

# 闽江凹陷形成演化史

张 婧<sup>1</sup>, 王 蛟<sup>2,3</sup>

(1 中国石油大学(华东), 青岛 266580; 2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266071;

3 海洋国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 青岛 266071)

**摘 要:** 闽江凹陷是东海陆架盆地南部中生界油气运移的长期有利指向区, 它的形成演化史对凹陷内油气的运聚与保存具有重要的影响。采用地震剖面分析、平衡剖面分析等方法对其进行分析, 结果表明: 侏罗纪末期雁荡低凸起和台北低凸起尚未形成, 闽江凹陷与东部的基隆凹陷连为一体, 整体稳定沉降接受沉积; 白垩纪末期的断陷运动导致雁荡低凸起形成, 其西部的甌江凹陷为典型的陆相断陷湖盆, 台北低凸起尚未形成规模, 闽江凹陷仍与基隆凹陷连为一体, 接受滨浅海相沉积。后期构造运动的改造导致闽江凹陷呈现出现今的盆地形态。对于闽江凹陷的油气突破具有重要的指导意义。

**关键词:** 闽江凹陷; 雁荡低凸起; 台北低凸起; 平衡剖面; 演化史

**中图分类号:** P618.130.2

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.16028/j.1009-2722.2016.08003

闽江凹陷位于东海陆架盆地西部坳陷带的中南部, 总面积 28 000 km<sup>2</sup>, 凹陷整体上具有东断西超的特征, 是区域内中生代地层最发育的凹陷之一<sup>[1-3]</sup>。近年来, 随着东海陆架盆地南部中生界勘探研究的逐步开展, 学者对闽江凹陷的研究逐渐深入, 研究表明闽江凹陷是东海陆架盆地南部中生界油气运移的长期有利指向区<sup>[4,5]</sup>。

## 1 工区概况

盆地的结构及形成演化史对其油气地质特征具有重要的影响。从东海陆架盆地南部的新生代构造区划图(图 1)可以看出闽江凹陷夹持于雁荡低凸起(西侧)、台北低凸起(东侧)、观音凸起(南侧)以及渔山凸起(北侧)之间。但闽江凹陷是否为一个中新生界的独立凹陷, 凹陷内物源来自其边界的凸起区还是来自西部的浙闽隆起区, 闽江

凹陷与东部的基隆凹陷有什么联系, 这些问题均迫切需要通过开展凹陷形成演化史的研究来解决。东海陆架盆地具有“东西分带, 南北分块”的构造特征<sup>[6]</sup>, 闽江凹陷东西两侧的台北低凸起和雁荡低凸起的形成演化史控制了闽江凹陷的结构。

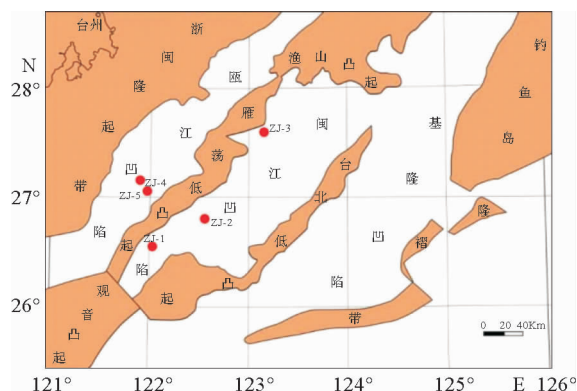


图 1 东海陆架盆地南部新生界构造单元区划

Fig. 1 Cenozoic tectonic division of the southern East China Sea Shelf Basin

收稿日期: 2016-02-23

作者简介: 张 婧(1988—), 女, 在读博士, 主要从事构造地质学方面的研究工作。E-mail: 447680873@qq.com

工区内八九十年代采集处理的地震剖面其勘探目的层为浅部的古近和新近系,又受当时采集、处理的设备和技术的影 响,地震剖面上中生界反射不清晰(能量较弱),各类干涉波极为发育。在地震资料处理过程中虽经压制,但并未全部消除,给正确解释带来了困难。因此,在对中生界二维地震资料重处理的工作中,通过对老资料的原始状态分析,应用叠前道集净化处理技术、真振幅恢复处理技术、组合反褶积处理技术、多次波衰减技术、子波提取与整形处理技术、叠前时间偏移成像等技术,地震剖面整体上成像比以前大为改善,信噪比提高,同相轴的相对连续性和断层断点都较为可靠,保证了该区地质构造解释的需求。在解释阶段,严格按照《地震解释勘探规范》和区内钻井、地质研究成果,参考前人地震解释方案,结合海陆对比成果,对5个主要反射界面( $T_2^0$ 、 $T_4^0$ 、 $T_5^0$ 、 $T_6^0$ 、 $T_g$ )进行了较为精细的构造解释。考虑到本区构造的复杂性和地震剖面质量等情况,采用了在二维叠加剖面的纸剖面上进行骨干地震剖面地质解释,建立本区的构造格局。此外在解释过程中还结合了近年来新采集的以中生界为勘探目的层的地震剖面,其资料品质较以往老的资料有较大的改观,保障了解释成果的可靠性和精确性。

## 2 雁荡低凸起形成演化史

目前对于雁荡低凸起的形成时间存在争议,以往观点认为,雁荡低凸起在中生界沉积之前已经存在,对两侧凹陷沉积具有控制作用,而且其上部直接披覆新生界沉积<sup>[7,8]</sup>。本次研究根据最新的地震资料解释成果以及对重磁资料的分析,对雁荡低凸起的形成演化过程有了新的认识。

通过在过雁荡低凸起的典型地震剖面上对凸起形态的精细刻画,明确了雁荡低凸起的展布范围(图2),可以看出,雁荡低凸起由北向南由3个不连续的NE向凸起组成,每个凸起西部以断层为边界,与瓯江凹陷地层呈突变接触。向东以斜坡的方式向闽江凹陷过渡。从由北向南的7条切过雁荡低凸起的北西向的地震剖面可以看出(图3、4),凸起之上有广泛的中生界地层发育,并非以往观点认为的雁荡低凸起之上直接超覆新生界。从雁荡低凸起两侧的中生界地层分布可以看出,

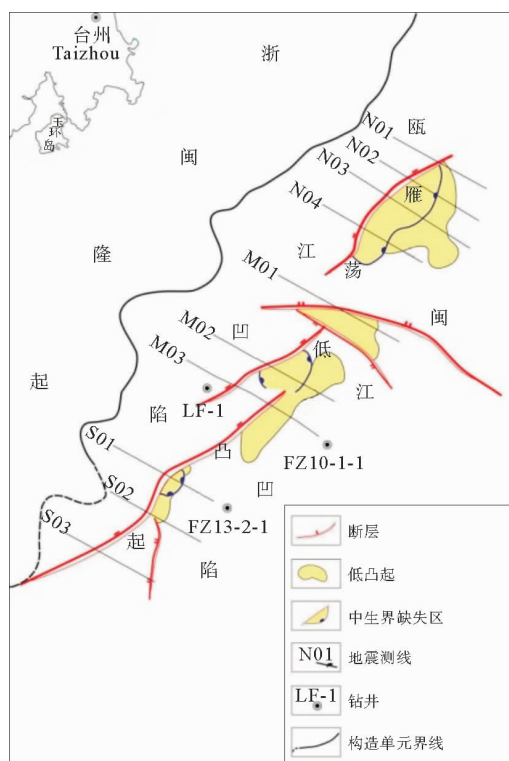


图2 雁荡低凸起平面分布图(据文献[9]修改)

Fig. 2 A plane-view of the Yandang Low Uplift (modified from reference [9])

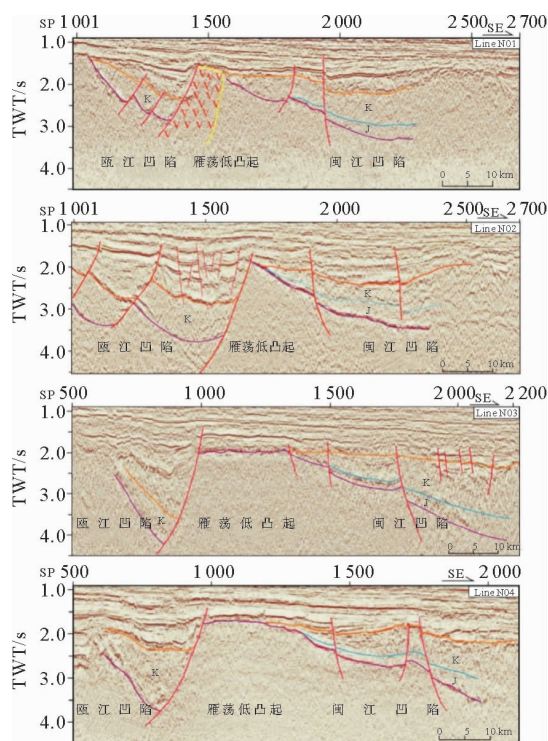


图3 雁荡低凸起北段地震剖面(据文献[9]修改)

Fig. 3 Seismic profiles across the northern part of the Yandang Low Uplift (modified from reference [9])

侏罗纪地层由东向西超覆在其上,而在瓯江凹陷缺失侏罗纪,说明在侏罗纪沉积时期西部的瓯江凹陷尚未形成,应该与浙闽隆起区连为一体,为剥蚀区。雁荡低凸起为侏罗纪时期盆地的西部边界。

在雁荡低凸起之上有白垩系发育,厚度较小,在西部的瓯江凹陷发育较厚的白垩纪地层,因此判定雁荡断裂于白垩纪开始活动,为一个生长断层,闽江凹陷内部及雁荡低凸起上部的白垩纪地层其物源应来自于西部的浙闽隆起区。白垩世开始,太平洋板块向欧亚板块的俯冲开始变陡,由早期的 $10^\circ$ 渐变为 $80^\circ$ ,区域应力场也由此从低角度俯冲下的压扭变为高角度俯冲下的伸展。导致东海陆架盆地一系列中生界张性生长断层的发育,瓯江凹陷正是在此种构造背景下形成的。

从东海陆架盆地南部重力异常图(图5左)和磁力异常图(图5右)可以看出雁荡低凸起呈现为高重力异常和低磁力异常的特征,可能与凸起上发育中生代地层有关。从莫霍面埋深图(图6)

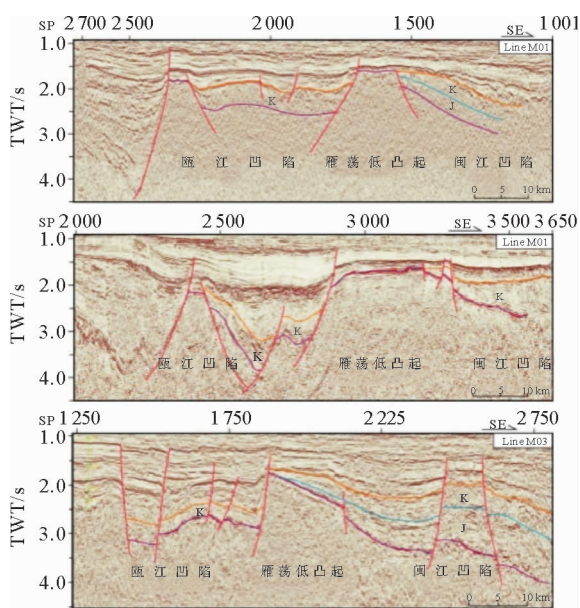


图4 雁荡低凸起中部在典型地震剖面上的形态特征 (据文献[9]修改)

Fig. 4 Seismic profiles across the middle part of the Yandang Low Uplift (modified from reference [9])

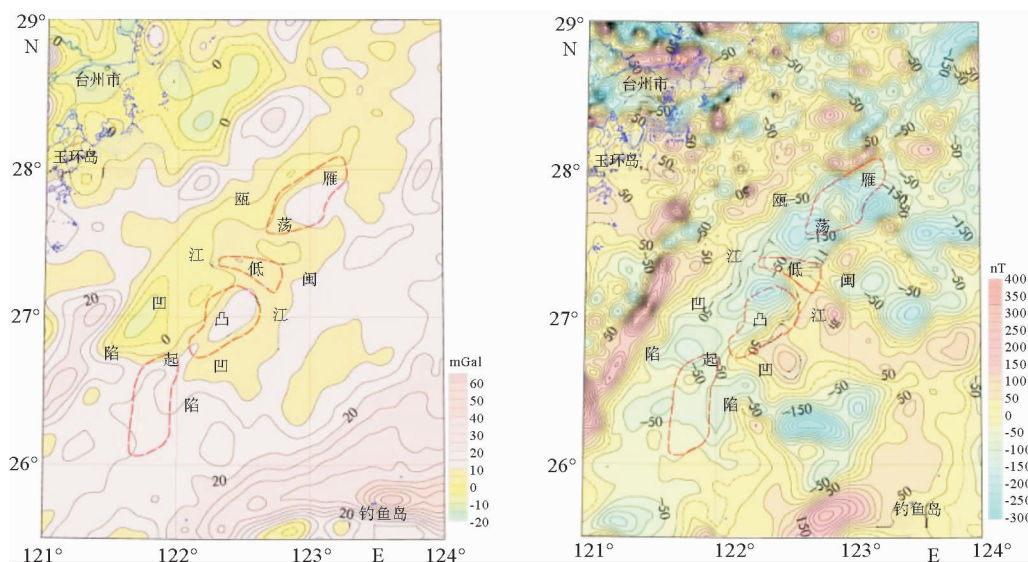


图5 东海陆架盆地南部自由空间重力异常(左)与磁力异常(右) (据文献[9]修改)

Fig. 5 Map showing free air gravity anomalies (left) and T magnetic anomalies (right) of the southern East China Sea (modified from reference [9])

可看出整个东海陆架盆地南部莫霍面埋深具有“凹—凸—凹—凸—凹”相间的特点,总体上呈NE、NNE向展布。基本上对应于浙闽隆起带、东海陆架盆地、钓鱼岛隆褶带、冲绳海槽以及琉球隆褶带,而雁荡凸起的特点更接近于浙闽隆起区。

综合以上的分析,推测雁荡低凸起在侏罗纪时应与浙闽隆起区连为一体,为剥蚀区,向东部的闽江凹陷提供物源。白垩纪由于古太平洋板块向欧亚板块俯冲角度加大,工区应力场从挤压变为伸展,导致雁荡低凸起形成,表现为3个不连续的

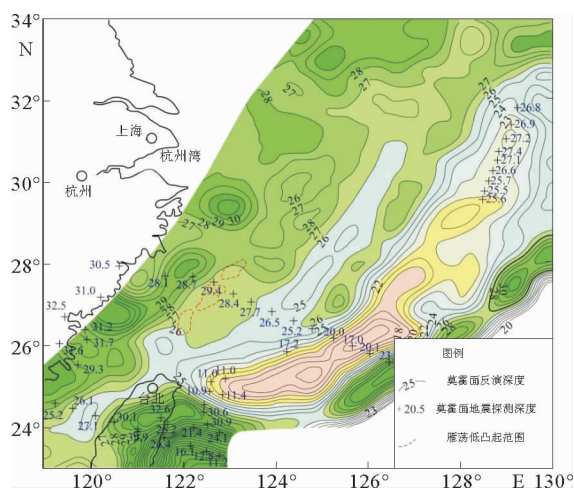


图 6 东海陆架盆地及邻域莫霍面埋深  
(据文献[10])(单位:km)

Fig. 6 Map of Moho buried depth in East China Sea and its adjacent regions (from reference [10])

凸起,分隔西部的瓯江凹陷与东部的闽江凹陷、基隆凹陷。

### 3 台北低凸起形成演化史

受地震资料品质的影响,前人对台北低凸起的形态、展布范围及其与周边地层的接触关系的认识存在误差,忽略了其上部发育的中生界沉积及其上覆中生界地层的厚度变化趋势,认为台北低凸起在中生代沉积之前已经形成,为闽江凹陷的东部边界,分隔闽江凹陷与东部的基隆凹陷<sup>[11]</sup>。本次研究通过对地震资料的精细解释,结合对典型剖面的平衡剖面分析,认为中生代时台北低凸起并不存在。

通过对地震资料的精细解释,圈定了台北低凸起的分布范围(图 7)。可以看出,由北向南台北低凸起由几个不连续的 NE 向凸起组成。由北向南选取了 3 条代表性地震剖面来刻画台北低凸起的形态。

Cx01 位于台北低凸起的偏北部(图 8),可以看出该剖面上广泛发育火成岩体。火山岩体顶部均切穿  $T_2^0$  界面,说明其为燕山晚期火山活动的产物。由于火成岩的侵入导致火成岩体上部的地层发生上拱,其两侧的地层也被向上牵引。火成岩体两侧中生界厚度基本相同,岩体上部中生界

有减薄的现象。这些现象可说明火山活动于中生界沉积之后。如果忽略火山活动的影响,中生界整体为一向东倾斜的斜坡,整体上由西向东稳定加厚。台北低凸起在该条剖面上表现为 2 个火山岩侵入体,综合上述分析认为其形成时间应该在中生界沉积之后,至少应在晚白垩世以后。

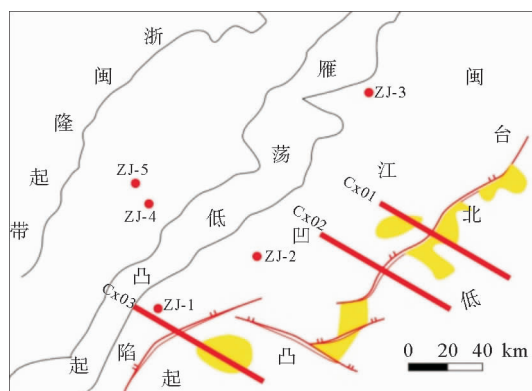


图 7 台北低凸起平面分布

Fig. 7 Spatial distribution of the Taipei Low Uplift

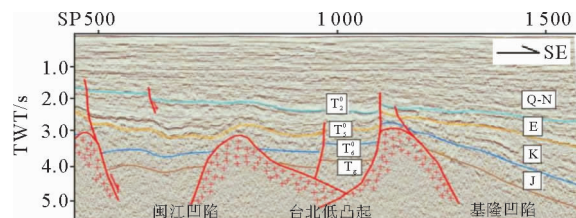


图 8 Cx01 解释结果

Fig. 8 Interpretation result of Cx01

Cx02 位于台北低凸起的中部(图 9)。该剖面有别于 Cx01,在该条剖面上没有见到火成岩体的侵入,而断裂十分发育,多数为张性正断层。可以看出中生界的厚度在所有断层的上下盘基本相等,而古近系厚度在断层上下盘差别极大,因此,断层形成于白垩系沉积之后,古新世时应为同生断层。台北低凸起西部以断层与闽江凹陷接触,东部为一平缓的斜坡,上覆有一定厚度的中生界。在凸起顶部可看到中生界厚度被剥蚀减薄,地震和钻井资料解释认为,台北低凸起上的白垩纪地层剥蚀量可达 1 000 m<sup>[12]</sup>。从该条剖面揭示的台北低凸起的特征可以看出,台北低凸起在中生代不存在,晚白垩世—古新世的雁荡运动形成台北主断裂导致台北低凸起的形成。

Cx03 位于台北低凸起的南部(图 10)。可以

看出台北低凸起在该剖面上表现为一个火成岩体。火山岩体顶部均切穿  $T_0 \uparrow$  界面,说明其为燕山晚期火山活动的产物。由于火成岩的侵入导致火成岩体上部的地层发生上拱,其两侧的地层也被向上牵引。火成岩体两侧中生界厚度基本相同,岩体上部中生界有减薄的现象。这些现象可说明火山活动于中生界沉积之后。如果忽略火山活动的影响,中生界整体为一向东倾斜的斜坡,整体上由西向东稳定加厚。

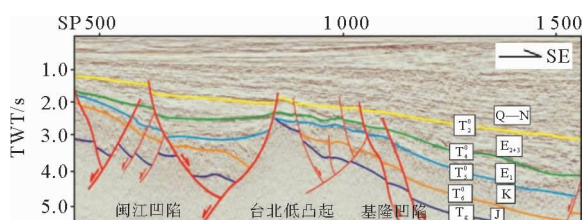


图9 Cx02 解释结果

Fig. 9 Interpretation result of Cx02

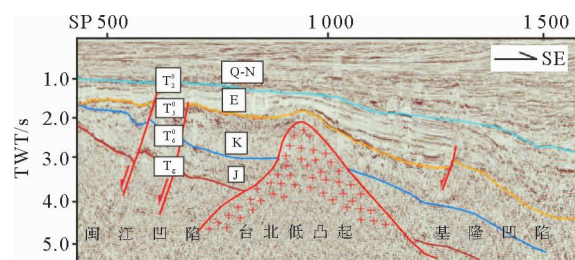


图10 Cx03 解释结果

Fig. 10 Interpretation result of Cx03

综上所述,台北低凸起两侧广泛发育中生界地层,沉积厚度具有自西向东加厚的趋势。其上的中生界遭受燕山晚期火山岩体侵入的影响,中生代地层厚度相对减薄,而两侧中生代地层厚度基本相同。在没有火成岩侵入的地区台北低凸起西侧与中生界地层通过台北主断裂以断层形势接触。断裂上下盘中生界厚度基本相同,古近系厚度具有较大差别,因此,断裂形成于中生界沉积之后。结合平衡剖面法分析认为,中生代是台北低凸起并不存在,中生代末期在中部形成几个断续的火成岩体,此时闽江凹陷和东部基隆凹陷连为一体,为一个连续的斜坡,直到晚白垩世末—古近纪时台北低凸起才在大规模的火山活动和断裂活动的作用下连为一体,成为分隔闽江凹陷和基隆凹陷的一个 NNE 向的低凸起。

## 4 平衡剖面分析

为了还原闽江凹陷形成演化历史,选取了代表性剖面 Cx08 采用平衡剖面的技术编制了盆地的构造演化史图(图 11)。从图中可以看出,侏罗纪时闽江凹陷和东部的基隆凹陷连为一体,整体坳陷,沉积最大厚度两千余米,其地层总体呈纺锤形,中间较厚,两边薄,反应侏罗纪时期盆地为坳陷型沉积。西部的瓯江凹陷尚未形成,为隆起区,接受剥蚀。白垩纪,瓯江—丽水断陷开始形成,表现为东断西超的小型箕状断陷盆地,物源来自西部的浙闽隆起区,沉积了千余米厚的陆相沉积。闽江凹陷和东部的基隆凹陷整体表现为一个斜坡,地层向东则逐渐加厚。

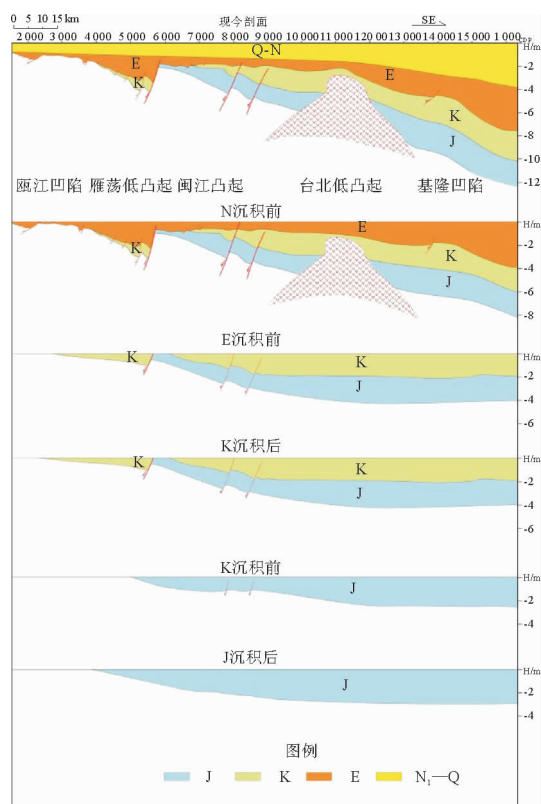


图11 Cx03 构造演化剖面图

Fig. 11 Tectonic evolution profile of Cx03

## 5 结论

(1) 侏罗纪时雁荡低凸起尚未形成,浙闽隆起

区为闽江凹陷的西部边界;白垩纪末期在区域张应力的背景下雁荡低凸起开始形成,分隔瓯江凹陷与闽江凹陷。

(2)台北低凸起在中生代表现为几个不连续的海底火山,水下火山喷发向凹陷提供了一定的火山碎屑物质作为物源,但其不能作为闽江凹陷的东部边界。

(3)闽江凹陷在中生代时不是一个独立的凹陷,侏罗纪时其与东部的基隆凹陷连为一体,接受滨前海相沉积,物源来自西部的浙闽隆起区。白垩纪末期在区域的裂陷作用下瓯江凹陷形成,雁荡低凸起表现为3个不连续的凸起,分隔瓯江凹陷与东部的闽江凹陷;台北低凸起仍表现为几个不连续的水下火山,不能分隔闽江凹陷与东部的基隆凹陷,但其向凹陷提供火山碎屑物质。

#### 参考文献:

- [1] 李刚,龚建明,杨长清,等. “大东海”中生代地层分布——值得关注的新领域[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(3): 97-104.
- [2] 龚建明,李刚,杨长清,等. 东海南部三叠纪地层分布[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(3): 119-124.
- [3] 龚建明,李刚,杨传胜,等. 东海陆架盆地南部中生界分布特征与油气勘探前景[J]. 吉林大学学报:地球科学版, 2013, 43(1): 20-27.
- [4] 李智高,龚建明,操应长,等. 东海南部及邻区海陆中生代沉积特征对比[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2015, 35(1): 29-35.
- [5] 杨艳秋,李刚,戴春山. 东海陆架盆地西部坳陷带中生界分布特征及其有利区探讨[J]. 世界地质, 2011, 30(3): 396-403.
- [6] 赖万忠. 中国海域中生界油气勘探[J]. 中国海上油气地质, 2001, 15(5): 12-17.
- [7] 索艳慧,李三忠,戴黎明,等. 东海陆架盆地构造单元划分与特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 30(6): 49-58.
- [8] 杨文达,崔征科,张昇彪. 东海地质与矿产[M]. 北京,海洋出版社, 2010, 390-405.
- [9] 杨传胜,李刚,栾锡武,等. 东海陆架盆地雁荡低凸起综合地球物理解释及其成因探讨[J]. 地球物理学报, 2014, 57(9): 2981-2992.
- [10] 周志远,高金耀,吴招才,等. 东海莫霍面起伏与地壳减薄特征初步分析[J]. 海洋学研究, 2013, 31(1): 16-25.
- [11] 李智高. 东海陆架盆地闽江凹陷中生代层序地层格架与沉积体系研究[D]. 青岛:中国石油大学(华东), 2015.
- [12] 李三忠,余珊,赵淑娟等. 东亚大陆边缘的板块重建与构造转换[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2013, 33(3): 65-94.

## FORMATION AND EVOLUTION OF THE MINJIANG SAG

ZHANG Jing<sup>1</sup>, WANG Jiao<sup>2,3</sup>

(1 School of Geosciences, China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China;

2 Qingdao Institute of Marine Geology, GGS, Qingdao 266071, China;

3 Qingdao National Laboratory for Marine Mineral Resources and Technology, Qingdao 266071, China)

**Abstract:** The Minjiang sag is the destination of Mesozoic oil and gas migration in the southern East China Sea. The formation and evolution of the sag bear great impacts on the migration, accumulation and preservation of oil and gas. Based on the seismic interpretation and balanced cross section study, it is revealed that the Yandang low uplift and Taibei low uplift had not yet formed before Late Jurassic. The Minjiang sag, together with the Jilong sag in the east, accepted stable deposits of littoral facies. The faulting movement in Late Cretaceous led to the formation of the Yandang low uplift. The Oujinag sag was a typical continental fault basin filled with lacustrine deposits. The Taipei low uplift was not yet formed then. The Minjiang sag was connected with the Jilong sag to receive marine deposits as a whole. The present framework of sag owes its origin to tectonic movements.

**Key words:** Minjiang Sag; Yandang low uplift; Taibei low uplift; balanced cross section; evolution history