

# 渤海、黄海和东海的构造性质与演化\*

喻普之

(中国科学院海洋研究所)

**关键词** 拗陷,断陷,裂谷,内陆海,边缘海

**提要** 渤海、黄海、东海的性质与发展是不同的。渤海和黄海是内陆海,是由于地幔物质的上拱,地壳弯曲断裂而成。东海是一个边缘海,是由于菲律宾海板块向亚洲板块之下插入,在大陆岩石圈的基础上形成的。它们现在的构造格局基本上是在晚上新世或早更新世奠定的。

渤海、黄海、东海位于中国东部大陆边缘与西太平洋之间。总的说来,中国东部可分为五个构造单元——华北地台、下扬子地槽、江南古陆、东南地槽和华夏古陆。渤海、黄海与东海的构造与这些构造单元紧密关联。

根据现有资料,渤海、黄海、东海的构造有两个明显特点: NNE 向的隆起与拗陷相间排列;大多数拗陷都经历中生代、老第三纪裂谷、断陷等阶段而发展成新生代拗陷见图 1。

## 一、渤海的构造

渤海是一个新生代沉积盆地,它的构造发展类似华北平原;在第三纪以后遭受海侵,才与华北平原有所差异。

渤海大致具有 NNE 的走向,东北是下辽河平原,西南是华北平原,东部和东南是胶辽隆起。

渤海盆地的构造基底是前震旦纪变质岩和震旦纪、古生代、中生代的沉积岩系。在中生代以前,它的地质历史类似华北平原。中生代时期,渤海及其邻区发生了大规模的断裂,形成许多断块山和盆地,火山喷发。侏罗系渤海,北部有中酸性的火山岩与火山碎屑岩,南部是河湖相的沉积岩。白垩系与之相反,北部是河湖相的沙泥岩,南部则是中酸性的火山岩与凝灰

岩。新生代地层近万米是渤海盆地的盖层,厚度近万米,与下伏的岩系呈明显的区域性不整合接触<sup>[1]</sup>。据地震与钻井资料<sup>[2]</sup>,渤海的新生界分为三组。第一组为始新统孔店组,充填于各断陷盆地的底部,与上覆地层角度不整合,主要为河湖相的泥岩夹砂岩。第二组为渐新统东营组和沙河街组,广布于各断陷盆地,并上超于各老地层之上,砂岩与泥岩互层。第三组为中新统馆陶组、上新统明化镇组和第四系平原组,为一套泥砂质碎屑沉积,由下而上变细,反映一个海侵的过程,即更新世末以后遭到的大规模海侵,与东营组为平行不整合接触。

渤海可分为三个构造单元:西部凹陷、东部凹陷和中部隆起。(图 2)

西部凹陷位于渤海湾,是陆上黄骅凹陷的延续。据地震资料,有 6500m 以上的新生界。

中部隆起位于渤海中部,是陆上埕宁隆起的延续。据地震与钻孔资料,新生界直接覆盖在绝对年龄为 9.94 亿年的前震旦纪花岗片麻岩之上。所以它长期处于隆起状态,控制了渤海东西两侧凹陷的发育。上第三系地层厚约 1000—2000m。

东部凹陷占据渤海的主要部分,包括辽东

\* 国家自然科学基金委员会资助项目,中国科学院海洋研究所研究报告第 1577 号

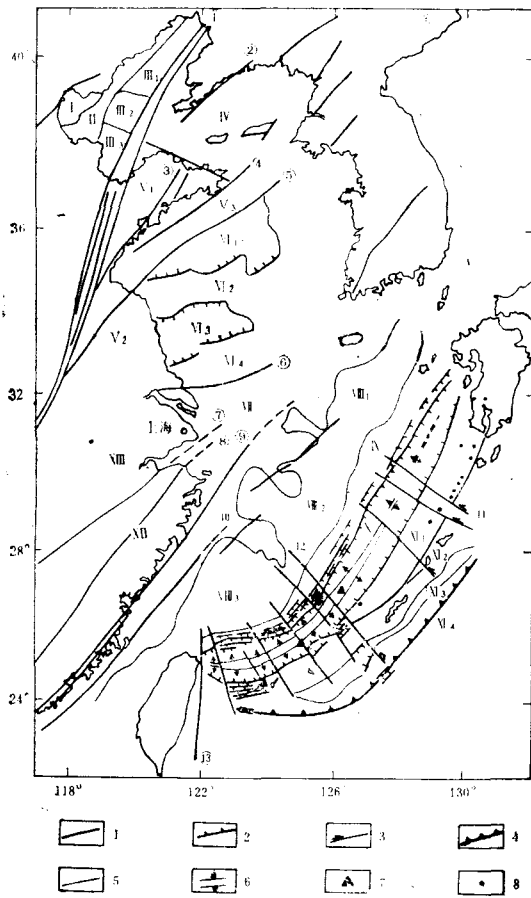


图1 渤黄东海的构造

Fig. 1 The structural framework of Bohai Sea, Huanghai and Donghai Sea

I. 渤西拗陷; II. 渤中隆起; III. 渤东拗陷; III<sub>1</sub> 辽东湾凹陷; III<sub>2</sub> 渤中凹陷; III<sub>3</sub> 莱州湾凹陷; IV. 北黄海拗陷; V<sub>1</sub> 胶东隆起; V<sub>2</sub> 连云港隆起; V<sub>3</sub> 千里岩隆起; VI 南黄海拗陷; VI<sub>1</sub> 北部凹陷; VI<sub>2</sub> 中部隆起; VI<sub>3</sub> 南部凹陷; VI<sub>4</sub> 勿南沙隆起; VII 闽浙火山岩带; VIII 东海陆架盆地; VIII<sub>1</sub> 北部凹陷; VIII<sub>2</sub> 中部凹陷; VIII<sub>3</sub> 南部凹陷; IX. 陆架边缘脊; X. 冲绳海槽裂张带; XI. 琉球岛弧-海沟系; XI<sub>1</sub> 内带; XI<sub>2</sub> 外带; XI<sub>3</sub> 弧前盆地; XI<sub>4</sub> 琉球海沟; XII. “华夏古陆”; XIII. 东南地槽系; (1) 郯庐断裂; (2) 庄河断裂; (3) 胶县-烟台断裂; (4) 青岛-大同江断裂; (5) 嘉山-响水断裂; (6) 南通-济州断裂; (7) 江山-绍兴断裂; (8) 海丰-丽水断裂; (9) 诏安-舟山断裂; (10) 东山-大陈岛断裂; (11) 吐噶喇断裂带; (12) 官古断裂带; (13) 台湾东岸外断裂带; 1. 断裂; 2. 正断裂; 3. 平推断裂; 4. 海沟; 5. 构造单元界线; 6. 扩张轴; 7. 海底火山; 8. 火山

湾和莱州湾。其东侧是中国东部巨大的郯庐深断裂的一部分。从辽东湾至莱州湾作 NE 向延伸。凹陷的东侧沉降幅度大, 西侧地层向中部隆起超覆。莱州湾是陆上济阳凹陷的延续, 主

要是下第三纪凹陷, 馆陶组与东营组沉积薄。渤中凹陷是渐新世以来发展的凹陷。辽东湾是下辽河凹陷的延续, 主要是下第三纪凹陷, 凹陷内 NNE 向断裂发育, 组成复式地堑, 中央为地垒, 两侧是地堑。

渤海具有典型三层结构的大陆地壳。莫霍面总的趋势是向渤海抬升, 渤海内莫霍面埋深较浅, 它的起伏与次级构造单元相对应, 成“镜像”关系; 新生代凹陷, 其莫霍面埋深较浅, 约 30—31km; 在隆起上, 埋深较大, 超过 33km (图 3)。

## 二、黄海的构造

黄海以山东成山角与朝鲜燕翎岛联线为界, 分为北黄海与南黄海。

北黄海位于山东半岛、辽东半岛和朝鲜半岛之间, 它是由 NNE 与 NW 两组断裂造成的断陷地。中生代以前, 北黄海、胶辽半岛和朝鲜半岛是一个统一的地块, 它们具有相同的特征<sup>[3]</sup>, 前寒武纪变质岩直接出露, 没有古生代地层。地震与地磁资料表明<sup>[5]</sup>, 在北黄海的中部有二个次一级的构造凹陷, 有三套地层: 下部是前寒武纪变质基底, 中部为中生代变形固结层, 类似胶莱盆地的中生代沉积, 是侏罗-白垩系陆相碎屑岩与火山岩系; 上部是新生代松散海相沉积。

南黄海在构造上分为南部拗陷、北部拗陷和中部隆起<sup>[4]</sup>。事实上, 南黄海由两个构造实体组成, 即南黄海的南部和南黄海的北部。南部(中部隆起的南侧)是古生代地向斜(晚古生代)的延续, 在古生代基底上经历了海西-印支期地壳运动。中生代时又被燕山期等期地壳运动改造, 发生许多断裂, 是一个继承性盆地。基底是古生代浅变质沉积岩系。下第三系覆盖在三迭系青龙灰岩和古生界地层之上。始新统为一套暗色砂泥岩夹灰质砂岩、黑色页岩和灰岩。渐新统是泥岩、砂岩夹煤层, 为一套温暖、潮湿的湖泊相沉积。早第三纪的沉积是以断陷式沉积为特征, 靠近断层的一侧厚度加大, 因而沉积

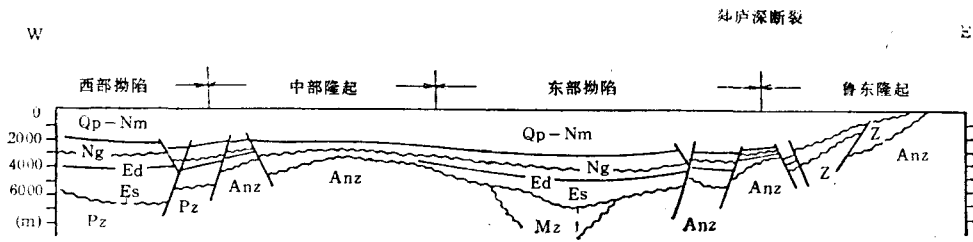


图2 渤海的构造剖面  
Fig. 2 Structural profile of Bohai Sea

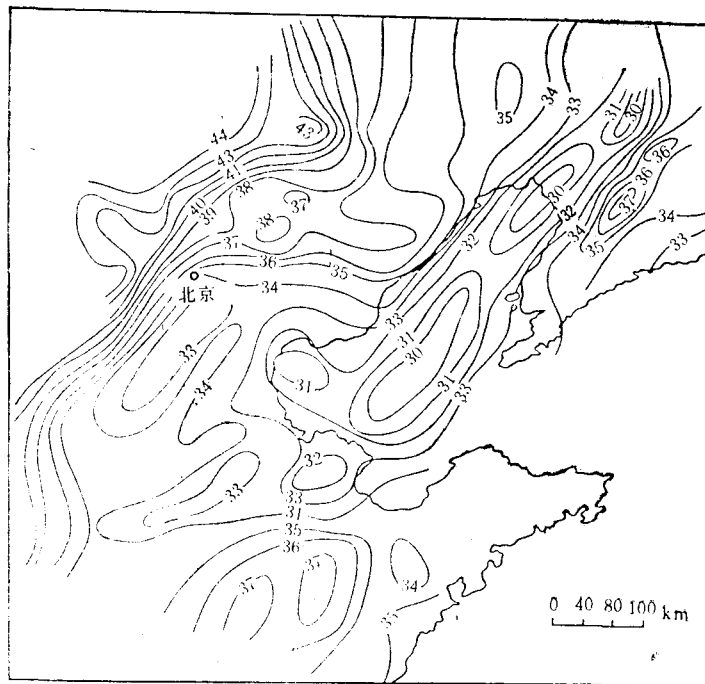


图3 渤海莫霍面深度(km)  
Fig. 3 Moho discontinuity depth of Bohai Sea(km)

物南厚北薄，呈箕状。晚第三纪的沉积则以披盖式沉积为特点。新生代沉积厚达4000—6000m，主要是一套湖相与河相的泥沙沉积。南黄海北部（包括北部拗陷和中部隆起）是连云港东隆起的一部分。燕山运动，NNE向断裂使隆起瓦解，形成断陷盆地。它的基底是古老的变质岩，缺失古生代地层，白垩系不整合覆盖其上，为一套暗色与红色碎屑岩、泥岩、火山岩，其上为下第三系，其间是不整合关系。下第三系由红色与杂色砂岩、泥岩夹石膏沉积，表示这时期处于封闭、干燥环境之中。始新世末地壳

隆起，缺乏渐新统下部的地层。上新世，沉积环境逐渐与南部拗陷趋于一致。

### 三、东海的构造

东海是位于东亚大陆与西太平洋（菲律宾海）之间的一个边缘海，它占据整个东海大陆架，东部是冲绳海槽。冲绳海槽是一个半深弧后盆地，其西侧是大陆坡。琉球岛弧在东海与西太平洋之间呈弧形延伸。

东海有五个构造单元，从西北到东南是福建-岭南隆起、东海陆架盆地、陆架边缘脊、冲绳

海槽和琉球沟弧系<sup>[6,7,11]</sup>(图1)。

东海的水深分布：陆架，0—130m(南部)或—170m(北部)，海底十分平坦，坡度1′；陆坡，大致是—170m—800m，坡度10°；海槽—800—2300m，最大水深在南部，海底不平，有海底山或海底火山。

东海的地磁场(图4)：陆架的地磁场以平缓的负磁场为主，磁性基底埋深大，一般是4—6km，最大达10km。大致以28°N—29°N为界，陆架地磁场分为南北两个磁区，北部是以NNE向线性异常为特征夹有NEE向的异常，而南部则以NE向块状异常为特征。沿冲绳海槽西坡分布的是低的正异常，宽20—40km，



图4 南黄海和东海航磁 $\Delta T_a$ 等值线图  
Fig. 4 Schematic isogram of  $\Delta T_a$  of airborne magnetic Survey in the region of South Yellow Sea and East China Sea  
1.正常值; 2.负异常; 3.0值

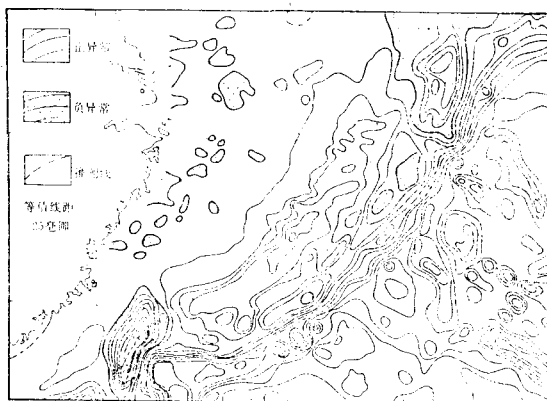


图5 东海的布格异常(等值线距25mGal)  
Fig. 5 The map of Burguer gravity anomaly of East China Sea  
1.正异常; 2.负异常; 3.推测线

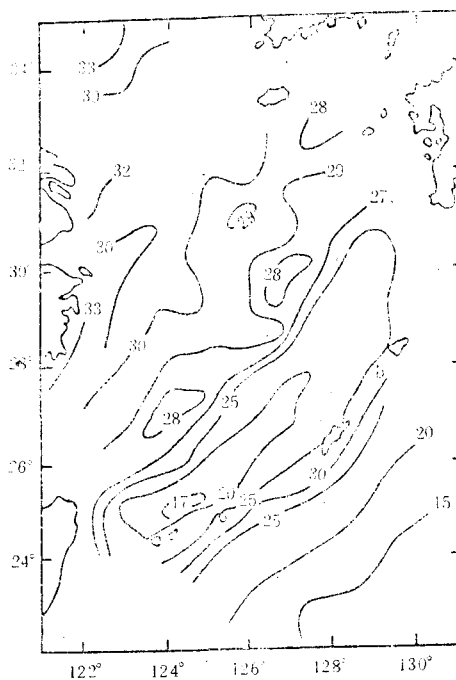


图6 东海地壳厚度  
Fig. 6 The map of the crustal thickness in East China Sea

NNE走向。冲绳海槽的地磁场是正异常<sup>[7]</sup>。

东海的重力场：陆架区的布格异常值约为10—20mGal，陆架边缘为40mGal左右，冲绳海槽北部为80—100mGal，南部可达160mGal。琉球群岛布格值迅速下降，东侧仅20mGal。然后急剧升高，至琉球海沟达300mGal。总之，陆

架区布格异常为宽缓的块状异常, 冲绳海槽与琉球海沟区则显示为NNE向的线性异常(图5)。

东海的地壳厚度: 据布格重力异常值计算, 东海陆架的地壳厚度为28—33km, 台湾海峡处为25km, 属大陆型地壳。冲绳海槽北部的地壳厚度为20—28km, 为大陆型地壳; 南部仅15—21km, 属过渡性地壳<sup>[8,12]</sup>。琉球岛弧地壳厚度27—30km, 琉球海沟及其以东地区地壳厚度7—9km, 属大洋型地壳(图6)。

东海的地震波探测: 东海地震波探测的最深可信速度为5.3—6.8km/s<sup>[9,13]</sup>, 它可与大洋层2相比拟, 但代表的是中生代及其更老的变质岩基底, 可称之为“声波基底”, 与磁性基底大致相当。此基底之上存在五套地层, 自下而上是: 下第三系(4.72—5.67km/s), 中新统(3.67—4.59km/s), 上新统(2.51—3.13km/s), 更新统(2.23—2.40km/s) 和全新统(1.60—2.00km/s)。

近年来, 对东海构造的研究取得了很大进展, 但对东海下面三个构造体的性质及形成机制, 还需进一步研究。

**东海陆架盆地** 它占据整个东海陆架,

宽约250km, 长1300km, NNE走向, 是一个新生代沉积盆地。新生代沉积一般都有4000m以上的厚度, 最大厚度达9000m左右。新生界下部地层是经过构造变动的下第三系始新统与渐新统(纵波速度4.7—5.6km/s), 中部地层是变形的中新统(纵波速度是3.6—4.6km/s), 上部地层是微变形的上新统(纵波速度2.5—3.2km/s), 顶部地层为更新统一全新统。它们之间皆为不整合接触。东海陆架盆地可分为四个拗陷: 北部拗陷, 基底埋深3000—4000m; 中部拗陷, 基底埋深7000m; 南部拗陷, 基底埋深7000—9000m。福建浙江沿海发现上古生界及侏罗系海相地层, 台湾、琉球群岛也有海相的古生代、中生代地层, 东海陆架盆地的基底在南部和东部可能存在古生代与中生代的海相变质岩, 而西部与北部则可能是古老的变质岩与中生代的火山岩。老第三系, 主要充填在局部的断陷盆地内, 中新世在断陷内才有较广泛的分布。中新世末期发生了一次较普遍的地壳运动——冲绳海槽运动<sup>[10]</sup>。上新统以披盖式分布在整个东海陆架盆地, 甚至漫越陆架边缘脊(图8)。

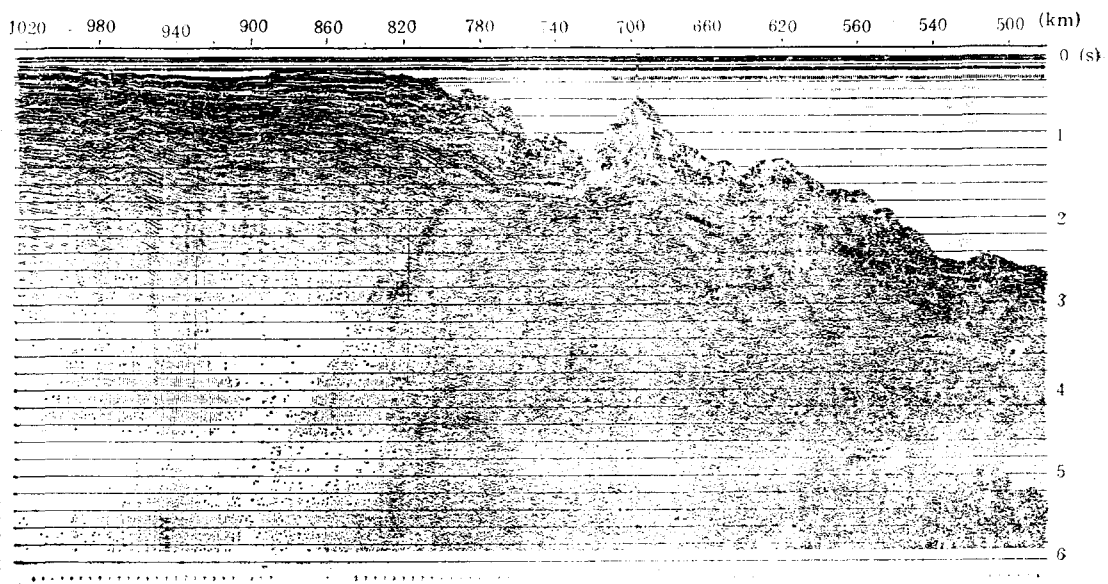


图7 陆架边缘脊南部的地震剖面

Fig. 7 Seismic profile in the southern part of the marginal edge of the shelf

由此看来, 东海陆架盆地是设置在构造基底上的一个晚新生代拗陷, 经历了裂谷—断陷—拗陷的发育阶段。据现有的地质与地球物理资料, 它与浙闽东部是一个构造整体, 在老第三纪—中生代时期, 它类似一个山间盆地, 西

有浙闽山地, 东有陆架边缘脊。燕山运动期间, 断裂发育, 地壳拉张破裂, 形成一个 NE 方向伸展的裂谷, 断裂堆积了老第三纪沉积。上新世, 盆地整体下沉, 大规模的海进。

**陆架边缘脊** 根据地震资料, 陆架边缘

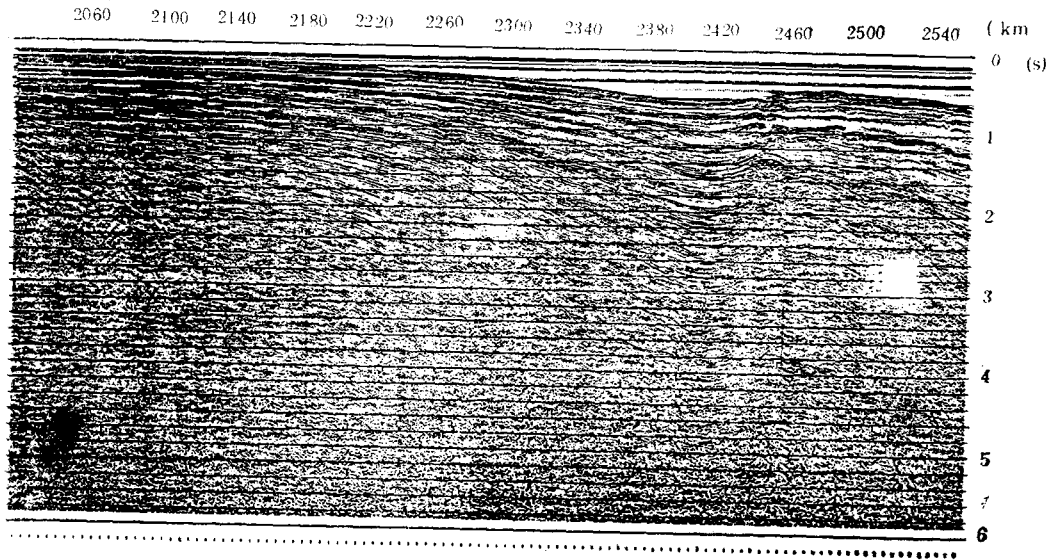


图 8 陆架边缘脊北部的地震剖面  
Fig. 8 Seismic profile in the northern part of marginal edge of the shelf

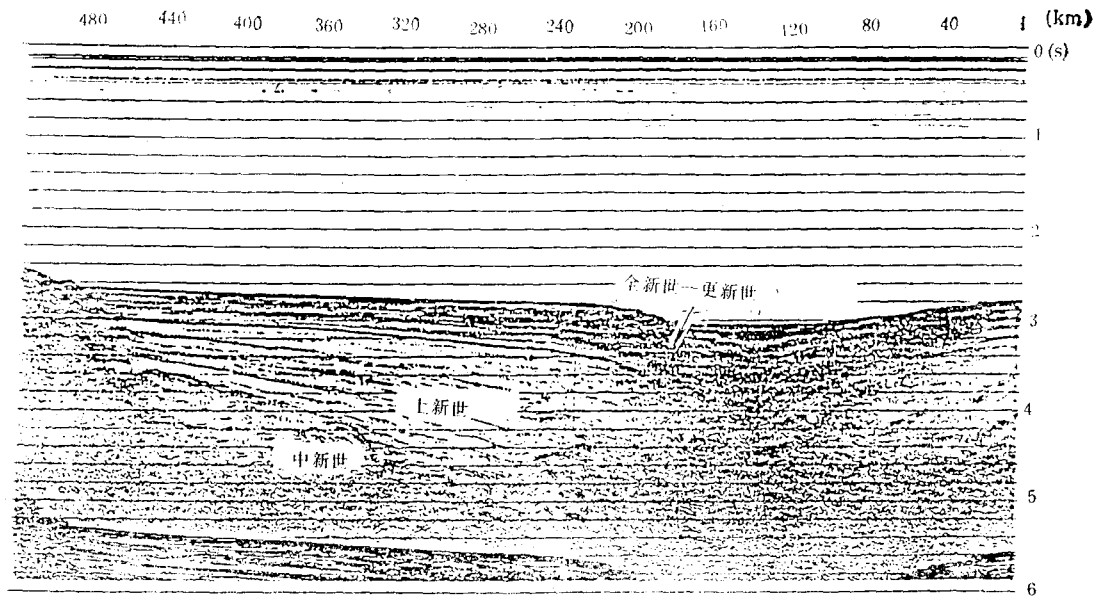


图 9 冲绳海槽南部地震剖面  
Fig. 9 Seismic profile in the southern part of the Okinawa Trough

确有一条隆起带,沿五岛列岛、陆架边缘分布到台湾北部。它是一条中新世中期褶皱隆起,又被上新世末期的火成岩所复杂化。基底岩系由老第三纪及更老的岩层组成。官古断裂将其分为南北两段,它们的地质历史并不完全一样。南部以断块运动为主,形成一些断块(图7),缺失波速为 $3.6-4.2\text{km/s}^{[43]}$ 的中新世晚期的岩层。北部,浮标测量的结果表明隆起带上缺失 $4.3-4.7\text{km/s}$ 的速度层;反射地层资料表明,上新统与第四系漫越该隆起带,在斜坡上呈楔状坡前沉积(图8)。由此可见,该隆起带曾发生过南北跷板运动,先是北部抬起,大致是中新世早期到中新世晚期。后来南部抬起,而北部开始下降;上新世,北部大幅度下沉。由于冲绳海槽的张开,琉球群岛与边缘脊分离,边缘脊成为残留的大陆边缘的一部分<sup>[5]</sup>。

**冲绳海槽** 位于陆架边缘脊与琉球岛弧之间,为西太平洋沟弧盆系中的一个弧后盆地,又是一个具有 NE 走向的深水槽,向太平洋(菲律宾海)突出。槽内有厚层上新世和更新世沉积,分为三层,上部为水平层,中部为微变形层,下部为变形层,它们分别代表更新统一全新统,上新统和中新统一老第三系。

冲绳海槽的地壳性质与东海陆架不一样,陆架的地壳厚度大于 $28\text{km}$ ,冲绳海槽的地壳厚度平均为 $21\text{km}$ ,北部大于 $25\text{km}$ ,是大陆型地壳,南部接近大洋型地壳,厚 $15-18\text{km}$ ,局部更薄。

冲绳海槽的热流值很高,一般大于 $2\text{HFU}$ ,平均值 $3.62\text{HFU}$ ,最大值达 $8.95\text{HFU}$ 。冲绳海槽的热流值不仅比洋中脊的热流值高,而且也比西太平洋所有边缘海的热流值都高。

冲绳海槽被吐噶喇断裂和官古断裂分为三段:北部、中部和南部。南部和中-北部,在地壳结构、热流、构造作用和火山作用方面都存在差异。更新-全新统在中-北部厚,南部薄,而上新统却是中-北部薄,南部厚。中-北部海底平坦,南部海底中央有海底火山和拉张轴,被上新-更新统充填而有别于洋中脊的扩张轴。(图

9)

冲绳海槽在构造上经历了地幔物质上隆的拱顶期,岩石圈的断裂拉张期和岩浆向两侧推挤的扩张期。只有南部发展到扩张早期,中-北部仍停留在断陷期。

#### 四、渤海、黄海和东海的构造演化

渤海和黄海是内陆海,它们的形成与大陆地壳的拉张断裂有关。渤海、北黄海和南黄海的北部是中新生代的断陷盆地,而南黄海的南部则是在上古生代地向斜的基础上,经过燕山

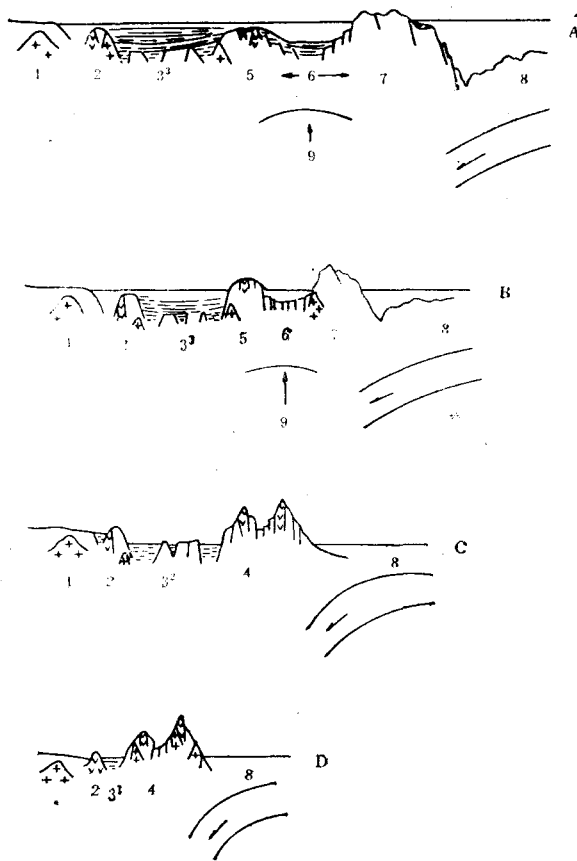


图 10 东海构造演化示意

Fig. 10 Tectonic evolution of East China Sea

A. 第四纪—晚上新世; B. 晚中新世;

C. 下第三纪; D. 白垩纪

1. 华夏古陆; 2. 浙闽火山岩带; 3<sup>1</sup>. 东海裂谷; 3<sup>2</sup>. 东海断陷; 3<sup>3</sup>. 东海拗陷; 4. 琉球古岛弧; 5. 陆架边缘隆起; 6. 冲绳海槽; 7. 琉球岛弧; 8. 菲律宾海; 9. 地幔

运动改造的继承性盆地。

东海是西太平洋的一个边缘海,是由于菲律宾海板块向亚洲板块俯冲,在大陆地壳的基础上形成的。

Hild 等曾指出,太平洋板块向北移动了 3000km,运动的方向和速率随时间发生偏转,100—40m.y. 间,是 NNW 方向,速率是 8cm/a,而在 40—20m.y.,方向转变为 NWW,速率是 9cm/a。

中生代时期,中国东部大陆边缘是山弧型,东中国大陆与古太平洋间的俯冲带位于现在陆架边缘附近。中生代末期,地壳弯曲,产生 NE 向断裂,在大陆边缘形成裂谷。(图 10)

老第三纪时,俯冲带东迁,大陆边缘裂谷变宽,变为断陷。

中新世末,发生冲绳海槽运动第一幕,在大陆边缘产生一系列走向断裂,冲绳海槽以裂谷形式开始形成,南部的拉张轴迅速被上新世沉积物充填。

更新世早期或晚上新世,现今的构造格局基本上奠定下来

## 参 考 文 献

- [1] 李德生, 1981. 渤海湾含油气盆地的地质构造特征与油气田分布规律. 海洋地质研究 1(1): 3—20.
- [2] 徐怀大, 1981. 渤海湾盆地第三纪地层和沉积特征. 海洋地质研究 1(2): 10—27.
- [3] 金翔龙、喻普之, 1982. 北黄海的构造轮廓. 黄东海地质. 科学出版社, 23—26 页.
- [4] 范时清、金翔龙, 1962. 南海的大地构造初步探讨. 海洋与湖沼 4(1): 110—111.
- [5] 金翔龙、喻普之, 1981. 东海的构造形式与演化. 构造地质丛刊 1: 10—27.
- [6] 金翔龙、喻普之, 1982. 黄东海地质构造. 黄东海地质. 科学出版社, 1—22 页.
- [7] 张用夏、杨华, 1983. 中国近海的航磁测量. 中国科学 B 辑 26(9): 886—1008.
- [8] 金翔龙、喻普之、林美华等, 1983. 冲绳海槽地壳结构性质的初步探讨. 海洋与湖沼 14(2): 105—116.
- [9] 金翔龙、唐宝珏、庄杰早等, 1985. 东海地壳层的速度结构. 海洋与湖沼增刊. 科学出版社.
- [10] 金翔龙、喻普之, 1987. 冲绳海槽的构造与演化. 中国科学 B 辑 (2): 196—203.
- [11] Wageman, J. M., T. W. C. Hide and K. O. Emery, 1970, Structural framework of East China Sea and Yellow Sea. AAPG 54(9): 1161—1163.
- [12] Lee, C. S., G. G. Jr. shor, L. D. Bibee et al, 1980. Okinawa Trough: Origin of a back-arc basin. Marine Geology 35(1—3): 219—241.
- [13] Leyden, R. M., M. Ewing and S. Murauchi, 1973. Sonobuoy refraction measurements in East China Sea. AAPG 57(2): 2396—2403.

## TECTONIC EVOLUTION OF BOHAI SEA, YELLOW SEA AND EAST CHINA SEA\*

Yu Puzhi

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

**Key: words** Depression, Faulted-depression, Rift valley, Interior Sea, Marginal Sea.

### Abstract

Bohai Sea, Yellow Sea and East China Sea are located between the continental margin of the East China and western Pacific. They differ in their occurrence and development. Bohai Sea and Yellow Sea are interior seas formed as mantle material was upwelling and the continental crust was busting and faulted. The East China Sea is a marginal Sea developed on the basins of continental lithosphere due to subjunction of Philippine Sea plate towards Asia. They are composed of tectonic zones with NNE trend. Their tectonic framework was basically underlain in early Pleistocene or late Pliocene.

\* Contribution No. 1577 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.