea[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1995, 22: 407-433.
- [11] Zhang Y S, Tanimoto T. Global Love wave phase velocity variation and its significance to plate tectonics[J]. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1991, 66(3-4): 160-202.
- [12] Griffin W L, Zhang A, O'Rilly S Y, et al. Phanerozoic evolution of the lithosphere beneath the Sino-Korean Craton[C]//Flower M F J, Chung S L, Lo C H, et al. *Mantle Dynamics and Plate Interactions in East Asia*. *Geodynamics*, 1998, 27: 107-126.
- [13] 王东方. 中国东部中生代裂谷火山岩带[J]. *长春地质学院学报*, 1985(3): 49-56.
- [14] Huang J, Zhao D P. High-resolution mantle tomography of China and surrounding regions[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2006, 111: B09305.
- [15] Zhao D P. Multiscale seismic tomography and mantle dynamics[J]. *Gondwana Research*, 2009, 15: 297-323.
- [16] Liu M, Cui X J, Liu F T. Cenozoic rifting and volcanism in eastern China: a mantle dynamic link to the Indo-Asian collision?[J]. *Tectonophysics*, 2004, 393: 29-42.
- [17] Flower M, Tamaki K, Hoang N. Mantle extrusion: a model from dispersed volcanism and DUPAL like asthenosphere in East and the Western Pacific[C]//Flower M F J, Chung S L, Lo C H, et al. *Mantle Dynamics and Plate In-*

- teractions in East Asia. *Geodynamics*, 1998,27: 67-88.
- [18] Eaton G P. Geophysical and Geological Characteristics of the Crust of the Basin and Range Province; in *Continental Tectonics*[M]. Washington D. C : National Academy of Sciences, 1980;96-115.
- [19] Minster J B, Jordon T H. Vector constraints on western U. S. deformation from space geodesy, neotectonics, and plate motions[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1987, 92: 4 788-4 804.
- [20] Gettings M E , Blank H R , Mooney W D, et al. Crustal structure of southwestern Saudi Arabia[J]. *Journal of Geophysical Research* , 1986,91:6 491-6 512.
- [21] 葛肖虹,任收麦,马立祥,等. 青藏高原多期次隆升的环境效应[J]. *地学前缘*,2006,13(6): 119-120.
- [22] 王鸿祯,杨森南,刘本培,等. 中国及邻区构造古地理和生物古地理[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990:109-126.
- [23] 黄镇国,张伟强,钟新基,等. 台湾板块构造与环境演变 [M]. 北京: 海洋出版社,1995:10-34.
- [24] 陈建文. 东海陆架盆地与松辽盆地的类比分析[J]. *海洋地质与第四纪地质*,1994,14(3):19-32.
- [25] 王 涛. 中国东部裂谷盆地油气藏地质[M]. 北京:石油工业出版社, 1996:75-96.
- [26] 江为为,郝天珧,刘少华,等. 中国东部大陆与东海海域地质构造的相关性分析[J]. *地球物理学进展*,2004,19(1): 75-90.
- [27] 杨香华, 李安春. 东海大陆边缘基底性质与沉积盆地[J]. *中国海上油气(地质)*, 2003,17(1): 25-29.
- [28] Ziegler P A, Cloetingh S. Dynamic processes controlling evolution of rifted basins [J]. *Earth Science Reviews*, 2004,64:1-50.
- [29] 漆家福,杨 桥. 伸展盆地的结构形态及其主控动力学因素[J]. *石油与天然气地质*,2007,28(5): 634-640.
- [30] 赵澄林, 杨丛笑, 刘孟慧, 等. 渤海盆地早第三纪陆源碎屑岩相古地理学[M]. 北京: 石油工业出版社,1996.
- [31] 戴俊生,漆家福,陆克政,等. 渤海湾盆地早第三纪构造样式与油气藏的关系[J]. *石油大学学报(自然科学版)*, 1998,22(1): 1-5.
- [32] Ren J Y, Tamaki K, Li S T, et al. Late Mesozoic and Cenozoic rifting and its dynamic setting in Eastern China and adjacent areas[J]. *Tectonophysics*, 2002, 344 (3-4):175-205.
- [33] 张 抗. 渤海海域和滩海勘探工作的新进展及发展方向 [J]. *石油学报*, 2002,23(5):1-6.
- [34] 赵文智,池英柳. 渤海湾盆地含油气层系区域分布规律与主控因素[J]. *石油学报*, 2000,21(1):10-16.
- [35] 龚再升,王国纯,贺 清. 上第三系是渤中坳陷及其周围油气勘探的主要领域[J]. *中国海上油气(地质)*,2000,14 (3):145-156.
- [36] 牛嘉玉,李 峰. 渤海湾盆地滩海地区油气富集规律与油气勘探[J]. *石油学报*, 2000(2):9-13.
- [37] 陶瑞明. 略论东海西南部和台湾海峡北部地质构造关系 [J]. *中国海上油气(地质)*, 1995,9(3):149-156.
- [38] Koppers A A, Staudigel H. Asynchronous bends in Pacific seamount trails: a case for extensional volcanism[J]. *Science*, 2005,307 (5 711):904-907.
- [39] Whittaker J M, Müller R D, Leitchkov G, et al. Major Australian-Antarctic plate reorganization at Hawaiian-Emperor bend time[J]. *Science*, 2007, 318(5 847):83-86.
- [40] Hall R, Ali J R, Anderson C D, et al. Origin and motion history of the Philippine Sea Plate[J]. *Tectonophysics*, 1995, 251(1):229-250.
- [41] Watts A B, Weissel J K. Tectonic history of the Shikoku marginal basin[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1975,25(3):239-250.
- [42] Watanabe T, Langseth M G, Anderson R N. Heat flow in back-arc basins of the western Pacific[J]. *Maurice Ewing Series*, 1977(1):137-161.
- [43] Shih T C. Magnetic lineations in the Shikoku Basin[J]. *Initial Rep. Deep Sea Drill. Proj*, 1980,58:783-788.
- [44] 许淑梅, 张晓东, 翟世奎. 四国海盆起源与沉积环境演化 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2004,24(2):119-123.
- [45] 王国纯. 东海盆地地质特征与油气富集有利地区探讨 [J]. *石油实验地质*, 1987,9(1):42-45.
- [46] Suppe J. Kinematics of arc-continent collision, flipping of subduction, and back-arc spreading near Taiwan [J]. *Mem. Geol. Soc. China*, 1984,6:21-33.
- [47] Ho C S. A synthesis of the geologic evolution of Taiwan [J]. *Tectonophysics*, 1986,125(1):1-16.
- [48] 朱光有, 金 强. 东营凹陷两套优质烃源岩层地地质球化学特征研究 [J]. *沉积学报*, 2003,21(3):506-512.
- [49] 冯晓杰, 蔡东升. 东海陆架盆地中新世代构造演化对烃源岩分布的控制作用[J]. *中国海上油气*, 2006,18(6):372-375.

## FROM INTRACONTINENT TO CONTINENTAL MARGIN: THE DEEP BACKGROUND AND DEPOSITIONAL CHARACTERISTICS OF PALEOGENE RIFTED-BASINS OF EAST CHINA

ZHANG Wei<sup>1</sup>, MENG Zhen<sup>2</sup>, XU Shumei<sup>1,3\*</sup>, LI Lingbo<sup>1</sup>, LI Jianwei<sup>1</sup>, FENG Huaiwei<sup>1</sup>,  
XU Qisong<sup>1</sup>, LI Meng<sup>1</sup>, ZHANG Haiyang<sup>1</sup>, WU Peng<sup>1</sup>, LIU Zhi<sup>1</sup>

(1 College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;

2 Gansu Geology and Mineral Bureau, The Second Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Lanzhou 730020, China;

3 Key Laboratory of Submarine Geosciences and Prospecting Techniques,  
Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

**Abstract:** The geological evolution of the three plates of the Pacific, Indian and Eurasian has significant impact on the subsidence and infilling of Paleogene sedimentary basins in East China. This paper first discusses the deep geological structure of the Cenozoic basin groups in East China, then preliminarily analyses the relationship of the formation and evolution between the continent marginal rift basins and intra-continental rift basins and the main tectonic movement in peripheral plates, and at last discusses the relationship of the two kinds of basins. Based on the above discussions, this paper provides a comparative analysis on the characteristics of sedimentary deposits and the migration of the subsidence centers of the marginal rift basins and intra-continental rift basins. This paper also made a preliminary study of the sedimentary responses, consistency and diversity of the two kinds of basins in different tectonic evolutionary stages from different places of the complicated tectonic system in East China. This study is of theoretical significance for better understanding the relationships among continental rift basins in East China as well as the coupling of shallow and deep processes of Cenozoic fault basins.

**Key words:** Cenozoic; intra-continental rift basin; marginal rift basin; depositional characteristics; East China