

东海陆架台北坳陷 古近纪高分辨率生物地层 及层序地层学

钟石兰 姜 亮 李保华 王建平 著

High-resolution Paleogene
Palaeontologic and Sequence
Stratigraphy of the
Taibei Depression in the
Continental Shelf of the East
China Sea

ZHONG Shilan, JIANG Liang, LI Baohua, WANG Jianping



石油工业出版社

东海陆架台北坳陷古近纪 高分辨率生物地层及层序地层学

钟石兰 姜 亮 李保华 王建平 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书在系统阐述了东海陆架盆地台北坳陷古近纪岩石地层序列和生物地层序列的基础上,进行了高分辨率地层划分、对比和层序地层学研究;建立了各层段微体化石组合,并论述了各化石组合的演化特征、时代对比及古环境意义。此外,对东海陆架盆地台北坳陷的油气生成及勘探前景做出了评价。

本书可供从事地层古生物学、石油地质学、海洋地质学等科研工作者及相关师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

东海陆架台北坳陷古近纪高分辨率生物地层及层序地层学/钟石兰等著.
北京:石油工业出版社,2006.7

ISBN 7-5021-5613-5

I. 东…

II. 钟…

III. 东海-大陆架-地层古生物学-研究

IV. Q911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 079044 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.cn

总 机: (010) 64262233 发行部: (010) 64210392

经 销: 全国新华书店

印 刷: 河北天普润印刷厂

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 10.5

字数: 280 千字 印数 1—500 册

定价: 28.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

20 世纪 70 年代初期,我国逐步开展了中国东海石油地质普查工作,通过地震、重力、磁力、测深、航磁和钻探等方法,获得了大量的地质与地球物理资料,并对其进行了综合研究。这不仅查明了东海陆架海底地形地貌类型、地质构造基本特征,建立了东海新生代地层层序,重溯地质演化历史;而且还分析了东海石油地质条件和形成油气田的地质背景,圈定了大批有利的含油气构造。在钻探中发现了良好的油气显示,有的钻井获得了可喜的工业油流。时至今日,东海陆架部分地区,例如西湖凹陷,已经进入了油气开发阶段。实践证明,东海的油气潜能非常喜人。

东海地域广阔,地质条件复杂,不同地区经历了不同的地质演化历史,而且由于各区域研究程序的差异,所以有许多与油气勘探重大突破有关的课题尚待研究。其中以生物地层层序的建立和沉积环境的恢复最为关键。

近十几年来,台北坳陷继浙东坳陷(西湖凹陷)之后成为东海油气重点勘探地区。石油地质部门在该区一方面提高地球物理勘探精度,一方面通过对外招标,加速了钻探步伐。至今为止,台北坳陷完成钻井 20 余口,记录了大量测井资料,收集了大量岩石样品,为深入开展生物地层和沉积环境的研究提供了丰富的物质基础。为了正确地评价台北坳陷石油地质条件,指明油气勘探主要目标,中国海洋石油东海公司(现称中海石油(中国)有限公司上海分公司)和中国科学院南京地质古生物研究所合作重点开展了“台北坳陷古近纪微体古生物学和层序地层学研究”。该研究旨在通过重点钻井微体古生物有孔虫、钙质超微化石、介形类、沟鞭藻和孢粉的分类鉴定、数理统计,建立各微体古生物的地层序列,建立浮游生物地层带,精确确定地层时代;建立地层标准剖面,进行高分辨率生物地层划分对比;分析各地质时期微体古生物组合和生态代表种类的特征,结合稳定同位素测试和粘土矿物分析,探讨新生代台北坳陷古海洋性质,包括海平面升降、海水古温度、古盐度、古水深的变化等,重建各类环境的时空分布,推测古环境的演变规律;依据高分辨率生物地层划分和微体古生物组合特征,结合地震勘探和测井资料,进行层序地层学分析,确定最大海泛面位置,划分二级和三级层序,找出各种体系域的层位及其互相关系,从而为油气生成、运移、储藏有利层段的评估提供详实的科学依据。

参加研究工作的有:中国科学院南京地质古生物研究所钟石兰(课题负责人及钙质超微化石)、章炳高(有孔虫)、张一勇(孢粉)、杨恒仁(介形类)、孙学坤(沟鞭藻)、王宗哲(粘土矿物)、李保华(浮游有孔虫、稳定同位素及层序地层)、李建国(孢粉);中国海洋石油东海公司:姜亮、王建平、徐国庆(层序地层)、王可德(孢粉)、张建益(岩石薄片)、李明远(地质)、蔡华(地质)。研究样品和研究经费由东海公司提供。

研究工作自始至终都得到中国科学院南京地质古生物研究所和中国海洋石油东海公司领导的热情鼓励和大力支持,谨此表示诚挚的谢意。我们还要衷心感谢中国海洋石油东海公司地质研究所宋建民、陈志勇同志和中国科学院南京地质古生物研究所科技处朱祥根同志为本研究工作的开展所做的精心安排,以及在工作中给予的诸多指导。由于水平有限,文中疏漏之处在所难免,恳请读者不吝赐正。

Abstract

A detailed high-resolution biostratigraphy was set up for the Paleogene strata in the Taibei Depression in the continental shelf of the East China Sea based on Calcareous nannofossils, Foraminifera, Ostracoda, Dinoflagellate and Sporo-pollen faunal analyses. This can be used for future stratigraphic subdivision and correlation in this region. In addition, syntheses of lithological, sedimentological, well logs and geochemical data were performed each well for the sequence stratigraphic subdivision with a reliable chrono-stratigraphy in the depression. Seismic data of this region was also referred to reconstruct the formation and evolution of the depression, and climatic and sedimentary environments. All these will be benefit for future geological survey and petroleum exploration in this region.

The Taibei Depression lay over a base which consists of Proterozoic metamorphic rocks, Paleozoic – Mesozoic igneous and partial sedimentary rocks. The depression was a Cenozoic volcanic backarc basin, developing under the control of a growth fault. During the end of Late Cretaceous and the beginning of Early Paleocene, the mountain, riverine and lacustrine sediment accumulated as “Yueguifeng Formation” for the Taibei Depression along the subsidence of the block. In these sediments, abundant continental Sporo-pollen and lots of freshwater Dinoflagellate were found.

Microfossils, such as Calcareous nannofossils, Foraminifera and Ostracoda fauna, recorded detailed the Paleogene biostratigraphy of the Taibei Depression from the Late Paleocene to Middle Eocene:

With the enlargement of the block subsidence, the global sea level rising and the global warming during the Late Paleocene, the first Cenozoic transgression happened in the Taibei Depression. The depression became a semi-closed gulf, which called the “Paleo – East China Sea Gulf”. Lingfeng Formation and Mingyuefeng Formation, which deposited during this period, had abundant Calcareous nannofossils and Foraminifera, and some Ostracoda and dinoflagellate. Three Calcareous nannofossils zone were recognized from bottom to top as: a) *Fasciculithus tympaniformis* – *Prinsius bisulcus* combined zone, corresponding to Zone NP5 – NP7; b) *Heliolithus riedelii* zone, correlated to Zone NP8; c) *Discoaster multiradiatus*, corresponding to Zone NP9. Foraminifera fauna were setup as *Globigerina triloculinoides* – *G. velascoensis* – *Acarinina mckannai* (planktonic) and *Silicosigmoilina californica* (benthic). Ostracoda fauna was made up of *Cytherella foveolata* – *Paijenborchella* (*Eopaijenborchella*) *donghaiensis* – *Krithe laibeiensis*. Continuous distribution of these fossils revealed that these strata belonged to late Paleocene.

The abrupt enlargement of sediment basin under one of the global warmest periods, high-range sea-level rise resulted in the second transgression in this area during the Early – Middle Eocene. The intensive transgression led the “Paleo – East China Sea Gulf” to be an open gulf,

where all kinds of microfossils bloomed during this period, especially the planktons. In this environment of normal gulf, Discoasters played a important role within the Calcareous nannofossils, while the species and abundance of Planktonic Foraminifera reached their acme in Oujiang Formation and Wenzhou Formation, including "Pinghu Formation" such as wells WZ6-1-1 and JH36-3-1.

Two Calcareous nannofossils zones were set up for the upper Oujiang Formation: *Tribrachiatus orthostylus* zone and *Discoaster lodoensi* zone, corresponding to Zone NP12 and Zone NP13, relatively; while Wenzhou Formation consisted of two nannofossils zones as *Rhabdosphaera inflate* zone in the lower part, corresponding to NP14 or CP12 for the low latitude and *Chiasmolithus solitus*, a local zone, for the upper part. The planktonic foraminifera in Oujiang Formation was named as *Globigerina inaequispira* - *Morozaovella aequa* - *Pseudohastigerina wilcoxensis* fauna, correlated to Zone P6 - Zone P8 while Wenzhou Formation had a *Globigerina eoacena* - *Acarinina pentacamerata* - *Turborotalia griffinae* fauna, corresponding to Zone P9 - Zone P11. A Benthic Foraminiferal fauna was recognized as *Lenticulina arcuato-striata caroliniana/knifhti* - *Saracenaria ellisori/saundersi* - *Percultazonaria asperuliformis* assemblage in Oujiang Formation and Wenzhou Formation. Two Ostracoda fauna called *Bairdopplata subhaikangensis* - *Cytherella subassamensis* - *Paracypris donghaiensis* assemblage (the Early Eocene) and *Loxoconcha oujiangensis* - *Cytherella assamensis* - *Trachylebris lobuculus* assemblage (the Middle Eocene) were disclosed in Oujiang Formation and Wenzhou Formation, relatively.

Paleogene Sporo-pollen in the Taibei Depression characterized by abundant fossils appeared in the riverine, lacustrine or nearshore sediments while rare elements for the normal shallow marine environments. In detail, abundant Sporo-pollen, called *Myricaceoipollenites* - *Engelnardtoidites* - *Tiliaepollenites* - *Momipites leffingwellii* fauna, dominated the Early Paleocene, late Late Paleocene and early Early Eocene; few sporo-pollen was found during the late Early Eocene and early Middle Eocene; Abrupt increase of Sporo-pollen happened during the late Middle Eocene with a *Crassoretitritiles* - *Ephedripites* - *Cupuliferoipollenites* - *Corylopsis* assemblage.

As one part of the Himalaya movement cycle, the strong Yuquan Movement occurred in the continental shelf of the East China Sea. The tectonic uplift in this region, together with the sea water regression since the late Eocene or Oligocene, caused the long-term erosion (~ 18 Ma) of the Taibei Depression. Therefore, the Miocene sediment lay just above those of the Middle Eocene or even of the Paleocene. Most of the Late Eocene and Oligocene, even part of the Paleocene in some area, were lost.

Based on the down-core variations of well logs, in addition to the lithological, micropaleontological analyses, 7 second-order cycle sequences (SS1, SS2, SS3, SS4, SS5, SS6, SS7) were recognized at wells LS36-1-1, WZ26-1-1 and WZ13-1-1, which corresponding to Yueguifeng Formation, the lower and upper parts of Lingfeng Formation, Mingyuefeng Formation, Oujiang Formation, the lower and upper parts of Wenzhou Formation, with the seismic boundaries of T_6^0 , T_5^0 , T_4^4 , T_4^2 , T_4^0 , T_3^4 , T_3^2 and T_2^0 , respectively.

Seismic sections and data revealed 5 boundaries of second-order supersequence and 3 bound-

aries of second-order sequence, which reflected a fundamental environmental changes, such as the important tectonic movements or sea-level changes. Five boundaries of the second-order supersequence lay in the seismic boundaries of T_6^0 , T_5^0 , T_4^4 , T_3^4 and T_2^0 , are corresponding to the base (68 Ma) of Yueguifeng Formation at the Early Paleocene, the base (60Ma) of Lingfeng Formation at the Late Paleocene, the base (54.2Ma) of Oujiang Formation at the Early Eocene, the base (49.5Ma) of Wenzhou Formation at the Middle Eocene and the top (25.2Ma) of Wenzhou Formation at the Middle Eocene. Three boundaries of second-order sequence are the seismic boundaries of T_4^2 , T_4^0 and T_3^2 , corresponding to the base (58.5Ma) of upper Lingfeng Formation, the base (55Ma) of Mingyuefeng Formation and the base (42.5Ma) of upper Wenzhou Formation.

In general, lots of marine sediments accumulated in the Paleogene Taibei Depression. From the Late Paleocene to Middle Eocene, the bloomed planktons with a high-sedimentation rate and thick sediments under a normal gulf were benefit for the organic preservation as a source material for the hydrocarbon in the depression. Alternative distribution of sandy and muddy rocks provided a excellent combination of the origin, reservoir and cap of hydrocarbon, which suggests a tremendous hydrocarbon resources in the Taibei Depression.

目 录

第一章 导论	(1)
一、东海概况	(1)
二、东海陆架盆地构造区划	(2)
三、台北坳陷的形成与演化	(4)
四、东海陆架盆地研究简史	(6)
第二章 台北坳陷古近纪地层划分与对比	(8)
第一节 岩石地层序列	(8)
一、上白垩统	(11)
二、古近系	(11)
第二节 粘土矿物地层	(12)
第三节 生物地层序列	(13)
一、钙质超微化石	(13)
二、有孔虫	(24)
三、介形类	(28)
四、孢粉	(31)
五、沟鞭藻类	(34)
第四节 地层划分与对比	(35)
一、古新统月桂峰组	(35)
二、上古新统灵峰组、明月峰组	(35)
三、下一中始新统瓯江组、温州组	(38)
四、中始新统“平湖组”	(39)
五、孢粉地层对比	(39)
第三章 台北坳陷古近纪层序地层学	(42)
第一节 钻井层序划分基本原理	(42)
一、准层序与准层序组	(42)
二、体系域的识别标志	(43)
三、沉积层序界面的识别	(44)
四、凝缩层的判别	(45)
第二节 台北坳陷单井层序划分	(45)
一、LS36-1-1 井的层序划分	(45)
二、WZ26-1-1 井的层序划分	(48)
三、WZ13-1-1 井层序划分	(51)
第三节 综合沉积层序划分基础	(53)
一、地震层序边界标志及其地质含义	(53)
二、沉积层序级别的划分依据	(54)

第四节 台北坳陷综合层序界面的厘定	(55)
一、Ⅱ级超周期层序界面	(55)
二、Ⅱ级层序界面	(60)
三、Ⅲ级层序界面	(61)
第五节 台北坳陷综合沉积层序划分	(61)
一、Ⅱ级超周期层序	(61)
二、Ⅱ级层序	(65)
第四章 台北坳陷古近纪古环境	(68)
第一节 微体化石特征	(68)
一、有孔虫古环境	(68)
二、钙质超微化石古地理分布特征	(69)
三、介形类古环境	(71)
第二节 海侵旋回划分、对比与沉积环境	(72)
一、海侵旋回划分	(72)
二、台北坳陷与邻区海侵旋回对比	(73)
三、海侵方向及其变化	(73)
四、台北坳陷沉积环境分析	(74)
第三节 古植被与古气候	(76)
一、早古新世——亚热带气候	(76)
二、晚古新世至早始新世——南亚热带气候	(76)
三、中始新世——亚热带气候	(76)
第四节 氧、碳同位素与古水温	(77)
第五节 粘土矿物组合与古环境	(78)
第五章 台北坳陷油气资源评价	(79)
第一节 生油母质与生油岩分布	(79)
第二节 储集层与盖层	(80)
第三节 有利成藏区带	(81)
结语	(83)
参考文献	(85)
台北坳陷化石图版说明	(92)
台北坳陷化石图版	(120)

Contents

1. Introduction	(1)
1. General information about the East China Sea	(1)
2. Tectonic sub-division of the Continental Shelf Basin	(2)
3. Formation and Evolution of the Taibei Depression	(4)
4. History of Study	(6)
2. Paleogene subdivision of Stratigraphy of the Taibei Depression and its correlation with other regions	(8)
1. Litho-stratigraphic sequences	(8)
2. Mineral stratigraphic sequences	(12)
3. Bio-stratigraphic sequences	(13)
1) Calcareous nannofossils	(13)
2) Foraminifera	(24)
3) Ostracoda	(28)
4) Spora and pollen	(31)
5) Dinoflagellate	(34)
4. Stratigraphic subdivision and its correlation with other regions	(35)
1) Early Paleocene: Yueguifeng Formation	(35)
2) Late Paleocene: Lingfeng Formation and Mingyuefeng Formation	(35)
3) Early - Middle Eocene: Oujiang Formation and Wenzhou Formation	(38)
4) Middle Eocene: "Pinghu Formation"	(39)
5) Correlation of Sporo - pollen straigraphy with other regions	(39)
3. Paleogene Sequence Stratigraphy of the Taibei Depression	(42)
1. Basics of subdivision of well sequences	(42)
1) Parasequence and parasequence sets	(42)
2) Recognition of system tract	(43)
3) Recognition of sequence boundary	(44)
4) Indicator of condensed layer	(45)
2. Subdivision of well sequence stratigraphy in the Taibei Depression	(45)
1) Well LS36 - 1 - 1	(45)
2) Well WZ26 - 1 - 1	(48)
3) Well WZ13 - 1 - 1	(51)
3. Basics for synthetic depositional sequences	(53)
1) Seismic boundaries and their geological significance	(53)
2) Subdivision of deferent sequence order	(54)
4. Recognition of synthetic sequence boundary in the Taibei Depression	(55)

1) Boundary of super second-order cycle sequence	(55)
2) Boundary of second-order cycle sequence	(60)
3) Boundary of third-order cycle sequence	(61)
5. Subdivision of synthetic depositional sequences	(61)
1) Super second-order cycle sequence	(61)
2) Second-order cycle sequence	(65)
4. Paleoenvironment reconstruction of the Paleogene Taibei Depression	(68)
1. Ecological characteristics of micropaleontology	(68)
1) Foraminifera	(68)
2) Calcareous nannofossils	(69)
3) Ostracoda	(71)
2. Transgressive cycle and sedimentary environments	(72)
1) Subdivision of transgressive cycle	(72)
2) Correlation of transgressive cycle	(73)
3) Analysis of sedimentary environments	(73)
4) Direction of transgressions and their changes	(74)
3. Vegetation and Paleo-climate	(76)
4. Stable oxygen and carbon isotopes	(77)
5. Mineral components and paleo-environments	(78)
5. Hydrocarbon reservoir and hydrocarbon resources in the Taibei Depression	(79)
1. Original hydrocarbon source material and distribution of oil source bed	(79)
2. Hydrocarbon reservoir and cap formation	(80)
3. Petroleum accumulation zone	(81)
Concluding remarks	(83)
References	(85)
Plates Descriptions	(92)
Plates	(120)

第一章 导 论

一、东海概况

东海是由中国大陆、中国台湾岛、朝鲜半岛、日本九州和琉球群岛所围绕的一个边缘海(图 1)。它的西北与黄海融会成片;东北以朝鲜济州岛东端至日本九州长崎半岛姆崎角一线为界,通过朝鲜海峡与日本海沟通;东南由日本九州、琉球群岛及我国台湾岛环抱,越过诸通道与太平洋汇合;西靠上海市、浙江省和福建省岸线,有诸多江河注入;南界以广东省南澳岛和台湾省南端鹅銮鼻一线为限,并与南海连接。东海是西太平洋最大的边缘海之一,其总面积为 752 000km²,平均水深 349m,最大水深 2 719m (秦蕴珊等, 1987)。

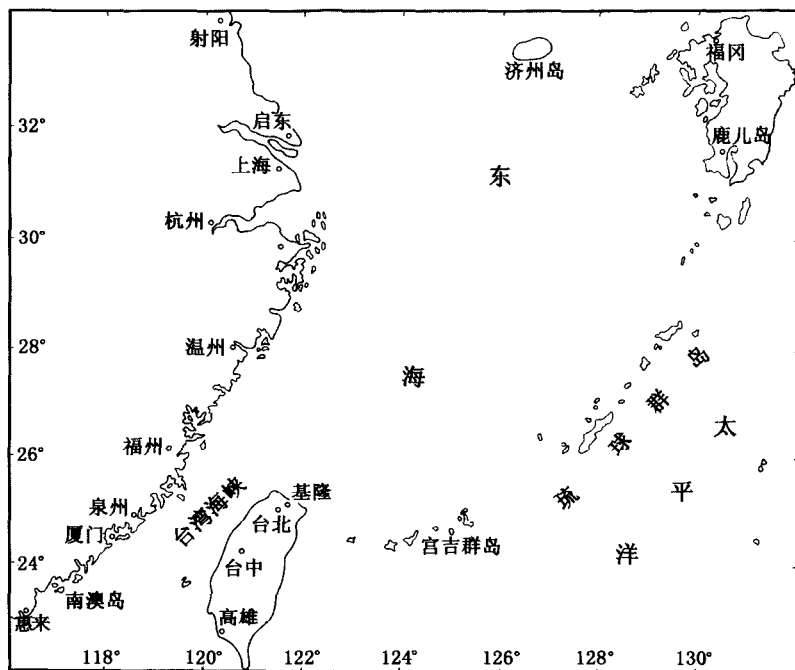


图 1-1 东海地理位置图

根据海底地形,东海大的地貌单元自西向东可分为大陆架、大陆坡(冲绳海槽西坡)和冲绳海槽与琉球西侧岛架。东海西北部由于受长江—黄河古三角洲沉积体的影响,造成了整个海底地形西北高东南低,表现为西北部水深较浅,向东和东南部水深逐渐加大,至水深 150m 附近坡度陡然加大,进入冲绳海槽。从总体上看,东海海底地形比较平坦,它的浅水陆架区是亚洲东部最宽的陆架之一,面积达 460 000 km²。陆架内存在 3 级阶地,分别位于等深线 40m、60m 和 110m 处。这些阶地反映了玉木冰期低海面结束以后,海面上升过程中的停顿时期,由于海水冲刷,形成明显的海蚀陡崖 (秦蕴珊等, 1987)。

东海盆地基底由西往东为中生代火山岩、花岗岩类和变质岩系。盆地南部有古近系变质岩系 (丁培民, 1982)。东海的基底结构比较复杂,横向变化十分突出。盆地南部下元古界

较发育；北部以上元古界及古生界为主，中生界可能仅分布于盆地北部的西南端。基底结构的東西分带也很明显，西带由上侏罗统一白垩统火山岩构成北北东向的盆地西部边界，中带的主体为元古界—古生界变质岩系，东带则由晚古生代、中生代变质岩系组成北北东向的隆褶带。东海不均一的基底结构对盆地盖层的构造风格有着重要的影响（李培廉等，1992）。

二、东海陆架盆地构造区划

东海地处欧亚板块和太平洋板块互相碰撞的板块俯冲带上，它是西太平洋一系列串珠状沟—弧—盆体系的组成部分，是一个年轻的弧后盆地—边缘海（谢庆道，1984）。因此，东海海底地貌和地质构造都呈现出“沟、弧、盆”的特征。根据地质地球物理特征的差异，东海明显地具有两种呈北北东—南南西向的基本构造形式：碰撞消亡带构造和裂张挤压构造。前者指欧亚板块与太平洋板块不同时期相互碰撞的消亡带构造。古生代以来，东海可能存在3条板块碰撞消亡带，即古生代末—早中生代的板块碰撞消亡带、中生代的板块碰撞消亡带、新生代——近代的板块碰撞消亡带。后者则是由于板块的碰撞、俯冲，在消亡带后侧产生的挤压裂张，造成了裂张、褶皱断裂。东海的裂张挤压构造自西向东依次为福建—岭南隆起带、东海沉降带、东海第三纪褶皱带、冲绳海槽裂张带和琉球海沟—岛弧系（金翔龙等，1981）。

从沉积盆地之间在地层和构造上的不同结构、不同时代、不同形成机制和不同演化历史的角度看，东海的一级构造单元自西向东可以划分为浙闽隆起区、东海陆架盆地、钓鱼岛隆褶带、冲绳海槽盆地、琉球隆褶带。盆地内进一步划分坳陷、隆起、凹陷、凸起次一级的构造单元（周志武等，1985）。随着资料的不断积累和丰富，东海陆架盆地构造区划也不断地调整和修改。最近曾久岭（2001）从“强调盆地区域构造划分以东西分带为主，南北分块为次”的角度出发，将东海地质构造单元区域从西到东划分为浙闽隆起区、东海陆架盆地、钓鱼岛岩浆岩带（原钓鱼岛隆褶带）、冲绳海槽盆地和琉球隆褶区5个一级构造单元。其中东海陆架盆地从西到东细划为：①西部坳陷，包括长江凹陷、钱塘凹陷、瓯江凹陷、晋江凹陷（南日岛凹陷）和九龙江凹陷（澎湖凹陷）；②中部低隆起，包括虎皮礁凸起、海礁凸起、鱼山凸起、武夷低凸起（雁荡构造带到台北构造带之间包括闽江凹陷）、观音凸起和澎湖北凸起；③东部坳陷，包括福江凹陷（福江坳陷）、西湖凹陷、基隆凹陷及台湾西侧的新竹凹陷。

本文在前人研究基础上结合中国海洋石油东海公司的勘探实践，对东海陆架盆地二级构造单元（由南向北）划分为：台西坳陷、台北坳陷、渔山隆起、浙东坳陷、海礁隆起、长江坳陷、虎皮礁隆起和福江坳陷。其中台西坳陷包括观音凸起、南日凹陷、澎湖凹陷、澎北凸起和新竹凹陷；台北坳陷包括福州凹陷、闽江凹陷、雁荡低凸起、丽水凹陷、椒江凹陷和钱塘凹陷；浙东坳陷包括钓北凹陷和西湖凹陷（图1-2）。

东海这种隆坳相间的基本构造特征与区域构造运动密切相关。中、新生代是滨太平洋和特提斯喜马拉雅构造域强烈活动阶段（任纪舜等，1981）。晚白垩纪晚燕山运动结束，古新世进入了喜马拉雅运动发展时期。在喜马拉雅运动的影响下，东海经历了晚白垩世末—早古新世末基隆运动和雁荡运动、晚古新世末瓯江运动、中始新世末玉泉运动、中新世末龙井运动、晚上新世冲绳海槽运动。这些构造运动形成广泛的区域不整合面。同时，将陆架盆地分为裂谷、断陷、抬升剥蚀、坳陷、区域沉降5个演化阶段，相应的沉积作用表现为充填—超覆—被盖的特点。晚白垩世以来，东海的沉积具有自西向东逐渐变新的规律，即陆架盆地西部的坳陷主要由上白垩统一始新统组成，东部为上白垩统一中新统；冲绳海槽盆地西部为中、上新统一第四系，东部为上新统一第四系。同时，在南北方向上有若干凸起和断裂，

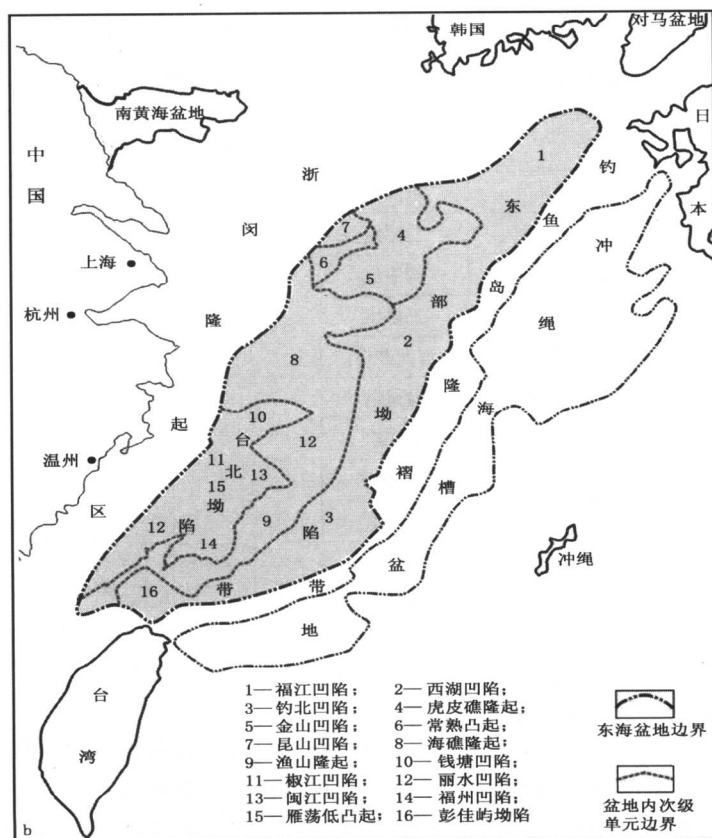
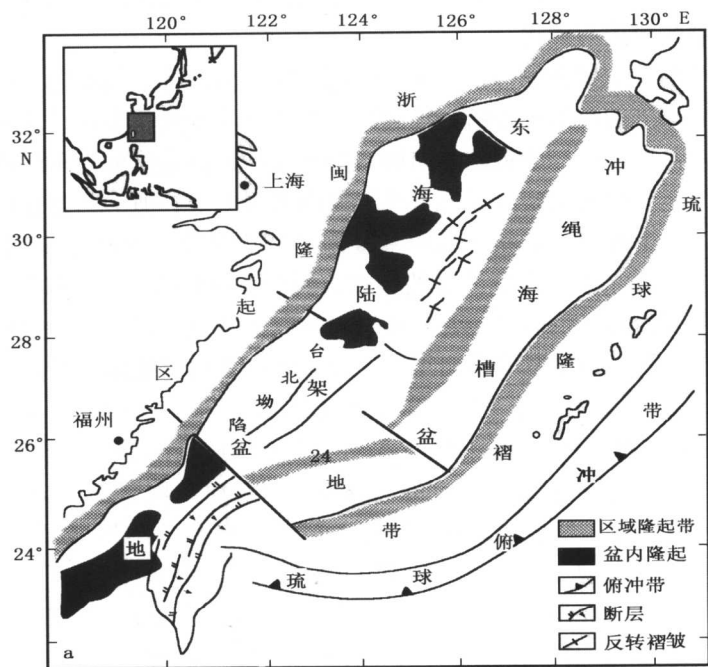


图 1-2 东海陆架构造区划

将盆地分成若干凹陷。这是东海“东西分带，南北分块”最突出的特点（周志武等，1990）。

三、台北凹陷的形成与演化

台北凹陷位于东海陆架盆地舟山—平湖—国头断裂的南部，其走向与盆地的北北东向主构造线一致。台北凹陷的西部濒临浙闽隆起区，东部以渔山隆起为界，北有海礁凸起，南与彭佳屿盆地、台西盆地连通，中央北东向展布的雁荡凸起将凹陷分为东西两个凹陷带。地球物理资料显示，台北凹陷的基底以下元古界深变质岩系为主，但下凹处往往被上元古界和古生界浅变质岩系、中生界沉积岩和火山岩系覆盖（李培廉等，1992）。近年来石油钻井资料分析亦发现凹陷内侏罗纪和白垩纪地层的存在，例如 FZ13-2-1 井和 FZ10-1-1 井侏罗纪、白垩纪地层主要为棕红色砂岩、含砾砂岩和灰绿色砂岩，间夹少量白色砂岩和灰绿色泥岩。自下而上划分为下、中侏罗统福州组，上侏罗统一下白垩统渔山组，上白垩统闽江组和石门潭组（王可德等，2000）。红色岩层未发现微体化石；灰绿色泥岩、粉砂岩含较丰富的孢粉。FZ10-1-1 井福州组下部灰绿色泥岩中除孢粉以外，还见有少量钙质超微化石 *Lotharingius velatus* 和 *Cyclogelosphaera margeelii*，以及海相沟鞭藻 *Gonyaulacysta* 的囊泡。说明当时海水曾入侵本区，造成浅海近岸环境。根据福建永定下侏罗统藩坑组，广东东部下侏罗统金鸡组均产菊石和海相双壳类、腹足类、介形类（陈金华，1982；梁诗经，1995），以及台湾西部北港地区和澎湖群岛存在海相侏罗系（或白垩系）（林朝启，1961；黄廷章，1978；纪文荣，1984），不难看出，中生代中期台北凹陷、闽粤沿海地带和台湾西部（包括台湾海峡）同属大陆边缘的一个浅海沉积区。台北凹陷正是在这样的地质背景下，经历了新生代的裂谷、断拗、抬升、拗陷和区域沉降 5 个发展阶段（表 1-1）。

表 1-1 东海陆架盆地台北凹陷古近纪地层、地震反射面与构造发展阶段对比

时代			地层	地震反射面	构造事件	盆地演化
新近纪	更新世		东海群	~~~~~T ₀ ⁰ ~~~~~	冲强海槽运动 (海岸山脉运动)	区域沉降
	上新世	早期	三潭组	~~~~~T ₁ ⁰ ~~~~~		拗陷
	中新世	晚期	柳浪组	(+ T ₂ ⁰)	龙井运动	
		中期	玉泉组			
		早期	海龙井组			
			~~~~~T ₃ ⁰ ~~~~~	玉泉运动	(抬升剥蚀)	
古近纪	始新世	中期	温州组	~~~~~T ₄ ⁰ ~~~~~	瓯江运动	断拗
		早期	瓯江组			
	古新世	晚期	明月峰组	~~~~~T ₅ ⁰ ~~~~~	雁荡运动	
			灵峰组			
		早期	月桂峰组			~~~~~T ₆ ⁰ ~~~~~
白垩纪	晚白垩世	晚期	石门潭组			

1. 晚白垩纪末期至早古新世裂谷阶段

台北凹陷晚白垩纪末期至早古新世地层由上、下两部分组成，即下部暗紫色—紫红色砂岩、砂砾岩、泥岩；上部深灰色砂岩、泥岩；彼此以整合或假整合接触。这套地层曾命名为石门潭组，时代归属早古新世。根据最近资料认为，下部“红石门潭”和上部“黑石门潭”代表不同时代不同沉积环境的产物，故将其上下一分为二。下部仍沿用石门潭组名称，归属

晚白垩世；上部另命名为月桂峰组，时代定为早古新世（姜亮等，2003）。尽管这两个组，特别是狭义的石门潭组，地质时代有待古生物资料加以证实。但作为岩石地层单位在生产中是实用的。

石门潭组在雁荡凸起两侧呈北东向断续分布，最大厚度位于闽江凹陷内雁荡凸起东侧。经 TB13-1-1 井揭露，达 900 余米，地层中未发现微体化石；根据沉积特征推测其代表山间谷地或河流湖泊环境。月桂峰组的分布限于雁荡凸起西侧的椒江凹陷和丽水凹陷带，最大厚度 500 余米，不含海相化石，但泥岩中产孢粉组合，在 WZ4-1-1 井还有淡水沟鞭藻和绿藻类盘星藻 *Pediastrum*，属河湖相沉积。

从石门潭组和月桂峰组沉积特征、接触关系和分布范围分析，地震反射面  $T_5^0$  代表的雁荡运动应是本区燕山运动最后一幕，它“发生在晚白垩世内部坎佩尼期（Campanian）—马斯特里赫特期（Maastrichtian）”（张正坤等，1981），强烈的地壳运动，使基底大面积抬升，其上直接覆盖沉积层。晚白垩世晚期，进入喜马拉雅旋回发展阶段，地壳开始活动。按板块构造的观点，“古近纪期间，太平洋板块转为北西向俯冲，东海处于急剧的引张状态”（周志武等，1990）。在拉张应力的作用下，台北拗陷基底生长发育了若干主要向东倾斜的正断层，一些半地堑式的山间谷地或河流湖泊应运而生。然而，这些沉积区彼此独立，互不相通，所以，石门潭组和月桂峰组大体上平行于主构造线并呈棋子状分布。

## 2. 晚古新世至中始新世断拗阶段

晚古新世至中始新世，台北拗陷处于断拗发展阶段。由于古新世至渐新世（59—26Ma）菲律宾海板块形成，并向西北方向俯冲（黄镇国，1995），东海陆架盆地西南部受弧后拉张力的作用，地壳张裂，断块下陷，形成一系列北北东、北东向展布的拗陷。其中最大的为台北拗陷，台湾学者称之东引岛盆地（何俞兴，1993）。其余有南彭佳屿盆地、台西盆地和台中盆地等。但是，拗陷是在断陷的基础上发展起来的，根据丽水凹陷 LS36-1-1 井和 WZ13-1-1 井的钻探资料分析，晚古新世早、中期仍然为断陷沉积，晚古新世晚期才转为拗陷沉积。这时，海水自东向西侵入，越过南彭佳屿谷地后分两支，一支向西南进入台中、台西；另一支向东北漫进，首先到达台北拗陷西带洼地。根据钙质超微化石组合分布范围判断，晚古新世中晚期台北拗陷的海侵明显扩大，但主要向东北方向侵漫。晚古新世末期或早始新世早期本区曾发生过一次地壳运动，即以  $T_4^0$  为代表的瓯江运动。全区缺失钙质超微化石 NP10 和 NP11 两个化石带，说明瓯江运动比较强烈，地壳抬升，海水变浅，大部分地区出露水面，遭受侵蚀，造成明月峰组与其上覆瓯江组区域性不整合或角度不整合接触（ $T_4^0$  为区域不整合面）。早始新世中期至中始新世“古东海湾”可能受到更强烈的拉张作用影响，地壳大幅度陷落，加之始新世全球大暖期的到来，海平面飞速上升，海侵范围迅速扩大。特别是早始新世晚期至中始新世早期，相当于钙质超微化石 NP13 带和 NP14 带沉积时期，海水几近覆盖了整个台北拗陷。“古东海湾”达到了最壮丽的景观。因此，富含海相微体化石的瓯江组上部和温州组，在“古东海湾”普遍发育。

## 3. 晚始新世至渐新世抬升剥蚀阶段

地震反射界面  $T_3^0$ （+ $T_2^0$ ）代表的玉泉运动是晚始新世末期开始的“早喜马拉雅旋回的第一次重要的构造运动”（张正坤等，1981）的反映，这次运动使台北拗陷抬升，长期遭受侵蚀，结果造成反射面  $T_2^0$  上覆中新统直接覆盖于中始新世温州组或平湖组之上，有的地方甚至覆盖在晚古新世明月峰组之上，明显呈角度不整合，上下之间缺失晚始新世（或晚古新世）至渐新世沉积。



#### 4. 中新世至早上新世拗陷阶段

早中新世亚洲大陆边缘发生了喜马拉雅亚旋回第二次构造运动,将东海陆架盆地推向拗陷发展阶段。中新世至早上新世台北拗陷发育了以陆相含煤为主夹海相的地层。这些地层产状平缓,厚度较稳定,基本上没有发生变形断错现象;位于中中新统下部的钙质超微化石 *Sphenolithus heteromorphus* 末现面和下上新统顶部的 *Reticulofenestra pseudumbilica* 末现面在拗陷内广泛分布,标志着新近纪台北拗陷处于整体沉降时期。不过,根据地震反射面  $T_1^0$  的存在,中新世晚期台北拗陷及其邻区曾发生地壳运动,即龙井运动,使中新统与下上新统之间出现沉积间断,缺失晚中新世地层,上下地层呈不整合接触。另外,根据西湖凹陷玉泉组底部泥岩的有孔虫组合与台北拗陷钙质超微化石 NN5 带属同期沉积,以及钙质超微化石 *Reticulofenestra pseudumbilica* 末现面在浙东拗陷平湖 1 井、黄岩 7-1-1 井、龙井 2 井的发现可以判断,中中新世早期和早上新世台北拗陷都与浙东拗陷连通。

#### 5. 更新世区域沉降阶段

晚上新世在中国东部发生了喜马拉雅亚旋回第三次重要的构造运动,东海陆架盆地称之为冲绳海槽运动。这次运动在台北拗陷的表现是,地震反射面  $T_0^0$  为一个明显的不整合面,更新世的钙质超微化石组合直接覆盖于早上新世的组合之上,其间缺失了晚上新世的沉积。更新统东海群被盖状平稳地展布整个东海陆架盆地说明,晚上新世以后东海大陆架区域性沉降,海水由东向西全线涌入,现今东海的局面基本形成。

### 四、东海陆架盆地研究简史

20 世纪 50 年代后期我国开展了“全国洋普”调查,从而“揭开了我国东海地质调查的序幕”。通过这次调查,对东海表层沉积物的类型、分布、物质组成和海底地形有了一定了解,为进一步研究东海地质奠定了初步基础。70 年代开始,我国组织更大的力量对东海进行更大规模的地质调查,其范围包括东海陆架、长江三角洲和冲绳海槽(秦蕴珊等,1987)。与此同时,我国对东海陆架盆地油气勘探作出了部署。1974 年 9 月地质部海洋地质调查局“海洋一号”开赴东海,开展东海综合海洋地质普查。不足 4 年时间,该局便提交了“东海海区综合海洋地质初查报告”,初步查明东海地形及地质构造基本轮廓(周志武等,1985)。在此期间通过地震、重力、磁力、测深、航磁、表层取样和浅钻柱样等作业,收集了大量表层沉积样品、柱状样品,获得了大量反射地震、重磁等地球物理原始资料。通过室内沉积、矿物、古生物、地球物理和地球化学的分析鉴定测试,为东海地质的深入研究提供了可靠的数据和有价值的科学信息。

经过 20 余年的实地调查勘探、资料积累以后,20 世纪 80 年代开始东海陆架盆地的研究呈现出“百花盛开、硕果满枝”的绚丽灿烂景象,科研成果犹如雨后春笋,层出不穷。首先,已有许多著作根据东海基底结构、地震波组特征等,较全面地论述了东海构造的形成、构造单元的划分、地质演化历史,尤其是应用板块构造理论探讨东海构造形成、发展的演化机制(例如:金翔龙等,1981;丁培民,1982;朱夏等,1982;张文佑等,1982;谢庆道,1984;王国纯,1986,1987,1992;秦蕴珊等,1987;许薇龄等,1988;李荫槐,1988;刘光鼎,1990;李培廉等,1992;杨兆宇,1992;陈建文,1994a;黄镇国等,1995;汪企浩等,2001)。

值得一提的是,在板块构造理论占上风的同时,也有部分作者持传统的地质构造理论解释东海地壳构造演化及盆地形成机制(例如:张琴华等,1994;毕华等,1994;Zhang 等,1995)。其次,由于海洋地质调查和油气地质勘探获取了大量沉积岩石样品,为地层古生物的研究提供了物质条件。所以最近 10 余年,东海的微体古生物及其相关的地层和沉积环境