

doi:10.3799/dqkx.2016.045

东海盆地形成的区域地质背景与构造演化特征

赵志刚, 王鹏, 祁鹏, 郭瑞

中海油研究总院, 北京 100028

摘要: 东海盆地处于西太平洋俯冲带前缘, 是发育在华南克拉通基底之上的, 以晚白垩世—新生代沉积为主的新生代盆地。东海盆地性质是在活动大陆边缘减薄陆壳之上的, 由于洋—陆俯冲消减所引起的张裂、拉伸作用而形成的弧后裂谷型盆地, 是西太平洋众多“沟—弧—盆”体系的一部分。东海盆地陆架外缘隆起控制着东海盆地的演化过程, 该地质单元形成于晚白垩世, 是陆缘隆起和增生楔的复合体, 中新世后由于菲律宾海板块的活动而解体为现今的钓鱼岛隆褶带和琉球隆起。结合对陆架外缘隆起的研究后认为, 东海盆地晚白垩世以来的演化历程具有3大构造阶段, 即: 第一阶段, 古新世—中始新世西部拗陷形成发展期; 第二阶段, 中始新世—渐新世东部拗陷形成发展期, 其中, 中晚始新世太平洋板块的转向是东、西部拗陷构造迁移的分界点; 第三阶段, 中新世—全新世, 东海盆地进入到菲律宾海板块影响时期, 原先的构造格局开始分解。

关键词: 东海盆地; 盆地类型; 弧后裂谷; 构造。

中图分类号: P548

文章编号: 1000-2383(2016)03-0546-09

收稿日期: 2015-06-22

Regional Background and Tectonic Evolution of East China Sea Basin

Zhao Zhigang, Wang Peng, Qi Peng, Guo Rui

CNOOC Research Institute, Beijing 100028, China

Abstract: The East China Sea Basin that located in the front of the west Pacific subduction zone, is formed upon the Huanan Craton basement. The main sediment filling are from Late Cretaceous to Cenozoic. The East China Sea Basin developed on the thinned continental margin crust, is a back-arc rift basin caused by rifting and stretching that induced by ocean subduction, which is the part of the “trench-arc-basin” system in the west Pacific. The tectonic evolution was controlled by the uplift in the outer continental shelf that formed in the Late Cretaceous. The uplift is the complex of the continental margin uplift and accretionary wedge that disintegrated into Diaoyu Island fold belt and Ryukyu uplift after Miocene. Considering the study of the outer continental shelf uplift, tectonic evolution history of the East China Sea basin after Late Cretaceous can be divided into three stages: the first stage, the Paleocene to Middle Late Eocene, formation and development of the western depression; the second stage, Middle Late Eocene to Oligocene, formation and development of the eastern depression, in which the rotary of the Pacific plate boundary in the Middle Late Eocene is the demarcation point of the tectonic migration of the eastern depression and western depression; the third stage, Miocene-Holocene, impactation of the Philippine Sea Plate period, the original structure pattern of the East China Sea Basin began to decompose.

Key words: East China Sea basin; basin type; back arc rift basin; tectonics.

前人对东海盆地地质背景的讨论由来已久, 槽台学说时期, 李四光先生就提出东海盆地属于外新华夏系地槽的论述(Lee, 1939)。板块学说兴起后, 由于东海盆地所处的位置, 板块间的构造重组事件对盆地构造发育产生了重要影响, 一些学者认为

东海盆地是活动大陆边缘的一个弧后盆地。但对其新生代盆地形成机制的理解有很大的不同, 主要观点有: 单剪模式(周志武等, 1990)、弧后盆地简单张裂模式(王国纯, 1987)、残余弧后盆地等(孙肇才, 2004)。但是, 也有许多研究者提出东海陆架断陷带、

基金项目: 国家科技重大专项《大型油气田及煤层气开发》项目 23“近海大中型油气田形成条件及勘探技术(二期)”项目(No. 2011ZX05023)。

作者简介: 赵志刚(1973—), 男, 高级工程师, 主要从事中国海域石油地质研究工作。E-mail: zhaozg@cnooc.com.cn

引用格式: 赵志刚, 王鹏, 祁鹏, 等, 2016. 东海盆地形成的区域地质背景与构造演化特征. 地球科学, 41(3): 546—554.

裂谷带等概念(崔盛芹和李锦蓉,1990;刘和甫,1993),认为东海盆地是欧亚大陆边缘新生代裂谷盆地,与中国东部其他断陷盆地相似,具有下断上拗的盆地结构,也经历了断陷期—拗陷期的演化过程(杨香华和李安春,2003).近年来随着东海盆地西湖凹陷油气钻探和物探资料的丰富,逐渐认识到东海盆地东部边界对西湖凹陷构造演化和沉积充填具有重要影响,物源供给能力可能强于西部浙闽隆起物源区.所以对东海盆地新生代是大陆边缘裂谷盆地还是弧后裂谷盆地的讨论,对于盆地的油气勘探方向具有重要地质意义.基于此,有必要讨论在东海盆地烃源岩和储层发育的关键期(始新世到中新世),盆地到底具有什么样的区域地质背景和构造演化特点?对这些基础地质问题的再认识,有助于厘清东海盆地构造演化和沉积格架,对该地区下一步油气勘探具有重要应用价值.

1 区域地质概况

东海盆地位于 25°22'N~33°38'N、120°50'E~

129°00'E,走向为北东向,长约 1 150 km,宽约 90~300 km,面积约为 25×10⁴ km²,是发育于华南板块和扬子克拉通之上的中、新生代盆地(刘申叔和李上卿,2001).主要构造单元有(图 1):

(1)由钩北凹陷、西湖凹陷和福江凹陷构成的东部拗陷.由于始新世为东部拗陷主形成期,故而始新世的沉积厚度大(图 1,图 2a).该拗陷东部边界由于菲律宾海板块中—中新世以来的持续性活动,发生了多期剧烈的岩浆活动;(2)由丽水凹陷、椒江凹陷、钱塘拗陷、长江拗陷等地质单元组成的西部拗陷,表现为东断西超,地层与盆地西侧的浙闽隆起区以超覆尖灭接触(图 2b).西部拗陷由于古新世为主形成期,所以存在巨厚的古新统,而始新统相对较薄,另外西部拗陷残存的上白垩统仅出现于深凹中;(3)以渔山隆起、海礁隆起、虎皮礁隆起及周缘低凸起组成的北东—南西向中央隆起,该隆起上还包括澎佳屿拗陷和以中生界沉积为主的福州凹陷(图 1,图 2c).

东海盆地位于欧亚板块的东南缘,处于华南板块之上,是太平洋、菲律宾海和欧亚板块的交汇地带,晚三叠世的“印支运动”使古亚洲最终固结并向

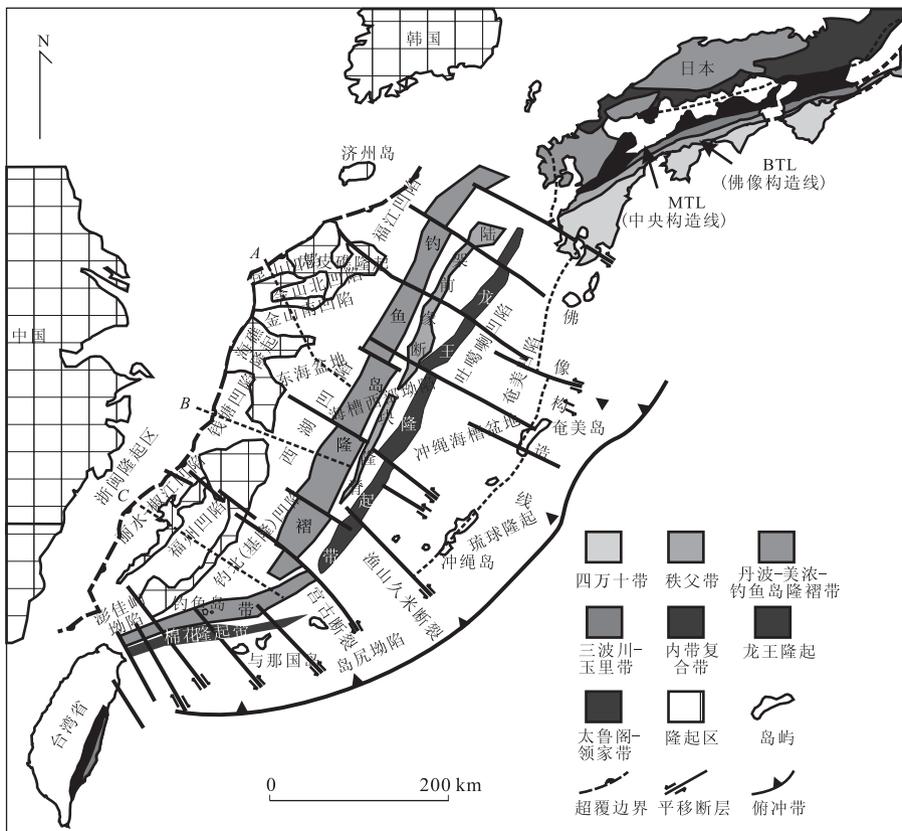


图 1 东海盆地及临区构造地质纲要

Fig. 1 Structural geology outline map of East China Sea basin and adjacent area

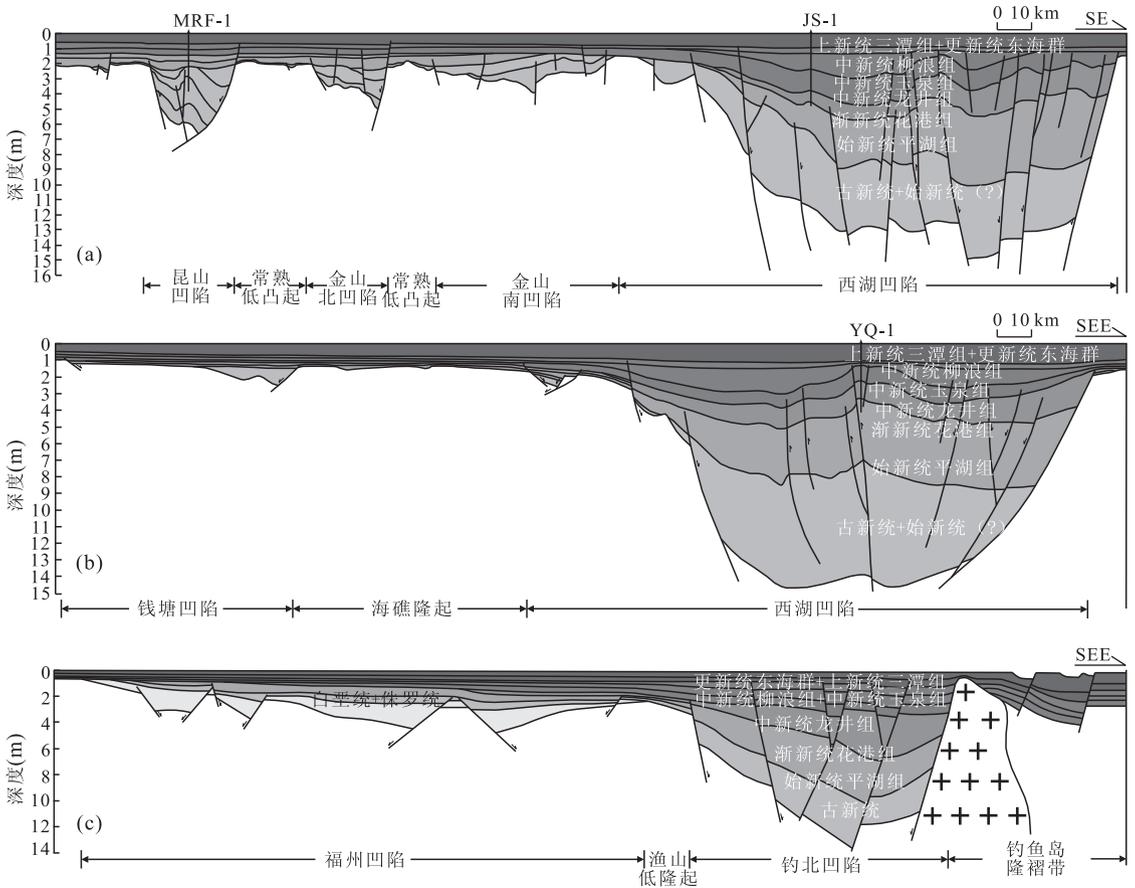


图 2 东海盆地剖面特征图(位置见图 1)

Fig. 2 Section of East China Sea basin

外增生(骆满生等, 2014), 自晚三叠世开始, 无论是方向上还是速度上, 太平洋板块向欧亚大陆板块的俯冲发生了多次改变(Hilde *et al.*, 1977; Clague and Dalrymple, 1987), 华南板块三叠纪和中晚侏罗世的两组叠加褶皱正是这种俯冲的记录(张岳桥等, 2009). 晚侏罗世古太平洋板块俯冲方向转变后, 中国东部进入持续拉张背景(李益龙等, 2012). 正是在这种汇聚背景下, 华南板块以东的东海盆地发生了从中心向边缘的跃迁(李三忠等, 2011), 直接影响了盆地的演化过程. 特别是在 43 Ma 时, 太平洋板块运动方向突然由北西西向转为北北东向(Richards and Lithgow-Bertelloni, 1996), 这一事件彻底改变了东海盆地及其周缘构造的发育演化. 上新世初以来, 伴随欧亚和菲律宾板块的碰撞, 南琉球群岛顺时针旋转 $45^{\circ}\sim 50^{\circ}$, 使得冲绳海槽弧后盆地进入强烈拉张阶段(徐亚东等, 2014), 这一构造过程至今还在持续中. 由于长期处于板块俯冲的前缘, 东海盆地平均热流值高于全球活动大陆边缘盆地平均值 20 mW/m^2 , 这一现象对于东海盆地乃至周缘盆地固、液矿物形成具有重要意义(王力锋和汪集

吻, 2006).

2 东海盆地类型分析

中国近海盆地处于多板块的交汇地带, 其演化受控于洋、陆板块的相互作用. 东海盆地位于琉球海沟俯冲带的西侧, 与其他中国东部盆地一样, 其中一新生代的形成演化与板块俯冲构造边界有着十分密切的联系. 作为一个新生代伸展盆地, 东海盆地的产生必然伴随有明显的岩浆活动, 钻井所见到的岩浆岩主要包括喷出岩和侵入岩两大类, 可以反映盆地所处的构造背景. 东海盆地喷出岩以中性安山岩为主, 偶见基性玄武岩和酸性流纹岩. 安山岩产状以熔岩为主, 个别为火山碎屑岩, 组成安山质熔岩的斑晶主要是斜长石, 其含量可高至占岩石体积的 50%, 自形结构, 粒径大小不一, 呈现钠长石律、卡纳复合律和格子双晶, 成分环带普遍; 其次是角闪石、辉石等, 但后两者往往因为蚀变作用而仅残留晶形, 组成安山质熔岩的基质则因结晶程度不同分别呈间隐结

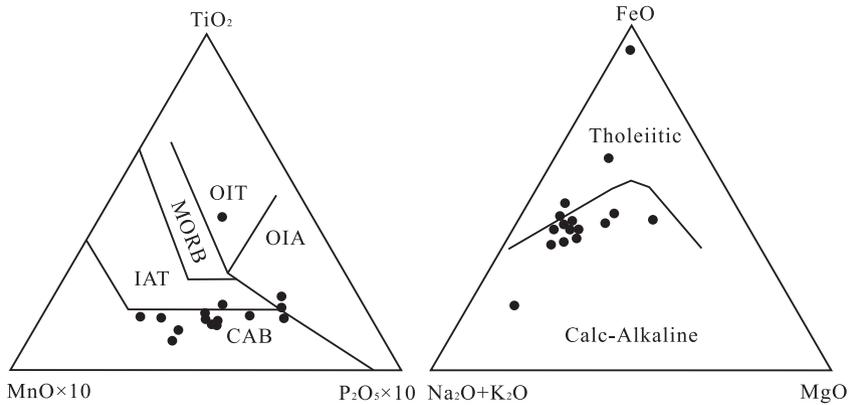


图 3 东海盆地火山岩主量元素三角图解

Fig. 3 The triangular diagram of volcanic major elements in East China Sea basin

据 Mullen(1983)修改;OIT. 大洋拉斑玄武岩;CAB. 岛弧钙碱性玄武岩;IAT. 岛弧拉斑玄武岩;OIA. 碱性玄武岩;Tholeiitic. 拉斑玄武岩;Calc-Alkaline. 钙碱性玄武岩

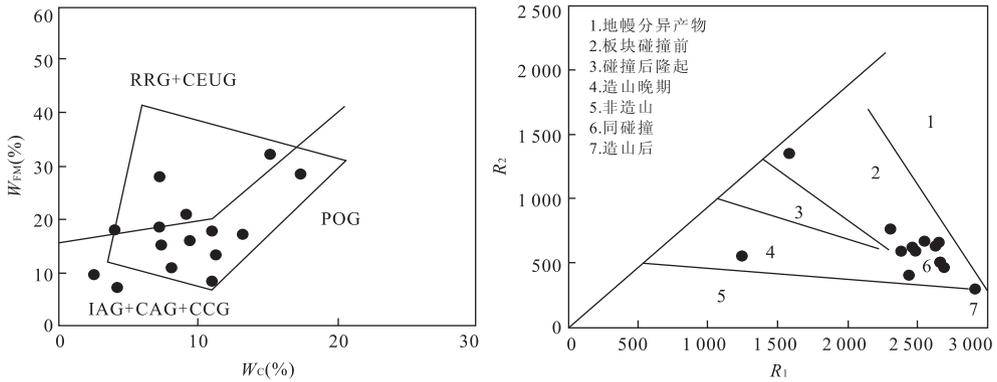


图 4 东海盆地花岗岩构造环境判别图

Fig. 4 The granite tectonic environment discrimination in East China Sea basin

FM=FeO+MgO;C=CaO;R₁=4Si-11(Na+K)-2(Fe+Ti);R₂=6Ca+2Mg+Al

构和间粒结构,细条状斜长石构成基质中的格架,玻璃、金属矿物、辉石微粒等充填于斜长石格架之间.在 Ti-Mn-P 和 Fe-(Na+K)-Mg 三角图解中火山岩都主要分布于岛弧钙碱性序列区,说明东海盆地喷出岩中的安山岩,具有岛弧钙碱性安山质岩浆性质(图 3).

东海盆地侵入岩以花岗岩为主,K-Ar 法定年结果表明:岩浆活动活跃期主要在始新世.东海盆地花岗岩呈不等粒结构,组成矿物主要是长石和石英,有的样品中含少量的黑云母,有的样品中不含斜长石,碱性长石则呈现成分环带,具典型的微斜长石型的格子双晶.闪长岩组成矿物主要有斜长石、石英、角闪石等,同时含少量的碱性长石和黑云母.辉长岩组成矿物主要是斜长石、普通辉石和斜方辉石,同时含少量的不透明矿物.同样在花岗岩判别图解上显示,东海盆地钻井钻遇的花岗岩主要分布于碰撞型花岗

岩区,是活动大陆边缘的重要标志(图 4).从上述东海盆地的岩浆岩构造属性可以判别东海盆地是一个弧后伸展作用形成的裂谷盆地.另外,从东海海域获得的遥测浮标折射地震测量资料表明,东海陆架区大陆型地壳主要由 3 个速度层组成(方银霞和刘建华,2004).已钻探井也进一步揭示东海盆地上地壳为古-新生代的沉积层,中地壳为变质基底或岩浆岩层.跨越了东海盆地-冲绳海槽-菲律宾海盆的地震重磁综合探深剖面揭示东海陆架的莫霍面高度自西向东逐步由 29.3 km 抬升到 25.0 km,至钓鱼岛沿岩浆岩带东侧为 23.0 km(高德章等,2003),冲绳海槽的莫霍面深度大约在 17~20 km,地壳减薄程度比较大(刘光鼎,1992),而东海沿岸浙江、福建一带的地壳厚度在 33~35 km.因此,东海盆地是具有典型的大陆地壳,并且地壳厚度由西向东具有明显的减薄趋势.

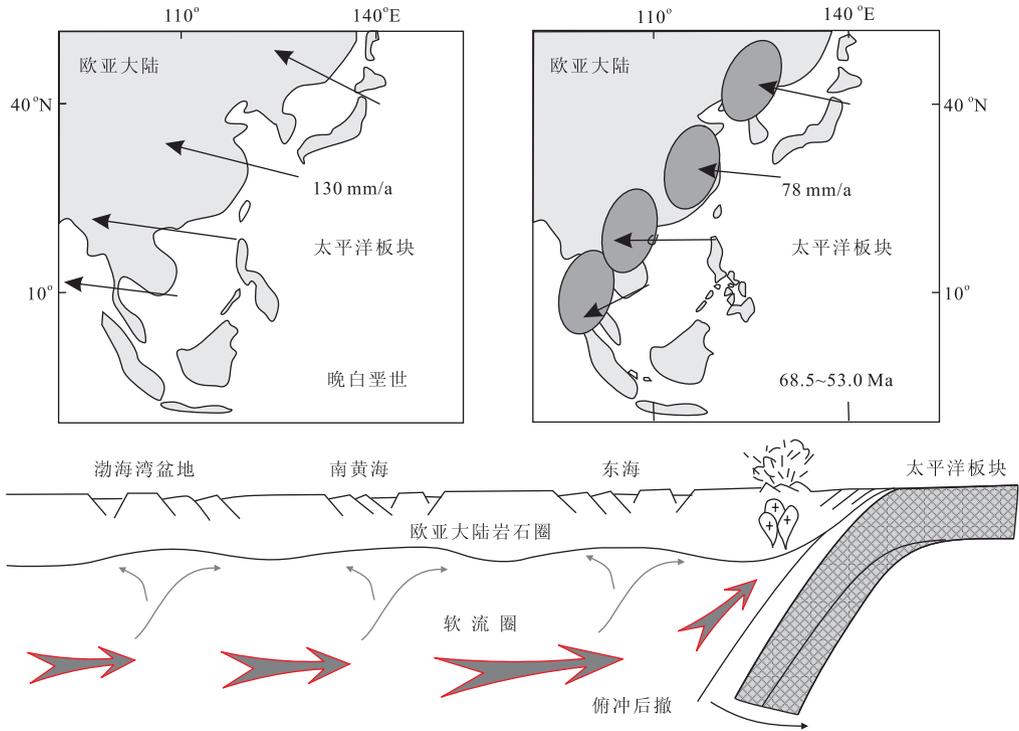


图 5 太平洋板块与中国近海盆地形成的关系

Fig. 5 The Pacific plate's relationship with China offshore basins

据 Watson *et al.* (1987); Northrup *et al.* (1995)修改

通过以上对东海盆地所处构造位置、板块边缘性质、地壳性质、岩石学、成盆动力学等基本因素的讨论,笔者认为东海盆地属性是处于活动大陆边缘减薄地壳之上的,西太平洋“沟—弧—盆”体系中的“弧后裂谷型盆地”,弧后伸展作用对盆地的形成起到了至关重要的作用,其深部动力学机制是太平洋板块向欧亚大陆板块的俯冲后撤与俯冲速率迅速降低引起深部热物质的上涌,造成的火山活动和陆缘裂隙作用(图 5).

3 东海盆地构造演化特征

东海盆地既然是西太平洋活动大陆边缘的“弧后裂谷型盆地”,那么其构造演化过程,必然受到晚中生代以来太平洋板块和之后的菲律宾海板块活动的影响,特别是东海盆地的东部边界地质体由于处于洋陆转换的前缘,其演化过程直接影响盆地的演化进程和沉积充填.

3.1 古东海陆架边缘地质体演化过程及其影响

东海盆地现今的东部地质体,自西向东依次为:钓鱼岛隆褶带、冲绳海槽盆地、琉球隆起和琉球海沟(图 1).从日本钻井情况看(木村政昭等,1999),冲

绳海槽盆地地层主体为上新统至第四系沉积层(李乃胜等,1998).由此可以确定冲绳海槽盆地主体形成时间为上新世,且进入全新世后冲绳海槽盆地还在快速地扩张.虽然目前冲绳海槽盆地地壳结构也仍属于陆壳的范畴,但是由于其地壳厚度仅在 15~24 km 之间(金翔龙和喻普之,1987),说明盆地的演化已经处于陆壳张裂的最高阶段(周祖翼等,2001).所以琉球隆起和钓鱼岛隆褶带,在冲绳海槽盆地形成之前是一个地质单元,即为古东海陆架边缘隆起.这一地质体至少存在至中新世,随着始新世太平洋板块的俯冲方向由北西向转为北北西向,该地质体逐渐解体.上新世形成的冲绳海槽盆地,进一步加剧了东海陆架边缘隆起的解体,而且这种演化过程还在进行中.由于东海陆架边缘隆起具有“成型早,裂离晚”的特点,且这一地质体的演化过程伴随着东海盆地的形成过程.西湖凹陷钻井资料分析认为始新世西湖凹陷已经具有了“双物源沉积体系”的特征(刘建军等,2003),进一步说明了东海陆架边缘隆起是东海盆地重要的物源供给区,对于东海盆地各个凹陷的构造演化和沉积充填有着重要的控制作用.

3.2 东海盆地中—新生代构造演化特征

东海盆地构造演化与晚中生代以来的太平洋板

块和欧亚板块密切相关,中新世开始菲律宾海板块对其影响又占据了主导地位,由于古东海陆架边缘地质体伴随着东海盆地的演化全过程,所以从上文对古东海陆架边缘地质体的演化特征出发,将东海盆地新生代构造演化过程分为主裂陷期、挤压反转期和陆架外缘隆起裂解期3个阶段。

第1阶段.古新世—始新世为主伸展裂陷阶段.这一阶段欧亚板块和太平洋板块接触并发生了B型俯冲作用,高密度的洋壳开始俯冲在低密度的陆壳之下.古太平洋板块对欧亚板块的联合斜切俯冲,在中国大陆板块东缘其构造效应表现为陆缘扩张作用,导致中国东部开始形成众多的伸展区.东海盆地自然首当其冲,在其西部拗陷古新世形成了众多的凹陷,如丽水—椒江凹陷(图2),这些凹陷甚至有晚白垩世沉积裂陷沉积层,如丽水—椒江凹陷上白垩统石门潭组.而对于东部拗陷和盆地边界而言,由于目前地震和钻井并未揭示该区域地层,所以从板块演化的角度推测当时存在一个东海陆架边缘隆起,该隆起由于洋—陆俯冲产生的陆缘隆起和前缘增生楔作用,持续性隆升并向东海盆地提供物源.因为同属于东亚弧形大陆边缘的中国台湾(太鲁阁—玉里)和日本(领家—三波川)双变质带(Miyashiro, 1973)的变质时间大致相同,都发生在晚白垩世.说明早白垩世开始沿着亚洲大陆东缘就形成了一个增生杂岩带,所以东海盆地陆架外缘隆起的形成时间推测就在晚白垩世.具体的特点是东部地区持续性地层增生,西部地区则持续隆升剥蚀,在向东海盆地提供沉积物源的同时也阻隔盆地与海水的连通(图6).

第2阶段.晚始新世—渐新世为拗陷期至初始挤压反转阶段.随着夏威夷天皇海山和岛链的深入研究,使得大家认识到太平洋板块运动方向在43 Ma时突然转向(Richards and Lithgow-Bertelloni, 1996).这一板块的转向,使西太平洋板块对欧亚板块东缘由北北向斜切俯冲,转变为北西西向,即近垂向俯冲(图6).这一变化导致东海盆地及邻域发生一系列的构造事件:(1)对马岛—五岛列岛、钓鱼岛、冲绳—八重山转换断裂的左行剪切停止,转换为俯冲,其火山活动由弱变强再渐弱,并逐渐终止;(2)弧后扩张导致东海盆地东部拗陷各个拗陷形成(如:西湖和钓北拗陷);(3)东南区火山活动强烈,新的琉球岛弧带萌发.对于东海盆地而言,事件的最大影响莫过于东海盆地东部拗陷开始快速拉伸,沉积了厚度超过5 500 m的始新统至渐新统(平

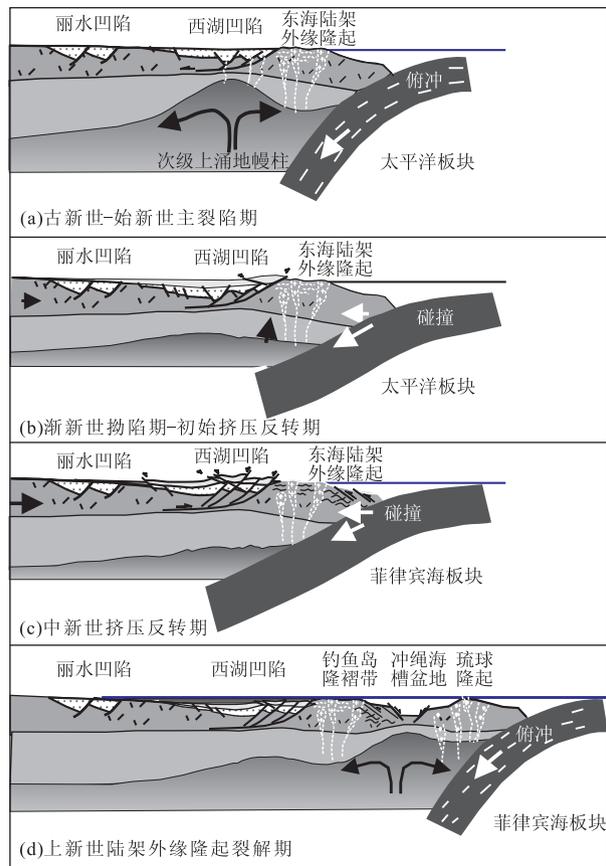


图6 东海盆地构造演化过程示意图

Fig. 6 The tectonic evolution section map in East China Sea basin

湖组和花港组)地层.虽然在始新世末期,由平湖组向花港组过渡时,东海盆地也经历了一期构造运动(玉泉运动).但是,无论从哪一个角度看,玉泉运动都不是一次强烈的运动.比如西湖凹陷内玉泉运动就呈现出平行不整合接触,只有斜坡带呈低角度不整合接触,说明始新统平湖组和渐新统花港组属于一个构造时期的沉积层.虽然从西湖凹陷钻井情况看花港组为典型的陆相沉积,沉积环境有别于平湖组海陆过渡相沉积,由于花港组继承了平湖组沉积期的构造格局,所以也具有明显的东西双向物源特征,但是这一沉积格局在渐新世末期遭到了巨大改变.

渐新世时(34~23 Ma),太平洋俯冲影响的区域已经不再是华南板块,而变为华北克拉通,甚至日本海的扩张也与之关系密切(安美建等,2011).而正是在这一时期由于菲律宾海板块快速扩张,使东海盆地进入了菲律宾海板块影响时期.从渐新世末期开始东海陆架前缘俯冲带逐步转变为平缓的智利型俯冲带(任金卫和马宗晋,2003),由此导致了古东海

陆架边缘地质体的整体性隆升剥蚀(西湖凹陷内表现为花港运动)(图 6),极大地改变了东海陆架边缘隆起的原有面貌(图 6)。

第 3 阶段. 中新世—全新世为强烈挤压反转期至东海陆架外缘隆起裂解阶段. 欧亚板块东缘受北西西向西太平洋板块近垂向俯冲,俯冲带逐渐向东转移,由于菲律宾海板块斜向俯冲的形态,以及高应力、缓倾角为主的俯冲方式,导致东海盆地进入整体的挤压反转阶段(图 6). 这一时期西太平洋板块运动方向主要是为北西西,其前方受欧亚板块阻止,导致吕宋岛弧向北运动而与西台湾地块斜向碰撞,这种碰撞现今仍然在持续,据菲律宾 LAOA 站 GPS 观测资料显示,菲律宾海板块北侧目前仍然由南东—北西运动(徐杰等,2012),台湾东部山脉也成为了吕宋岛弧系的一部分. 吕宋岛弧与台湾地块的斜向碰撞,对东海盆地中新世—全新世乃至第四纪的构造演化起了重要作用,晚中新世—早上新世的龙井运动就是这一碰撞的产物. 西湖凹陷在龙井运动时期,在太平洋板块向西俯冲的区域应力场下形成了一系列北东向的反转背斜(图 6). 按照区域位置,将中央反转背斜带中北部称为龙井—玉泉背斜带,南段称为黄岩—春晓背斜带. 虽同为龙井运动的产物,但挤压应力北强南弱,造成龙井—玉泉背斜带反转幅度大。

随着板块俯冲消减作用的持续,上新世开始菲律宾海板块俯冲的俯冲方式变为低应力、陡倾角,俯冲速率迅速降低,再次引起深部热物质的上涌,并导致东海陆架边缘隆起开始逐步裂解,并最终形成了现今的冲绳海槽盆地、琉球隆起、钓鱼岛隆褶带等独立地质单元(图 6). 这一时期可以具体归纳表现为以下 3 个特点:(1)在钓鱼岛岛弧带和琉球沟弧系统等残留弧脊之间发生微扩张,形成冲绳海槽弧间盆地;(2)大陆东缘内的微扩张受阻,东海弧后盆地接受区域热沉降;(3)东部盆地及其邻区应力场主压应力方向从北到南由北东向逐渐变为南东向,总体呈扇形向东发散。

上述分析说明,东海盆地形成的动力学背景,主要是晚中生代以来活动大陆边缘的弧后伸展作用,但部分演化阶段(如:龙井运动时期)盆地受到挤压反转,开始具有弧后前陆盆地的发展趋势. 需要注意的是,东海盆地北部福江、西湖凹陷东部边界的演化机制基本符合上述特点,但是盆地中部渔山—久米断裂以南(图 1),由于晚中新世以来菲律宾海板块俯冲作用的加强,导致钓北凹陷南部更多表现出来

的是一种压扭应力环境,产生了许多大型走滑断裂(Konga *et al.*, 2000),使得盆地边界呈现出和西湖、福江等凹陷不同的特征。

4 结论

(1)东海盆地属性是处于活动大陆边缘减薄陆壳之上的,典型的西太平洋“沟—弧—盆”体系中的“弧后裂谷型盆地”。

(2)古东海陆架边缘地质体是东海盆地的东部边界,作为一个地质单元一直存在至中新世之前. 中新世开始解体为现今的钓鱼岛隆褶带、冲绳海槽盆地和琉球隆起等地质单元。

(3)东海盆地新生代构造演化可以分为 3 个阶段,动力学背景主要是弧后伸展作用,但是大致以渔山—久米断裂为界,南、北存在差异。

References

- An, M. J., Zhao, Y., Feng, M., *et al.*, 2011. What Resulted in New Tectonic Activities in the Eastern North China Craton in the Neogene? *Earth Science Frontiers*, 18 (3):121–140 (in Chinese with English abstract).
- Clague, D. A., Dalrymple, G. B., 1987. Geologic Evolution of the Hawaiian-Emperor Volcanic Chain. *US Geological Survey Professional Paper*, 1350:5–54.
- Cui, S. Q., Li, J. R., 1990. Himalayan Tectonic Evolution in the Peri-Pacific Region of East Asia. *Acta Geologica Sinica*, 64 (1): 1–12 (in Chinese with English abstract).
- Fang, Y. X., Liu, J. H., 2004. The Crustal Structure Character of East China Sea. *Donghai Marine Science*, 22(3): 9–17 (in Chinese with English abstract).
- Gao, D. Z., Tang, J., Bo, Y. L., 2003. An Integrated Profile of Geophysical Survey and its Interpretation in East China Sea. *China Offshore Oil and Gas*, (1): 40–45 (in Chinese with English abstract).
- Hilde, T. W. C., Uyeda, S., Kroenke, L., 1977. Evolution of the Western Pacific and its Margin. *Tectonophysics*, 38 (1–2): 145–165. doi: 10. 1016/0040–1951 (77) 90205–0
- Hu, H. J., Tao, G. B., 1997. Tertiary Magmatism and its Relationship with Oil/gas Accumulation in the Xihu Sag, the East China Sea. *Offshore Oil*, (3):13–19 (in Chinese with English abstract).
- Jin, X. L., Yu, P. Z., 1987. Structural Characteristics and Evolution of the Okinawa Trough. *Science in China*

- (Series. B), (2): 196—203 (in Chinese).
- Kimura Masaaki, Wang, Y. G., Yagi Hideken, 1999. The development history of the geological structure of the Ryukyu Arc. *Geological News Scan*, 11(543): 24—38 (in Japanese).
- Kong, F. C., Lawver, L. A., Lee, T. Y., 2000. Evolution of the Southern Taiwan-Sinzi Folded Zone and Opening of the Southern Okinawa Trough. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18(3): 325—341. doi: 10. 1016/s1367—9120(99)00062—0
- Lee, J. S., 1939. The Geology of China. Murby, USA.
- Li, N. S., Jiang, L. L., Li, C. Z., 1998. A Study on the Nature of Crustal Structures of the Okinawa Trough. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 29(4): 441—450 (in Chinese with English abstract).
- Li, S. Z., Zhang, G. W., Zhou, L. H., et al., 2011. The Opposite Meso-Cenozoic Intracontinental Deformations under the Superconvergence: Rifting and Extension in the North China Craton and Shortening and Thrusting in the South China Craton. *Earth Science Frontiers*, 18(3): 79—107 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y. L., Zhou, H. W., Xiao, W. J., et al., 2012. Superposition of Paleo-Asian and West-Pacific Tectonic Domains in the Eastern Section of the Solonker Suture Zone: Insights from Petrology, Geochemistry and Geochronology of Deformed Diorite in Xar Moron Fault Zone, Inner Mongolia. *Earth Science*, (3): 433—450 (in Chinese with English abstract).
- Liu, G. D., 1992. Geological and Geophysical Characteristics of China Sea Area and Its Adjacent Areas. Sciences Press, Beijing (in Chinese).
- Liu, H. F., 1993. Dynamic Classification of Sedimentary Basins and Their Structure Styles. *Earth Science*, 18(6): 699—724 (in Chinese with English abstract).
- Liu, J. J., Chen, K. Y., Shi, Z. S., et al., 2003. Provenance Analysis of the Lower Three Series in the West Lake Depression of the East China Sea Shelf Basin. *Science & Technology Progress and Policy*, 20(S1): 241—242 (in Chinese).
- Liu, S. S., Li, S. Q., 2001. Geophysical Exploration of Oil and Gas in the East China Sea. Geological Publishing House, Beijing, 91—92 (in Chinese).
- Luo, M. S., Lu, L. Q., Jia, J., et al., 2014. Evolution of Sedimentary Basins in China during Mesozoic. *Earth Science*, 39(8): 954—976 (in Chinese with English abstract).
- Miyashiro, A., 1973. Paired and Unpaired Metamorphic Belts. *Tectonophysics*, 17(3): 241—254. doi: 10. 1016/0040—1951(73)90005—x
- Mullen, E. D., 1983. MnO/TiO₂/P₂O₅: A Minor Element Discriminant for Basaltic Rocks of Oceanic Environments and its Implications for Petrogenesis. *Earth and Planetary Science Letters*, 62(1): 53—62. doi: 10. 1016/0012—821x(83)90070—5
- Northrup, C. J., Royden, L. H., Burchfiel, B. C., 1995. Motion of the Pacific Plate Relative to Eurasia and Its Potential Relation to Cenozoic Extension along the Eastern Margin of Eurasia. *Geology*, 23(8): 719. doi: 10. 1130/0091—7613(1995)023<0719: motppr>2. 3. co;2
- Ren, J. W., Ma, Z. J., 2003. Crustal Movement and Tectonic Deformation of Eastern Asia. *Earth Science Frontiers*, 10(Z1): 58—65 (in Chinese with English abstract).
- Richards, M. A., Lithgow-Bertelloni, C., 1996. Plate Motion Changes, the Hawaiian-Emperor Bend, and the Apparent Success and Failure of Geodynamic Models. *Earth and Planetary Science Letters*, 137(1—4): 19—27. doi: 10. 1016/0012—821x(95)00209—u
- Sun, Z. C., 2004. Progress of Petroleum Geology Research for the East China Sea and on Tectonic Evolution of Cenozoic Basins in the Continental Margins along the West Pacific Ocean: An Evolutional Model of Oceanwards-Receding Residual Rear-Arc Basins. *Marine Origin Petroleum Geology*, 9(Z1): 1—17, 124 (in Chinese with English abstract).
- Wang, G. C., 1987. Formation and Evolution of the East China Sea Basin. *Acta Petrolei Sinica*, 8(4): 18—25 (in Chinese with English abstract).
- Wang, L. F., Wang, J. Y., 2006. A Geothermal Study of Gas Hydrates in the East China Sea and Its Environmental Implications. *Earth Science Frontiers*, 13(1): 15—20 (in Chinese with English abstract).
- Watson, M. P., Hayward, A. B., Parkinson, D. N., et al., 1987. Plate Tectonic History, Basin Development and Petroleum Source Rock Deposition Onshore China. *Marine and Petroleum Geology*, 4(3): 205—225. doi: 10. 1016/0264—8172(87)90045—6
- Xu, J., Zhou, B. G., Ji Feng (jie|ju), et al., 2012. The Recent Tectonic Stress Field of Offshore of China Mainland and Adjacent Areas. *Earth Science Frontiers*, 19(4): 1—7 (in Chinese with English abstract).
- Xu, Y. D., Liang, Y. P., Jiang, S. S., et al., 2014. Evolution of Cenozoic Sedimentary Basins in Eastern China. *Earth Science*, 39(8): 1079—1098 (in Chinese with English abstract).
- Yang, X. H., Li, A. C., 2003. Basement Nature and Sedimentary Basins along the Continental Margin in East China

Sea. *China Offshore Oil and Gas: Geology*, 17(1): 25—28, 56 (in Chinese with English abstract).

Zhang, Y. Q., Xu, X. B., Jia, D., et al., 2009. Deformation Record of the Change from Indosinian Collision-Related Tectonic System to Yanshanian Subduction-Related Tectonic System in South China during the Early Mesozoic. *Earth Science Frontiers*, 16(1): 234—247 (in Chinese with English abstract).

Zhou, Z. W., Zhao, J. H., Yin, P. L., 1990. Structural Features and Hydrocarbon Bearing Characteristics of the Shelf Basin of the East China Sea. In: Zhu, X., Xu, W., eds., *Mesozoic and Cenozoic Sedimentary Basins in China*. Petroleum Industry Press, Beijing, 226—242 (in Chinese).

Zhou, Z. Y., Liao, Z. T., Jin, X. C., et al., 2001. Okinawa Trough: The Highest Stage of Continental Tension Rifting in Back-Arc Setting. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 21(1): 51—55 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

安美建, 赵越, 冯梅, 等, 2011. 什么控制了华北克拉通东部在新近纪的构造活动? *地学前缘*, 18(3): 121—140.

崔盛芹, 李锦蓉, 1990. 东亚滨太平洋地区喜马拉雅期构造演化. *地质学报*, 64(1): 1—12.

方震霞, 刘建华, 2004. 东海的地壳结构特征. *东海海洋*, 22(3): 9—17.

高德章, 唐建, 薄玉玲, 2003. 东海地球物理综合探测剖面及其解释. *中国海上油气. 地质*, (1): 40—45.

胡惠娟, 陶国保, 1997. 东海西湖凹陷第三纪岩浆活动与油气聚集的关系. *海洋地质译丛*, (3): 13—19.

金翔龙, 喻普之, 1987. 冲绳海槽的构造特征与演化. *中国科学: B辑*, (2): 196—203.

李乃胜, 姜丽丽, 李常珍, 1998. 冲绳海槽地壳结构的研究. *海洋与湖沼*, 29(4): 441—450.

李三忠, 张国伟, 周立宏, 等, 2011. 中、新生代超级汇聚背景下的陆内差异变形: 华北伸展裂解和华南挤压逆冲. *地学前缘*, 18(3): 79—107.

李益龙, 周汉文, 肖文交, 等, 2012. 古亚洲构造域和西太平洋构造域在索伦缝合带东段的叠加: 来自内蒙古林西县西拉木伦断裂带内变形闪长岩的岩石学、地球化学和

年代学证据. *地球科学*, 37(3): 433—450.

刘光鼎, 1992. 中国海区及邻域地质地球物理特征. 北京: 科学出版社.

刘和甫, 1993. 沉积盆地地球动力学分类及构造样式分析. *地球科学*, 18(6): 699—814.

刘建军, 陈开远, 史忠生, 等, 2003. 东海陆架盆地西湖凹陷下第三系物源分析. *科技进步与对策*, 20(S1): 241—242.

刘中叔, 李上卿, 2001. 东海油气地球物理勘探. 北京: 地质出版社, 91—92.

骆满生, 卢隆桥, 贾建, 等, 2014. 中国中生代沉积盆地演化. *地球科学*, 39(8): 954—976.

木村政昭, Wang Yugang, 八木秀惠, 1999. 琉球弧海域的海底地质构造および發達史. *地質ニユ? ス* 543 号, 11: 24—38.

任金卫, 马宗晋, 2003. 东亚地区现代地壳运动特征与构造变形. *地学前缘*, 10(z1): 58—65.

孙肇才, 2004. 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. *海相油气地质*, 9(Z1): 1—17, 124.

王国纯, 1987. 东海陆架盆地的形成与演化. *石油学报*, 8(4): 18—25.

王力锋, 汪集旻, 2006. 东海天然气水合物地热研究及其环境意义. *地学前缘*, 13(1): 15—20.

徐杰, 周本刚, 计凤桔, 等, 2012. 中国东部海域及其邻区现代构造应力场研究. *地学前缘*, 19(4): 1—7.

徐亚东, 梁银平, 江尚松, 等, 2014. 中国东部新生代沉积盆地演化. *地球科学*, 39(8): 1079—1098.

杨香华, 李安春, 2003. 东海大陆边缘基底性质与沉积盆地. *中国海上油气: 地质*, 17(1): 25—28, 56.

张岳桥, 徐先兵, 贾东, 等, 2009. 华南早中生代从印支期碰撞构造体系向燕山期俯冲构造体系转换的形变记录. *地学前缘*, 16(1): 234—247.

周志武, 赵金海, 殷培龄, 1990. 东海陆架盆地构造特征及含油气性. 见: 朱夏, 徐旺主编. *中国中生代沉积盆地*. 北京: 石油工业出版社, 226—242.

周祖翼, 廖宗廷, 金性春, 等, 2001. 冲绳海槽——弧后背景下大陆张裂的最高阶段. *海洋地质与第四纪地质*, 21(1): 51—55.