

东海陆架盆地闽江凹陷构造特征 及与油气的关系

陈志强^{1,2}, 龚建明^{2*}, 王 蛟², 杨长清², 廖 晶², 陈中红¹, 徐承芬², 刘 蕾¹, 程青松^{2,3}

(1 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 青岛 266580;

2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266071;

3 长江大学地球环境与水资源学院, 武汉 430100)

摘 要:东海陆架盆地是叠合含油气盆地, 其中闽江凹陷中生代分布广, 厚度大, 垂向上发育多套生储盖组合。整个东海陆架盆地经历的全区性构造运动有基隆运动、雁荡运动、甌江运动、渔山运动和龙井运动, 具有复杂的构造演化历史。据构造样式形成的动力学机制, 可以将闽江凹陷划分为伸展型构造样式、挤压型构造样式和复合型构造样式 3 类。断裂是盆地构造分析的基础, 闽江凹陷主要发育雁荡主断裂、台北主断裂和虎岩北断裂等。各种类型的构造油气藏严格受盆地构造样式和断裂的控制, 呈有规律的分布。可以推测, 基隆—新竹凹陷带是主要的生油凹陷, 闽江—厦澎斜坡是油气运移的指向, 而斜坡上发育的局部构造是油气富集的有力部位。

关键词:东海陆架盆地; 闽江凹陷; 构造运动; 构造样式; 断裂; 油气富集

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2017.06007

在整个油气勘探过程中, 含油气盆地的地层结构与构造特征一直是研究的重点。其中, 构造运动贯穿整个盆地的发展过程, 而且控制着盆地内有效油气圈闭的形成和分布^[1]。通过研究盆地的构造特征, 可以发现油气运移的路线、油气富集的规律、油气藏形成的特点, 可以在资料较少的勘探新区预测可能出现的油气圈闭类型, 从而指导勘探^[2]。

目前, 东海陆架盆地新生代油气勘探取得了长足进展, 建立了新生代地层层序, 划分了新生代

构造单元, 确定了古新统、始—渐新统和中新统 3 套成油气组合, 共发现 9 个油气田, 分别是平湖、长康、春晓、残雪、断桥、天外天、宝云亭、孔雀亭和武云亭。但是, 中生代油气勘探一直未有突破。近年来, 勘探的重心逐渐由新生界转移到中生界。随着地震资料采集及处理技术的提高, 闽江凹陷中生界得到了较好的揭示。位于闽江凹陷的 FZ13-2-1 井和 FZ10-1-1 井钻遇侏罗系, 其钻井资料显示, 中生代地层分布广, 厚度大, 垂向上发育 2 套生储盖组合, 具有很大的油气资源潜力^[3-5]。

1 区域地质特征

东海陆架盆地的面积为 $2.5 \times 10^5 \text{ km}^2$, 西部与闽浙隆起相邻, 东部与钓鱼岛隆褶带为界, 属环太平洋含油气盆地的重要组成部分。东海陆架

收稿日期: 2016-12-30

基金项目: 全国油气资源战略选区调查与评价国家专项(第二批)(2009GYXQ05-01)

作者简介: 陈志强(1990—), 男, 在读硕士, 主要从事油气田勘探研究。E-mail: chenzhizhiqiang1990@qq.com

* 通讯作者: 龚建明(1964—), 男, 博士, 研究员, 主要从事海洋油气与水合物研究工作。E-mail: gongjianm@aliyun.com

盆地南部新生界构造单元自西向东划分为瓯江凹陷、雁荡凸起、闽江凹陷、台北凸起及基隆凹陷(图 1)。闽江凹陷总面积 $2.8 \times 10^4 \text{ km}^2$, 位于东海陆架盆地的中南部, 局部构造发育, 中—新生代地层分布广, 厚约 1 万 m, 发育中生界福州组和新生界古新统 2 套烃源岩^[6]。

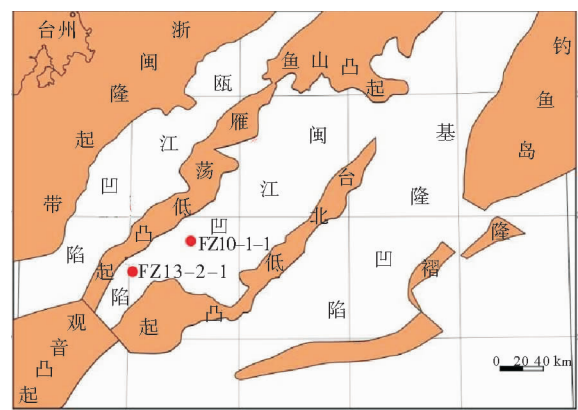
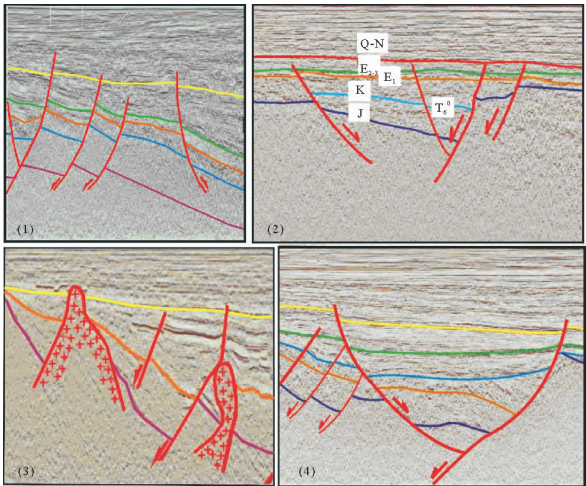


图 1 东海陆架盆地新生代构造单元区划
(据文献[8]修改)
Fig. 1 Cenozoic tectonic division of the East China Sea Shelf Basin (modified from [8])

东海陆架盆地处于太平洋板块、印度板块以及欧亚板块的交汇处, 是由不同构造演化时期的原型盆地叠加形成。经过多期构造运动改造, 如今呈现“东西分带, 南北分块”的构造格局, 整体上具有东断西超的构造特征^[7]。东海陆架盆地南部主要由中生代和新生代 2 个构造层, 5 个亚构造层组成, 其结构类型可分为坳陷型和断陷型(表 1、图 2)。

表 1 东海陆架盆地南部构造单元划分(据文献[9]修改)
Table 1 Tectonic division of the southern East China Sea Shelf Basin (modified from [9])

构造层	亚构造层	盆地结构	构造运动	地震波组
新生界构造层	Q—N I	坳陷	龙井运动	T_2^0
	E_{2+3} II ₁	断陷	瓯江运动	T_4^0
	E_1 II ₂		雁荡运动	T_5^0
中生界构造层	K III	断陷	渔山运动	T_6^0
	T_3-J IV	坳陷	基隆运动	T_g



(1)地垒式;(2)地堑式;(3)火成岩构造组合;(4)箕状断陷
图 2 伸展构造样式 (据文献[10]修改)
Fig. 2 Extensional structural types
(modified from reference [10])

2 构造样式

构造样式是同一时期构造变形或构造应力作用下所产生的构造变形总和。构造变形过程中, 相同构造应力场可以形成特定的构造样式; 不同类型、不同程度的构造应力则形成不同的构造组合类型。即便在同一时期, 盆地的不同部位也会形成不同的构造组样式^[10]。东海陆架盆地经历了不同的构造应力场, 构造样式多种多样, 归纳总结共有 3 大类构造样式, 8 种构造组合(表 2)。

表 2 东海陆架盆地南部构造样式(据文献[12])
Table 2 Structural styles in the south of East China Sea Shelf Basin (from reference [10])

类 型	构造组合	分布区
伸展构造样式	地垒式	瓯江—丽水断陷带、闽江斜坡
	地堑式	瓯江—丽水断陷带、闽江斜坡
	箕状断陷	瓯江—丽水断陷带、闽江斜坡
	火山岩构造	闽江斜坡东部
挤压构造样式	挤压背斜	闽江斜坡
	断背斜	闽江斜坡
复合构造样式	花状构造	瓯江—丽水断陷带、闽江斜坡
	反转构造	雁荡低凸起带、闽江斜坡东部

2.1 伸展构造样式

伸展构造样式是由正断层组合而成, 均以铲

形正断层为主,大多数正断层的特点是凹面向上、上陡下缓。燕山运动早期是东海陆架盆地伸展构造形成的主要控制因素,伸展构造主要分布在东海陆架盆地西部的瓯江—丽水断陷带。

地垒式组合是由 2 条背向倾斜的正断层组成,其共用 1 个上升盘,剖面上形成地垒,在区内广泛分布。地堑式组合是由 2 条相向倾斜的正断层组成,其共用 1 个下降盘,剖面上形成地堑,地堑的形成控制着不同规模凹陷构造的发育,与地垒是相伴生的。半地堑组合,根据其外形特征又称作箕状断陷,由 1 条同生断层和向凹陷倾斜的斜坡组成,形成弧形或铲形正断层控制的不对称盆地,剖面上呈箕状。火成岩构造组合发育广泛,主要有披盖、刺穿和层间型等火成岩类型(图 2)。

2.2 挤压构造样式

在水平挤压应力作用下,地层发育断裂、褶皱和背斜等挤压构造。燕山运动晚期和喜山运动是东海陆架盆地挤压构造形成的主要控制因素,挤压构造主要分布在东海陆架盆地中部的闽江—厦澎斜坡。

挤压背斜构造为后期挤压作用形成,也可以说是同沉积阶段挤压作用形成。断背斜由断裂控制的特殊背斜构造样式,多为后期在挤压应力下形成。叠瓦状逆冲构造组合在挤压应力下均可形成逆冲断层(图 3)。

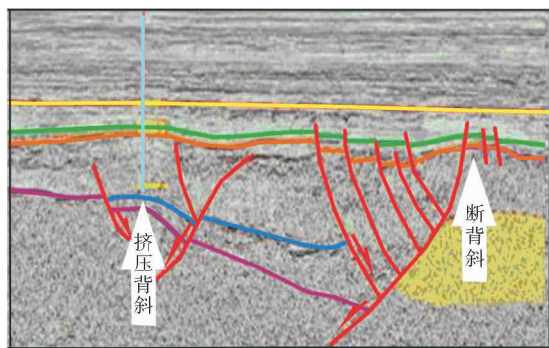


图 3 挤压构造样式:挤压背斜和断背斜(据文献[10]修改)

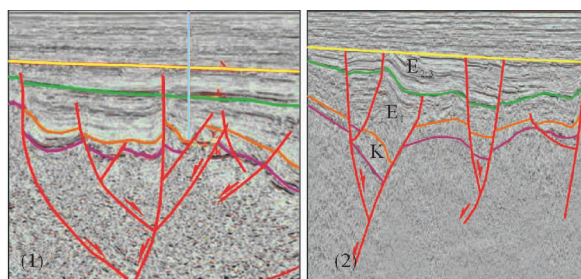
Fig. 3 Compressional structural types: compressional anticlines and fault-related anticlines

(modified from reference [10])

2.3 复合型构造样式

花状构造剖面上形成树枝状,是在一条主控

断层控制下,其上盘形成一系列的补偿分支断层,分支断层倾向与主断层倾向相反或一致,有逆断层也有正断层,分支断层向下延伸归并到主断层面之上,分支断层的平面规模和断距都比主要断层小。反转构造是指构造变形作用发生反向变化所产生的,与前期构造性质相反的一种叠加构造,分为正反转构造和负反转构造(图 4)。



(1)花状构造组合;(2)反转构造样式

图 4 复合型构造样式(据文献[10]修改)

Fig. 4 Complex structural style

(modified from reference [10])

3 断裂特征

3.1 断裂形成期次及平面展布

断裂是盆地构造分析的基础。通过分析断裂与地层切割的关系可知,东海南部闽江凹陷中生界断裂活动开始于侏罗纪早期,根据其形成时期可以分为 3 大类:燕山期断裂、喜山期断裂和长期活动的继承性断裂。燕山期断裂发育最早,也是主控断裂,决定了闽江凹陷侏罗系和白垩系的发育程度和沉积厚度。喜山期断裂对闽江凹陷的构造格局影响较小,大部分喜山期断裂是新发育的,少部分是燕山期的继承性断裂。多数燕山期和喜山期的断裂活动在始新世晚期停止活动,少数断裂活动可以延续至中新世。而长期活动生长性断裂的特征是形成早、规模大、活动时间长,主要是 NW 走向,这些断裂与燕山期 NE 走向的断裂相交,常成为火山活动的主要通道。

闽江凹陷中生界的主要断裂为 NNE 走向,其次为 NWW 走向(图 5)。通常,断裂作为构造单元的边界,发育在凹陷的关键部位,并沿着断面伸展方向派生出不同类型的伸展断裂构造组合。

该区域断裂的规模分为一级、二级和三级。一级断裂规模大,对区域构造起主要控制作用,例如雁荡主断裂,明显控制了瓯江凹陷和闽江凹陷的形态和结构;二级断裂规模较大,对区域构造起调节作用,如虎岩北断裂、虎岩南断裂等,将闽江凹陷分为南北两部分;三级断裂则控制局部断陷的边界。

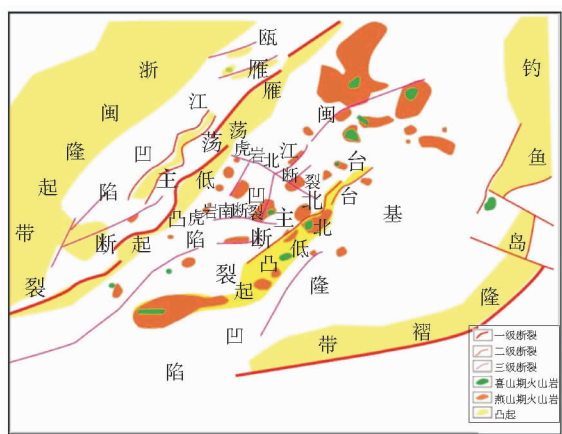
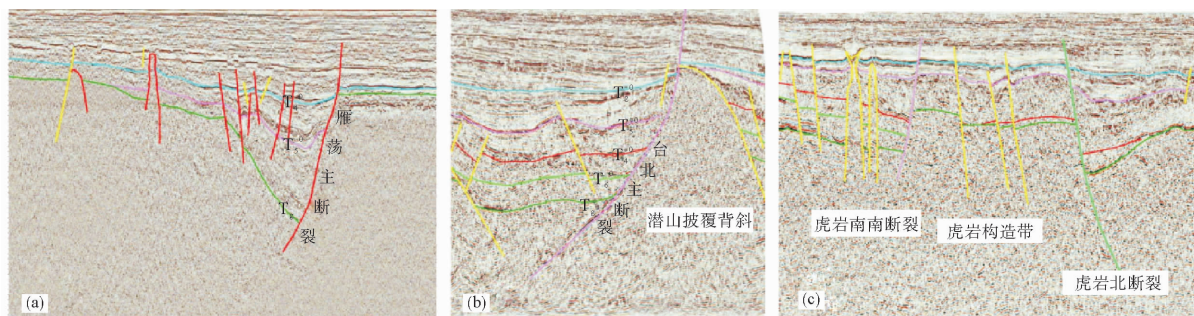


图 5 东海陆架盆地南部断裂及岩浆岩分布
(据文献[11]修改)

Fig. 5 Distribution of faults and magmatic rocks in the southern East China Sea Shelf Basin
(modified from reference [11])

3.2 主要断裂特征

雁荡主断裂总体呈 NNE 走向,倾向 NW,长度约 275 km,从中生代的基隆运动开始发育,是在伸展应力下形成的正断裂。断裂西侧的瓯江凹陷白垩系厚度约 3 km,而东侧的雁荡凸起顶部厚度仅数百米。雁荡主断裂属于早期发育、长期活动的深断裂,切穿基底,断裂处发育潜山披覆、拖曳褶皱、屋脊式断块、断鼻等构造。台北主断裂是由火山活动所产生,在伸展应力下形成的正断裂,呈 NE 走向,倾向 NW,长度约 200 km。台北主断裂从中生代晚期开始发育,白垩纪时期活动最强烈,至渐新世、中新世逐步减弱停止。断裂西侧闽江凹陷的中生界厚度为 3~5 km,东侧台北低凸起的中生界厚度约 1 km。台北主断裂两侧发育有滚动背斜、潜山披覆背斜、屋脊式断块等局部构造。虎岩北断裂总体呈 NWW 走向,倾向 NNE,长度约 120 km,是在拉张应力下形成的正断裂。虎岩北断裂和区域 NNE 向的主构造线近垂直,形成了东海陆架盆地现今“南北分块”的构造格局。虎岩北断裂和虎岩南断裂构成虎岩构造带,在一定程度上分隔了闽江凹陷。在闽江凹陷西部,虎岩北断裂对沉积的控制作用中等(图 6)。



(1)雁荡主断裂;(2)台北主断裂;(3)虎岩北断裂

图 6 东海陆架盆地南部主要断裂剖面(据文献[10]修改)

Fig. 6 Major faults in the southern East China Sea Shelf Basin (modified from reference [10])

4 形成机制

根据地震资料,把东海陆架盆地闽江凹陷划分出 5 个地震反射界面(T_2^0 、 T_4^0 、 T_5^0 、 T_6^0 以及 T_g (图 7))和 5 个地震反射界面分别对应于 5 个

区域不整合面,分别代表龙井、瓯江、雁荡、渔山和基隆运动,而雁荡、渔山和基隆运动对闽江凹陷的演化具有重大影响。在侏罗纪早期,闽江凹陷处于拉张应力场,末期变为挤压应力场;在白垩纪早期,又为拉张应力场,后期再次变为挤压应力场。多期构造运动相互叠加,使得闽江凹陷具有如今

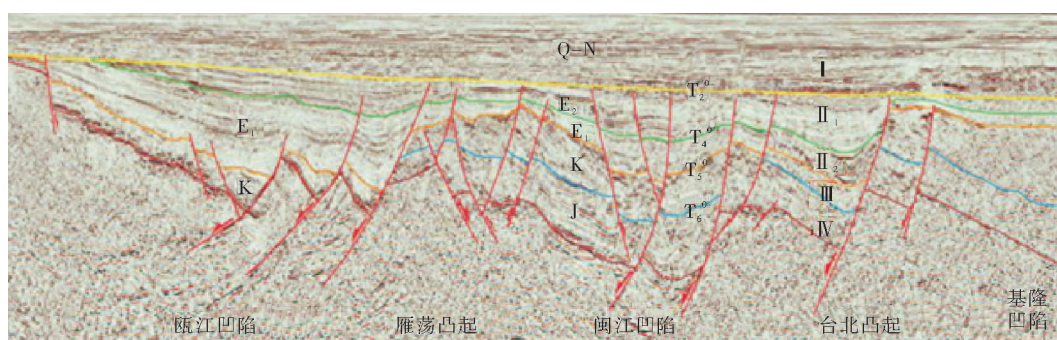


图 7 东海陆架盆地构造层划分 (据文献[9])

Fig. 7 Tectonic layer division of the East China Sea Shelf Basin (from reference [9])

复杂的构造特征^[12,13]。

基隆运动(T_g) 相当于印支运动,是形成东海陆架盆地中生代的主要运动,规模大,属于张性活动。基隆运动为盆地中生代烃源岩的沉积奠定了基础,形成了盆地东部的闽江—厦澎斜坡与基隆—新竹凹陷带。基隆运动末期,使得闽江凹陷发生区域性的抬升。

渔山运动(T_6^0) 相当于燕山运动Ⅱ幕,规模上比基隆运动更强大、更广泛,仍属于张性活动。渔山运动伴随着广泛的岩浆活动,形成了瓯江—丽水断陷,在闽江—厦澎斜坡形成南北武夷构造带。

雁荡运动(T_5^0) 相当于燕山运动Ⅲ幕,具有伸展运动的特征,属于张扭性的运动。雁荡运动仍受控于拉张应力,使盆地形成一系列东断西超的小规模断陷,箕状断陷继续发展。在此期间,古新世的沉积地层逐渐扩大,发育多个沉积中心。

瓯江运动(T_4^0) 相当于喜山运动Ⅰ幕,发生于古新世与始新世之间,规模不大,属于压扭性运动。压扭性的瓯江运动则引起大范围的区域性抬升,使东海陆架盆地部分地区缺失了始新统和渐新统。瓯江运动末期,沉降中心向东迁移。

龙井运动(T_2^0) 相当于喜山运动Ⅲ幕,属于水平挤压运动。龙井运动是闽江凹陷的最后一次运动,使该区域地层抬升、剥蚀、褶皱,使局部构造加强、定型。

5 有利油气远景区带预测

依据东海陆架盆地闽江凹陷中生界目前的勘

探程度和所具备的资料条件,预测有利的油气远景区带是比较困难的^[14]。笔者仅根据烃源岩、储层和盖层的条件,从构造的角度分析,对盆地中生界有利远景区进行预测。油气的生成、运移和保存不仅与沉积岩的生油条件、储集条件,盖层条件密切相关,而且与后期断裂、褶皱等构造改造作用密不可分^[15]。据勘探发现,我国不同类型的构造和非构造油气藏,均严格受盆地构造样式的控制,在盆地中有规律地分布^[16]。构造因素主要控制和影响油气的运移和保存:①断裂控制着盆地次级构造带的格局;②构造样式控制了盆地内圈闭的发育与类型,圈闭的分布具有明显的区带性;③断层既能作为油气垂向运移的主要通道,也能防止油气逃逸^[17]。

经过烃源岩评价,基隆—新竹凹陷带是主要的生油凹陷。白垩纪地层从东往西总体表现为一个箕状断陷,在地震剖面上该断陷呈东断西超的特征。基隆—新竹凹陷带的东侧是钓鱼岛隆起,阻止油气向东运移。基隆—新竹凹陷带的西侧是雁荡凸起,雁荡凸起的西侧是闽江凹陷,总体表现为一个向东倾斜的斜坡,前人称作闽江—厦澎斜坡^[10],油气极有可能沿着斜坡向西运移^[18]。

根据地震剖面解释和平衡剖面可以看出,闽江—厦澎斜坡上发育的侏罗系和白垩系,由东部向西部厚度变薄,并且,斜坡上侏罗系和白垩系是由东向西逐层超覆,表明闽江—厦澎斜坡是在三叠纪—中侏罗世之后形成和发育的。根据地震剖面,还在闽江—厦澎斜坡上发现了一系列的局部构造。局部构造位于斜坡上部,整体呈 NW 向展布,面积大,幅度为 1 000~1 500 m,构造类型主

要有断块、断背斜和与火山侵入有关的披覆背斜等。斜坡下部的台北低凸起发育的局部构造,其构造幅度为3 000 m左右,构造类型主要有断块和披覆背斜。推测低凸起在侏罗纪晚期和早白垩世时期开始发育,局部构造形成时间较早,利于保存中一下侏罗统烃源岩的油气。

据上分析我们认为,基隆—新竹凹陷带是主要的生油凹陷,闽江凹陷其次;闽江—厦澎斜坡是油气运移的指向,斜坡上部 and 下部发育的局部构造是油气富集的有利部位,而斜坡下部的局部构造紧邻基隆—新竹凹陷带,是油气富集的最有利部位。据此推测,闽江—厦澎斜坡是东海陆架盆地南部中生界含油气有利地区(图8)。

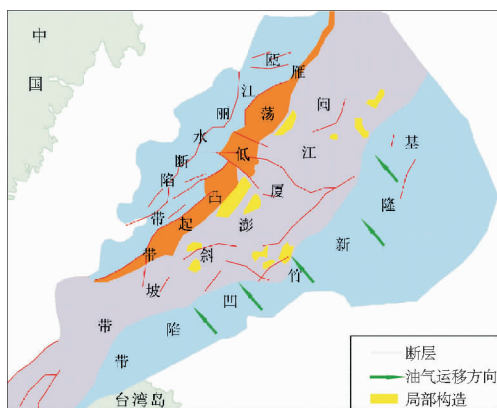


图8 东海陆架盆地南部中生界油气远景预测

Fig. 8 Mesozoic oil and gas prospecting map for the southern East China Sea Shelf Basin

7 结论

(1)东海陆架盆地具有复杂的构造演化历史,经历的全区性构造运动有基隆运动、雁荡运动、瓯江运动、渔山运动和龙井运动。

(2)受盆地动力学机制影响,盆地可划分为伸展型、挤压型和复合型3种构造样式。其中,伸展型构造主要分布在盆地西部的瓯江—丽水断陷带,而挤压型构造主要分布在盆地中部的闽江—厦澎斜坡。

(3)闽江凹陷主要发育雁荡主断裂、台北主断裂和虎岩北断裂等,西部的断裂更为发育,大部分断裂是在伸展应力下发育的,断裂对闽江凹陷的

构造起到主要控制作用。

(4)综合研究认为,基隆—新竹凹陷是主要的生油凹陷,闽江—厦澎斜坡是油气运移的指向,而斜坡上发育的局部构造是油气富集的有利部位。

参考文献:

- [1] 陆克政,朱筱敏,漆家福,等.含油气盆地分析[M].东营:中国石油大学出版社,2006:3-11.
- [2] 田在艺,张庆春.沉积盆地控制油气赋存的因素[J].石油学报,1993,14(4):1-19.
- [3] 须雪豪,陈琳琳,汪企浩,等.东海陆架盆地中生界地质特征与油气资源潜力浅析[J].海洋石油,2004,24(3):1-7.
- [4] 姜亮.东海陆架盆地油气资源勘探现状及含油气远景[J].中国海上油气(地质),2003,17(1):1-5.
- [5] 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(地质),2006,18(6):372-375.
- [6] 龚建明,徐立明,杨艳秋,等.从海陆对比探讨东南南部中生代油气勘探前景[J].世界地质,2014,33(1):171-178.
- [7] 杨长清,杨传胜,李刚,等.东海陆架盆地南部中生代构造演化与原型盆地性质[J].海洋地质与第四纪地质,2012,32(3):105-111.
- [8] 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.
- [9] 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,2010,30(6):49-58.
- [10] 杨艳秋,杨长清,李刚,等.东海陆架盆地南部构造样式及分布特征[J].海洋地质与第四纪地质,2012,32(3):113-118.
- [11] 杨传胜,李刚,杨长清,等.东海陆架盆地及其邻域岩岩时空分布特征[J].海洋地质与第四纪地质,2012,32(3):125-133.
- [12] 郑求根,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.
- [13] 祝建军,王琪,梁建设,等.东海陆架盆地南部新生代地质结构与构造演化特征研究[J].天然气地球科学,2012,23(2):222-229.
- [14] 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.
- [15] 童亨茂,纪洪勇,宋立忠,等.伊通地堑构造样式及其油气分布规律[J].西安石油学院学报,2002,17(5):9-14.
- [16] 田在艺,张庆春.中国含油气沉积盆地[M].北京:石油工业出版社,1996.
- [17] 张永华.焉耆盆地构造样式及其对油气聚集的控制[J].断块油气田,2000,7(5):8-11.
- [18] 金春爽,乔德武,须雪豪,等.东海陆架盆地南部油气资源前景与选区[J].中国地质,2015,42(5):1601-1609.

STRUCTURAL STYLES OF MINJIANG DEPRESSION, EAST CHINA SEA SHELF BASIN AND IT'S BEARING ON PETROLEUM ACCUMULATION

CHEN Zhiqiang^{1,2}, GONG Jianming^{2*}, WANG Jiao², YANG Changqing², LIAO Jing²,
CHEN Zhonghong¹, XU Chengfen², LIU Lei¹, CHENG Qingsong^{2,3}

(1 College of Earth Science and Technology, China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China;

2 Qingdao Institute of Marine Geology, CGS, Qingdao 266071, China; 3 Yangtze University, Wuhan 430100, China)

Abstract: The East China Sea Shelf Basin is a superimposed petroleum bearing basin. Thick Mesozoic deposits are widely distributed in the Minjiang Depression. There are several sets of reservoirs and cap combinations in vertical sequence. The East China Sea Shelf Basin has experienced several episodes of tectonic movements such as the Jilong movement, Yandang movement, Oujiang movement, Yushan movement and Longjing movement. According to the dynamic mechanism, the Minjiang Depression can be divided into three structural types, namely extensional, compressional and complex structural styles. The depression has three major faults i. e. the Yandang fault, Taibei fault and Huyan north fault. Various types of structural reservoirs are strictly controlled by both the structural style and fault distribution pattern in the basin. The Jilong-Xinzhu Depression is the major oil-generation depression, the Minjiang-Xiapeng slope is the path for oil and gas migration, and the local structures on the slope are the favorable traps for oil and gas accumulation.

Key words: East China Sea Shelf Basin; Minjiang Depression; tectonic movement; structural style; fault; oil and gas accumulation

关于作者著作权及稿酬的声明

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在中国知网及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。该社著作权使用费与本刊稿酬一并支付。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意上述声明。

《海洋地质前沿》编辑部

2013 年 1 月 10 日