

台湾海峡盆地九龙江凹陷新生代关键构造变革 及其油气地质意义

钱星,张莉,易海,韦振权,雷振宇,骆帅兵

(国土资源部海底矿产资源重点实验室 广州海洋地质调查局,广东 广州 510075)

摘要:油气成藏与区域构造背景及盆地的形成演化发展密切相关。以二维多道地震资料为基础,并结合区域地质资料综合分析,认为九龙江凹陷经历了4期关键构造变革,形成了太平运动、瓯江运动、浦里运动和海岸山运动4个关键构造变革期不整合界面。在不同时期由于受不同的地球动力学背景和构造应力场控制,九龙江凹陷发育了阶梯状式、垒-堑式和滑动断阶式三种伸展构造样式,以及断层限制型与褶皱挠曲型二种反转构造样式。通过对各时期构造应力背景及油气成藏条件分析,认为太平、瓯江运动二期构造变革奠定了九龙江凹陷圈闭的形成基础,是造成拉张型构造圈闭发育的重要因素,晚期瓯江运动所造成的凹陷挤压抬升促进了反转构造的形成,可以形成良好的油气聚集团闭条件。

关键词:构造运动;构造变形;油气地质;九龙江凹陷;台湾海峡

中图分类号:TE121.1

文献标识码:A

Key Cenozoic tectonic transformation in Jiulongjiang Sag, Taiwan Strait Basin and its petroleum geologic significance

Qian Xing, Zhang Li, Yi Hai, Wei Zhenquan, Lei Zhenyu, Luo Shuaibing

(MLR Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou, Guangdong 510075, China)

Abstract: Hydrocarbon accumulation is closely related with regional tectonic setting and basin formation and evolution. It's pointed out that four stages of critical tectonic transformation occurred in Jiulongjiang Sag through the analysis of two-dimensional multichannel seismic data and regional geological data. As a result, four unconformities formed during the Taiping, Oujiang, Puli and Hai'an Shan movements. Controlled by different geodynamic backgrounds and tectonic stress fields at different stages, three styles of extensional structures, namely the stepwise, horst-graben and sliding fault terrace, and two styles of inverted structures, namely fault-restricted and flexural fold structures, are developed in the sag. Through the analysis of tectonic stress backgrounds and hydrocarbon accumulation conditions at different stages, it is believed that the Taiping and Oujiang movements laid the foundation for the formation of traps in the Jiulongjiang Sag, and was a major factor for the development of extensional structural traps; while the uplifting caused by the compressive force from the late Oujiang movement prompted the formation of inverted structures, providing favorable trap conditions for hydrocarbon accumulation.

Key words: tectonic movement, tectonic deformation, key tectonic transformation, petroleum geology, Jiulongjiang Sag, Taiwan Strait

近年来,构造作用对盆地演化及其成矿作用的重要性受到普遍重视^[1-3],各期构造运动中不同的应力场及作用强度造就了盆地结构特征和构造样式的复杂性,深入研究各期次构造运动在盆地中的具体地质表现,已逐渐成为人们关注的热点^[4-6]。

台湾海峡盆地位于欧亚板块、菲律宾海板块和太平洋板块相互作用的构造前锋部位,是一个在中生界基底断裂之上发育形成的新生代叠合盆地,其形成与演化兼受晚中生代以来太平洋板块向欧亚板块俯冲、吕宋弧与台湾岛碰撞的制约与影响。自中生代以来,历

收稿日期:2018-09-13;修订日期:2018-10-09。

第一作者简介:钱星(1985—),男,工程师,海洋石油地质。E-mail:qian.xing@foxmail.com。

基金项目:中国地质调查局项目(GZH201200511)。

经太平运动、瓯江运动及浦里运动等多期次构造运动,对盆地构造和沉积结构特征产生了明显的影响。

前人对台湾海峡盆地开展过大量研究工作,明确了盆地的基本地质构造特征^[7-9],探讨了其油气成藏和油气远景^[10-12],提出了多种关于盆地形成机制的观点^[9,13-14]。但关于该盆地对各期构造事件响应的研究却相对较少,缺乏针对区域构造运动在各构造单元中具体地质表现与异同的分析,影响了对油气分布规律的认识,一定程度上限制了对该海域油气资源的正确认识与评价。

近年来,广州海洋地质调查局在台湾海峡盆地西部地区新开展了大量的地球物理调查工作,为盆地构造事件响应的研究提供了更为详实的资料。本文以研究区二维多道地震资料为基础,以构造事件为主线,论述台湾海峡地区几次有重大影响的构造运动事件,阐明各期构造运动在台海海峡盆地九龙江凹陷内的具体地质表现,并进一步探讨其油气地质意义,以期在台湾海峡盆地寻找有利目标区,进行精细勘探提供地质依据。

1 地质概况

九龙江凹陷位于台湾海峡盆地的西南部(图1),

凹陷结构与其东北部的晋江凹陷、瓯江凹陷具有相似性,整体表现为一东断西超的箕状断陷,可划分为西部缓坡、中央洼陷和东部陡坡3个构造带(图2)。九龙江凹陷构造演化可以划分为断陷(古新世)、坳陷(始新世)、挤压抬升(渐新世—中新世)和区域沉降(上新世—第四纪)3个阶段。

地震及钻井资料揭示表明,九龙江凹陷内主要发育有古新统、始新统、中新统和上新统等。古新世为九龙江凹陷位的初始发育期,地层整体西薄东厚,呈NE向条带状展布,沉降中心位于东部边界大断层附近;始新世为凹陷发育的鼎盛期,平面上呈东厚西薄的楔形特征,沉降中心紧邻东部控凹边界断裂;中新世以后,凹陷的主控断裂基本停止活动而开始进入区域沉降阶段,地层分布比较稳定,沉积了一套由西往东逐渐变增厚的席状披覆沉积地层。

目前,九龙江凹陷内共有7口钻井,其中CDW-1A井靠近凹陷的沉积中心,该井从1 316 m至井底共钻遇始新统2 775.5 m。岩性以湖相碎屑岩为主,地层多为砂泥岩互层沉积,TOC含量平均可达2%以上,有机质类型以Ⅱ型为主,有少量Ⅲ型和Ⅰ型^[10]。研究表明,九龙江凹陷经历了始新世中晚期和中新世中晚期二期火山活动,始新世中晚期火山活动产生的高温有

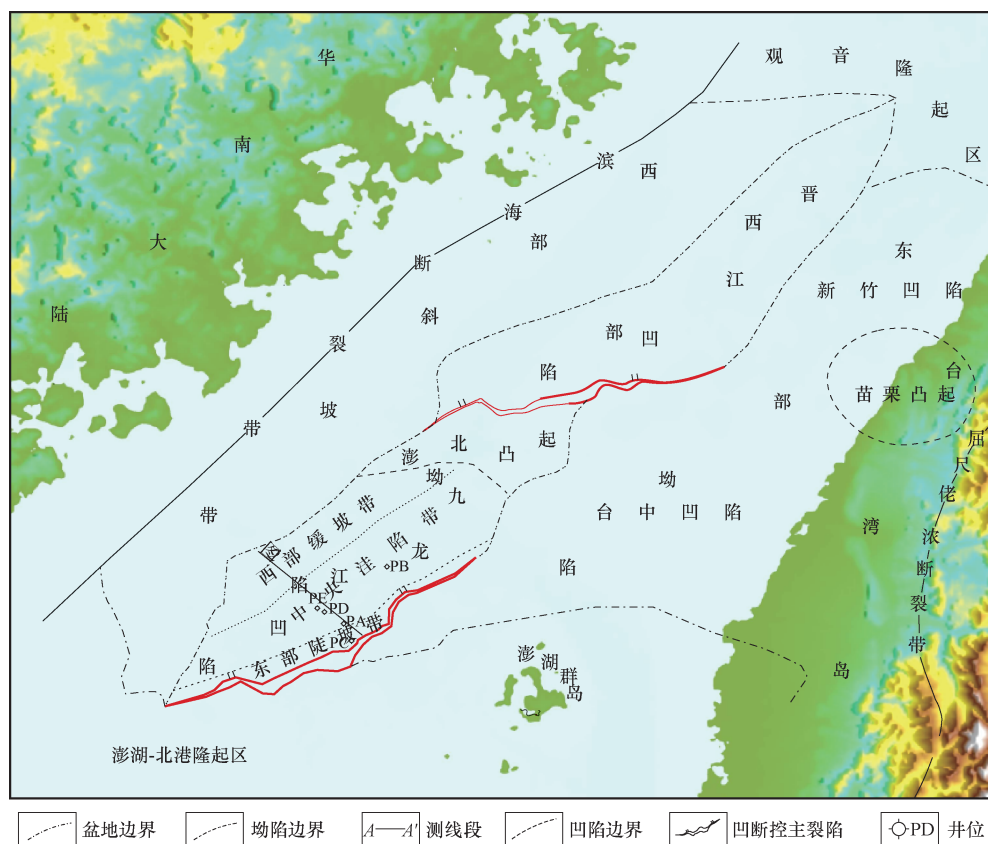


图1 台湾海峡盆地构造单元示意图

Fig. 1 Schematic diagram showing the tectonic units of the Taiwan Strait Basin

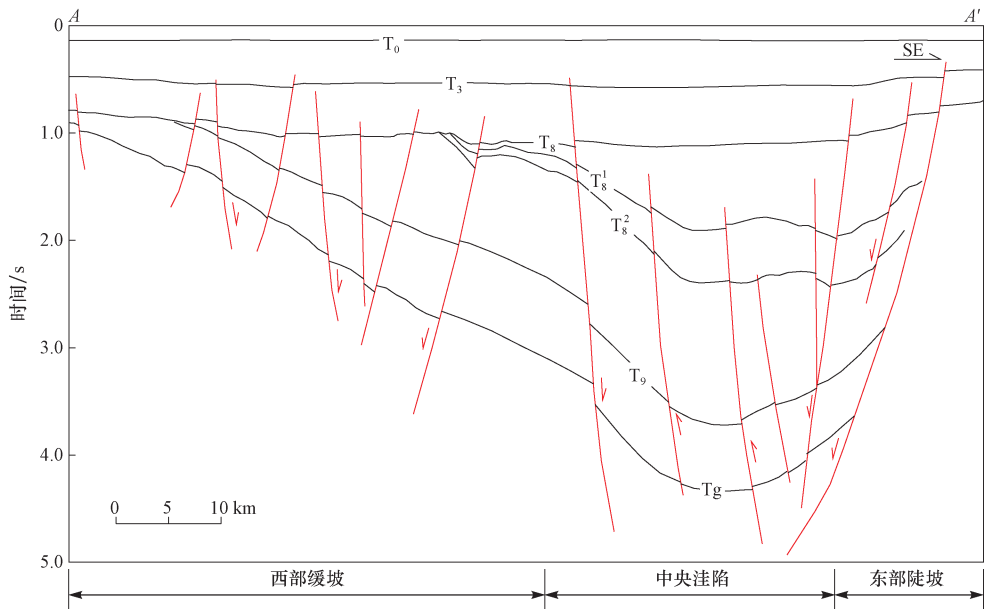


图 2 过九龙江凹陷 Ln-020 测线地震解释剖面(剖面位置见图 1)

Fig. 2 Profile showing the seismic interpretation of the Ln-020 across the Jiulongjiang Sag

利于烃源岩在短期内经历高温的催化改造而生成油气,对该区烃源岩的成熟有一定的促进作用^[15]。

古新世—始新世时期,九龙江与晋江凹陷交汇处发育有三角洲沉积体系,发育的三角洲砂体是重要的储集层。凹陷内的 CDW-1A 井揭示发育有 3 套砂岩,物性较差;但在 CDA-3 井揭示的始新统 2 套砂岩孔隙度分别为 14% 和 18%~20%,渗透率为 $0.15 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,展示出九龙江凹陷的古新统与始新统砂岩具有一定的储集能力^[16]。

2 关键构造变革界面

关键构造变革是指那些大地构造环境发生根本性转折,导致盆地性质和盆地类型出现重大转换的构造变动,如隆升剥蚀、冲断-褶皱和海-陆转换等^[17]。九龙江凹陷作为台湾海峡盆地的一个组成部分,其构造变动是对台湾海峡盆地构造演化的局部响应。研究表明,台湾海峡盆地九龙江凹陷主要经历了 4 次构造变动,发育了多个不整合界面(图 3)。

2.1 太平运动不整合界面

中生代末期,中国东南陆缘由主动型陆缘转化为被动型陆缘。在太平洋板块向欧亚板块俯冲引起地幔上拱的作用影响下,中国东南陆缘地壳上部发生张性拉裂。张裂断层的发育是晚中生代时期太平运动在现今台湾海峡盆地地区最重要的构造变革形迹。地震资

地质时代	时间(Ma)	地层	反射界面	接触关系	构造运动	盆地演化
第四纪	1.8	东海群				
上新世	5.5	三潭组	T ₃	区域不整合	海岸山运动	区域沉降
中新世	23.3	三峡组				
		瑞芳组				
		野柳组				
渐新世	33.9			区域不整合	浦里运动	挤压抬升
始新世	55.8	平湖组	T ₈			
			T ₈ ¹			
			T ₈ ²			
古新世	65	甌江组	T ₉			
		明月峰组				
白垩纪		灵峰组	T _g	区域不整合	太平运动	断陷

图 3 台湾海峡盆地九龙江凹陷地层划分与盆地演化

Fig. 3 Stratigraphic division of Jiulongjiang Sag and evolution of Taiwan Strait Basin

料揭示表明,台湾海峡盆地正是在这一系列张性断层面上发育演化而来(图 1)。这些断层大都呈 NE 或 NNE 向展布,在平面上构成雁行式排列组合特征,刚开始断层规模和断距虽都不大,但由这些边界正断层控制的、东断西超的半地堑构造,形成了台湾海峡盆地的雏形。

在地震反射剖面上,该运动与地震剖面上 T_g 反射界面相对应(图 4),表现为双相位强反射波特征,为基底不整合界面,于全盆地范围内发育,形成于盆地发育

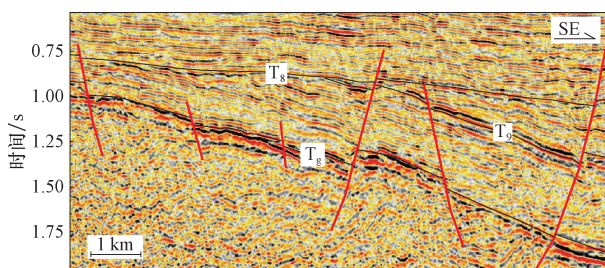


图4 台湾海峡盆地九龙江凹陷太平运动和瓯江运动不整合界面特征

Fig. 4 Characteristics of the unconformities produced by the Taiping and Oujiang movements in Jiulongjiang Sag, Taiwan Strait Basin

之前,是新生代沉积上覆于前新生界之上的角度不整合。据澎湖北港隆起地区 WH-1 钻井揭示,该界面下钻遇 1 578 m 中生代地层^[18]。

2.2 瓯江运动不整合界面

随着西太平洋板块继续向亚欧板块方向俯冲,产生的弧后拉张效应在台湾海峡地区产生进一步的拉张作用。古新世时期,九龙江凹陷的沉积范围进一步扩大,沉积中心由西往东迁移,东部地区进一步发生裂陷作用,西部地区则停止继承性发育而开始进入断拗转换期。

瓯江运动对应于地震剖面中 T_9 反射界面(图4),界面呈高振幅强连续性的同相轴特征,该界面主要发育在九龙江凹陷内部,于凸起上缺失。在凹陷内部,该界面上下反射层比较平行整一,在凹陷的西部有削截造成的微角度不整合,在凹陷外该界面则与 T_g 反射界面相重合,因此造成该界面在台湾海峡盆地内各凹陷之间无法连续追踪。东海陆架盆地西部的瓯江凹陷 LS36-1-1 并于 1 558 m 揭示了该界面的存在,界面上下的测井曲线形态出现突变,界面之上测井曲线呈多段箱型叠置,代表厚层的下切水道或低位域沉积砂体^[19]。

2.3 埔里运动不整合界面

晚始新世时期,太平洋板块运动方向由 NNW 向转变为 NWW 向,由对欧亚板块东南缘的斜向俯冲转为垂向俯冲^[20]。俯冲方向的转变使得华南陆缘遭到强烈的挤压,台海海峡西部拗陷带被抬升而遭受剥蚀,致使上下地层间形成了第二个区域性角度不整合面。

埔里运动不整合界面对应于地震剖面中 T_8 反射面(图5),该界面发育于九龙江凹陷内部,界面呈双相

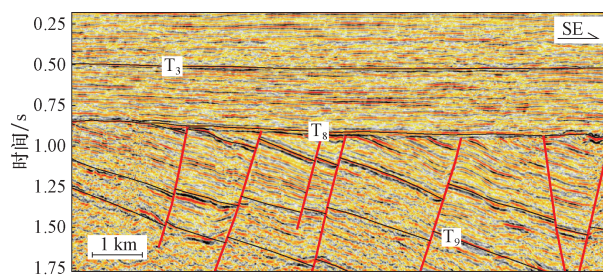


图5 台湾海峡盆地九龙江凹陷埔里运动和海岸山运动不整合界面特征

Fig. 5 Characteristics of the unconformities produced by the Puli and Hai'an movements in Jiulongjiang Sag, Taiwan Strait Basin

位强反射特征,较连续、易追踪,于凹陷斜坡及凸起上与 T_g 重合,削蚀和上超特征明显。界面之上为一套产状水平,连续性好的反射密集层,反映出凹陷被挤压抬升后转为拗陷沉积的结构特征;界面之下地层整体为一套倾斜反射、楔状几何外形的地层,反映为箕状断陷沉积的结构特征。

九龙江凹陷内的 CDW-1 与 CDW-2 等钻井都揭示了该构造运动的存在,主要表现为界面上部中新统与下伏始新统不整合接触。据钻井确定, T_8 界面下之为一套以湖相为主,期间伴随火山活动,后期又发生海侵的沉积地层。在地震剖面上表现为较低频、中-强振幅、楔形外型特征。 T_8 界面之上地层平行沉积,地震相为中-高频、连续、中-强振幅特征,反映了构造运动后期相对海平面开始上升,凹陷内湖相沉积体系不断湖扩的记录。

区域地震剖面对比分析表明,该界面除在九龙江凹陷发育之外,在盆地北部的晋江凹陷和东海陆架盆地西部的瓯江凹陷等地区都表现出相同的特征。显然,该不整合面代表了一次强烈的构造变革活动,刘金水等^[21]认为该界面在发育时间上与东海陆架盆地玉泉运动发生的时间一致。

2.4 海岸山运动不整合界面

中-晚中新世时期,在印度板块汇聚速率减弱、太平洋板块汇聚速率加大、新生的菲律宾板块向西活动加剧并不断向西俯冲的作用影响下,吕宋岛弧与台湾岛在晚中新世发生碰撞,致使台湾海峡盆地地区表现为普遍的抬升。

海岸山运动对应于地震剖面反射层 T_3 界面,主要表现为区域性不整合,界面之上的一组近水平、连续性好、频率低、中强振幅的反射波组,与下伏反射波呈低角度接触或近于平行接触。

3 构造变形样式

综上所述,九龙江凹陷在发育过程中各时期受到了不同构造应力场的作用和叠加,经历了裂陷、断拗-挤压反转、区域沉降等多期构造演化阶段,发育了伸展型和反转型二种构造样式类型。

3.1 伸展构造样式

伸展构造样式是指在区域或局部引张作用下形成的使地壳或岩石圈伸展减薄的构造变形组合,它们与正断层活动有关。

断裂是九龙江凹陷内古近系主要的构造变形,正断层是主要的断裂构造。九龙江凹陷东南部边界是一条区域规模的基底正断层,呈 NE 走向、NW 向倾斜,延伸长度近 210 km,新生界最大落差达 8 km。该断层既是九龙江凹陷的东部边界断层,又是东南部澎湖-北港隆起的边界断层。凹陷西北部的边界由多条 NE 走向、雁列式分布的基底正断层(组)构成。断层上升盘在沉积 T_9-T_8 地层之后变为隆起区,缺失 T_6-T_9 地层沉积。断层下切入基底,上切穿至 T_3 ;此外,凹陷内部还发育大量二级 NE 向基底正断层(组),呈雁列式展布,构成凹陷内两条基底正断层带。在上述断裂活动的控制下,九龙江凹陷总体上表现为由一系列正断层控制的复合式半地堑结构。根据其在地层的组合关系,将伸展构造样式分为阶梯状式、垒-堑式及同向滑动断阶式 3 种类型。

阶梯状式断块构造是九龙江凹陷西部斜坡地区最普遍的构造样式。在地震剖面中以平行排列的正断层组合为特征。基岩上覆岩层呈水平状,表明断层在活动过程中未发生过显著的旋转(图 6a)。

垒-堑式构造是地层受到双向引张应力作用而发生均匀剪切、差异沉降形成的构造。该构造样式主要分布于九龙江凹陷西部斜坡地区,由两条相向倾斜断

层及其之间所夹持地层组成。如图 6b 所示,当二条倾向相反的断层为同一个上升盘时构成一个地垒,当二条倾向相反的断层为同一个下降盘时则构成一个断堑。

滑动断阶构造样式是铲式正断层活动而形成的在断层上盘的多级台阶状断块,其特点是由发育一条基底断层为主拆离面,其上若干次级断层及断块,以上宽下窄的帚状归并于主断层的深部剪切面上^[22]。次级断层与地层的产状关系揭示表明,九龙江凹陷主要发育同向滑动断阶构造样式,主要分布于东部断裂带的低台阶部位。如图 6c 所示,NEE 走向的边界正断层断面上陡下缓,其上盘的二条次级正断层都向下收敛于主断层之上,夹于断层间的地层倾向与区域地层一致,都呈北向倾斜,构成同向断阶构造。该构造样式受基底主断层长期演化影响,为伸展作用中、晚期作用的产物。

3.2 反转构造样式

反转构造是指同一地质体在不同地质历史时期,由于应力场的变化而造成挤压构造与伸展构造垂向上叠加的一种复合构造形式^[23]。九龙江凹陷经历了复杂的构造演化过程,在区域应力场由伸展到挤压的转换过程中,使得凹陷在不同部位、不同层系内发育显著的反转构造。根据反转构造所表现的外部形态、内部地层发育特征及其与断裂关系,九龙江凹陷反转构造样式可分为断层限制型和褶皱挠曲型两种类型。

断层限制型构造样式主要是拉张期断层受后期挤压,地层受到先存断层限制,上、下盘地层发生收缩位移而沿着断层面一侧或两侧形成的褶皱。该类反转构造样式主要发育于靠近九龙江凹陷东缘断阶地区的始新世地层中。如图 7a 所示,凹陷早期发育了多条正断层,沉积地层主要为 T_9-T_8 ,在剖面的 NE 侧由多条产状基本一致的正断层组成的阶梯状断层。经过始新世晚期-渐新世时期构造反转运动后,地层沿着断层面

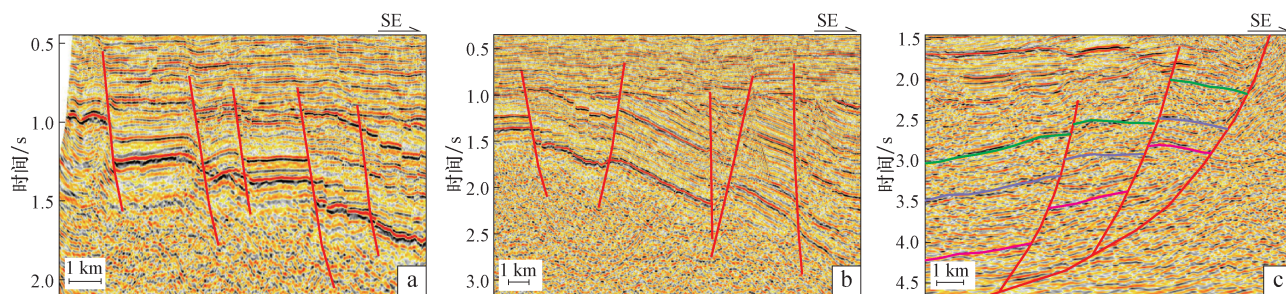


图6 台湾海峡盆地九龙江凹陷伸展构造样式剖面

Fig. 6 Seismic profile showing the extensional structural styles in Jiulongjiang Sag, Taiwan Strait Basin

a. 阶梯状式伸展构造样式; b. 垒-堑式伸展构造样式; c. 滑动断阶式伸展构造样式

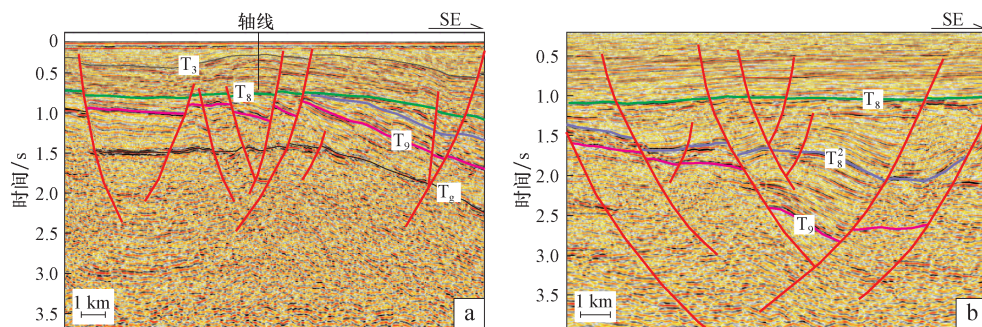


图7 台湾海峡盆地九龙江凹陷反转构造样式剖面

Fig. 7 Seismic profile showing the structural styles in Jiulongjiang Sag, Taiwan Strait Basin

a. 断层限制型反转构造样式 F; b. 褶皱挠曲型反转构造样式

发生小规模错动,断层虽未发生从正到逆的改变,但已使其断层面上盘地层形成了一个背斜构造,并使浅部地层抬升并到遭受一定程度剥蚀。

褶皱挠曲型构造样式的收缩位移主要来自于挤压地层产生的褶皱弯曲。这种构造样式主要发育于凹陷西部斜坡中新世地层。如图7b所示,在凹陷西部斜坡地区,中新世地层整体呈现出中间厚、两翼薄的形态,背斜顶部地层遭受一定程度剥蚀,但整体仍表现出明显的背斜形态,其典型的特征是早期的拉张断层未发生显著逆向活动、裂陷期层序顶部呈明显上凸的形态。

九龙江凹陷反转构造的出现,必然是区域应力场调整的反映,与周边板块相对运动有密切关系。区域地质研究表明^[24-25],台湾海峡盆地九龙江凹陷与东海陆架盆地的瓯江、长江凹陷的形成演化具有相似的古地理背景和构造演化史,兼受太平洋板块与欧亚板块、印度板块与欧亚板块之间俯冲速率和方向的变化响应。九龙江凹陷的反转构造与东海陆架盆地瓯江凹陷、长江凹陷反转构造的发育特征规律^[26-27]具有一定的可比性和规律性。

4 油气地质意义

综上所述,九龙江凹陷经历了四期关键构造变革,并最终定格于海岸山运动期。在形成演化的各阶段,发育了多期不整合界面、断裂及构造样式,这些构造变革不仅控制了盆地的形成和演化,还直接影响着九龙江凹陷的油气成藏地质条件。

4.1 对圈闭的控制作用

圈闭的形成受控于构造和沉积的联合作用,它的发育演化与构造演化紧密相连^[28]。九龙江凹陷在多期构造变革作用下,其构造应力场经历了早-中期伸展拉张和中期挤压抬升及晚期区域沉降的作用过程,

发育了多期次、不同性质的圈闭类型。

早古新世时期,受太平构造运动影响,九龙江凹陷开始出现正断裂,断裂发育较少,圈闭也较少;晚古新世时期,拉张作用明显加强,断陷作用继续,同生断裂活动增强,同时对前期构造进行了叠加改造,发育的断层圈闭最多;晚始新时期,受浦里运动影响,凹陷西部地区被抬升挤压,地层遭受一定程度剥蚀,对原有圈闭有一程度的改造。九龙江凹陷断陷期圈闭发育具有继承性特点,多发育于多期次活动的断裂两侧。圈闭其雏形多形成于明月峰组沉积时期,加强于瓯江组沉积时期,定型于平湖组沉积末期。

九龙江凹陷除了发育有与伸展运动(太平、瓯江运动)有关的断鼻、断块、形成与断裂有关的单一的构造圈闭以外,还发育了与中期挤压抬升(浦里运动)有关的反转圈闭。浦里运动造成的九龙江凹陷构造反转一方面弥补了早期因拉张较弱而缺少完整背斜圈闭的不足,发育的背斜圈闭构造为油气聚集提供了有利场所。另一方面,在凹陷西部斜坡地区也由于反转过于强烈,反转作用使早期拉张圈闭顶部地层受到剥蚀,一定程度上可能使油气的盖层、储层及烃源岩受到破坏,这将导致油气的泄漏和逸散,不利于油气成藏。

4.2 对油气成藏的控制作用

圈闭的形成时间与油气运移聚集是否相匹配是决定盆地内构造能否形成油气藏的关键因素。一般认为,圈闭的形成时间必须在生油岩产生油气开始运移之前才有机会聚集油气。研究表明,台湾海峡盆地九龙江凹陷的烃源岩为古新统(灵峰组)和始新统(瓯江组),为潮坪-潟湖相泥岩,是主要烃源岩源。盆地模拟表明,灵峰组烃源岩在瓯江组下段沉积末期刚刚进入生油门限,于平湖组下段沉积末期达到生油高峰,瓯江组中段烃源岩则刚进入生油门限,开始生成大量的油气,于渐新世-中新世期间处于生油高峰^[12]。

九龙江凹陷在所经历的数次构造变革中,主要形成了以拉张断层为主的古-始新世构造圈闭,渐新世末期的构造变革(浦里运动)使凹陷西部斜坡及靠近东部陡坡地区发生大规模的隆起和剥蚀,而最终发育了一些反转构造。这些构造的发育基本定格于平湖组沉积时期,与晚期排烃时间相匹配,可以捕获晚期排烃生成的油气。值得一提的是,反转构造底部的明月峰组圈闭形成时间较早,有利于捕获早、晚期排烃生成的油气,有利于油气的聚集。

九龙江凹陷经历了多期构造变革在对先存油气圈闭改造作用的同时,凹陷内油气的也必会在一定程度上被重新配置。如图8所示,反转构造的顶部圈闭不仅可以捕获因早期圈闭遭破坏而溢出的油气,且又可以捕获后期排烃而生成的新油气。而其底部圈闭对油气的保存情况则视其被破坏程度而定。当其被破坏严重时,油气有可能全部溢出。该情况下只有待断层停止活动形成新的封闭条件时,才能开始捕获后期排烃生成的新油气。

此外,油气运移也是影响油气成藏的重要因素。研究表明,发育在控凹断层附近的构造,油气聚集可以通过“中转站”模式进行运移。油气从烃源岩中排出,在控凹断层下降盘砂体中聚集,在构造幕式活动作用下,垂向运移至构造中成藏。而在远离边界断层的地方,油气可以运移主要通过砂体与断层相互配置形成的通道进行运移。据福建沿海地区油气地质调查,在川石岛、虎稠岛发现了多处沿北西向 300° 裂缝分布的未固结沥青油苗。测试分析表明,油苗周边泥岩演化程度相对较高,并不具备生成油气藏的条件,其来源存

在多源性,不排除是来自台湾海峡盆地九龙江凹陷地区的油气二次运移至该地区的结果^[15]。

5 结论

九龙江凹陷经历了四期关键构造变革,形成了太平运动、瓯江运动、浦里运动和海岸山运动4个关键构造变革期不整合界面。在凹陷形成演化的各时期在不同地球动力学背景和构造应力场控制作用,九龙江凹陷发育了阶梯状式、垒-堑式滑动断阶式3种伸展构造样式和断层限制型及褶皱挠曲型2种反转构造样式。通过对各时期构造应力背景和构造样式的分析,认为太平及瓯江二期构造变革奠定了九龙江凹陷圈闭的形成基础,是造成拉张型构造圈闭发育的重要因素,晚期瓯江运动所造成的凹陷挤压抬升促使了反转构造的形成,可以形成良好的油气聚集圈闭条件。九龙江凹陷内发育的伸展与反转构造圈闭基本定格于平湖组沉积时期,与晚期排烃时间相匹配,可以捕获晚期排烃生成的油气,有利于油气的聚集。

参 考 文 献

- [1] 李思田. 大型油气系统形成的盆地动力学背景[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2004, 29(5): 505-512.
Li Sitian. Basin geodynamics background of formation of huge petroleum systems[J]. Earth Science: Journal of China University of Geoscience, 2004, 29(5): 505-512.
- [2] 金之钧. 中国典型叠合盆地及其油气成藏研究新进展(之一): 叠合盆地划分与研究方法[J]. 石油与天然气地质, 2006, 26(5): 553-562.
Jin Zhijun. New advancement in research of China's typical superimposed basins and reservoir ing (Part I): classification and research methods of superimposed basins[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 26(5): 553-562.
- [3] 朱伟林, 吴景富, 张功成, 等. 中国近海新生代盆地构造差异性演化及油气勘探方向[J]. 地学前缘, 2015, 22(1): 88-101.
Zhu Weilin, Wu Jingfu, Zhang Gongcheng, et al. Discrepancy tectonic evolution and petroleum exploration in China Offshore Cenozoic basins[J]. Earth Science Frontier, 2015, 22(1): 88-101.
- [4] 漆家福, 陆克政, 张一伟, 等. 渤海湾盆地新生代构造与油气的关系[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 1995(S1): 7-13.
Qi Jiafu, Lu Kezheng, Zhang Yiwei, et al. Relationship between tectonics and hydrocarbon in Bohai bay basin province[J]. Journal of the University of Petroleum, China, 1995(S1): 7-13.
- [5] 汤良杰, 黄太柱, 金文正, 等. 叠合盆地差异构造变形与油气聚集[J]. 地学前缘, 2009, 16(4): 13-22.
Tang Liangjie, Huang Taizhu, Jin Wenzheng, et al. Differential deformation and hydrocarbon accumulation in the superimposed basins[J]. Earth Science Frontier, 2009, 16(4): 13-22.
- [6] 解习农, 张成, 任建业, 等. 南海南北大陆边缘盆地构造演化差异性对油气成藏条件控制[J]. 地球物理学报, 2012, 54(12): 3280-

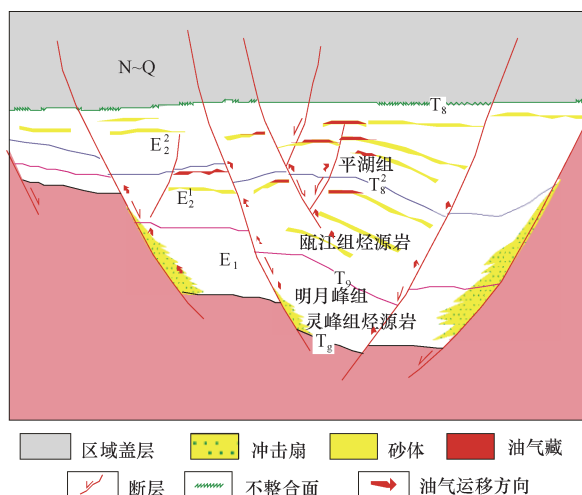


图8 台湾海峡盆地九龙江凹陷反转构造油气成藏模式

Fig. 8 Hydrocarbon accumulation model of inverted structures in Jiulongjiang Sag, Taiwan Strait Basin

3291.
Xie Xinong, Zhang Cheng, Ren Jianye, et al. Effects of distinct tectonic evolutions on hydrocarbon accumulation in northern and southern continental marginal basins of South China Sea [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2012, 54(12): 3280–3291.
- [7] Sun S C. The Cenozoic tectonic evolution of offshore Taiwan [J]. Energy, 1985, 10(3): 421–432.
- [8] 高天钧, 黄辉. 台湾海峡地质构造特征及演化 [J]. 地质学报, 1994, 68(3): 197–207.
Gao Tianjun, Huang Hui. Tectonic characteristics and evolution of the Taiwan Strait [J]. Acta Geologica Sinica, 1994, 68(3): 197–207.
- [9] Lin A T, Watts A B, Hesselbo S P. Cenozoic stratigraphy and subsidence history of the South China Sea margin in the Taiwan region [J]. Basin Research, 2003, 15(4): 453–478.
- [10] 萧宝宗, 胡锦城, 林国安, 等. 澎湖盆地油气潜能评估 [J]. 台湾石油地质, 1991, 26: 215–229.
Xiao Baozhong, Hu Jingcheng, Lin Guoan, et al. The hydrocarbon potential evaluation of the Penghu Basin [J]. Taiwan Petroleum Geology, 1991, 26: 215–229.
- [11] 王国纯. 台湾海峡地质构造特征及油气探讨 [J]. 石油学报, 1993, 14(3): 10–19.
Wang Guochun. Geological structural characteristics and oil prospects of taiwan straits [J]. Acta Petroli Sinica, 1993, 14(3): 10–19.
- [12] 刘振湖, 王英民, 邓安雄, 等. 台湾海峡盆地油气地质条件与含油气系统研究 [J]. 石油实验地质, 2006, 28(6): 523–528.
Liu Zhenhu, Wang Yingming, Deng Anxiong, et al. Petroleum geological characteristics and petroleum system of taiwan strait basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28(6): 523–528.
- [13] Lin A T, Watts A B. Origin of the West Taiwan basin by orogenic loading and flexure of a rifted continental margin [J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978–2012), 2002, 107(B9): 2–19.
- [14] Yang F, Sun Z, Zhou Z, et al. The evolution of the South China Sea basin in the Mesozoic-Cenozoic and its significance for oil and gas exploration: a review and overview [J]. AAPG Memoir, 2012, 100(100): 397–418.
- [15] 钱星, 张莉, 徐立明, 等. 台湾海峡盆地九龙江凹陷火成岩发育特征及其油气地质意义 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2015, 35(5): 111–116.
Qian Xing, Zhang Li, Xu Liming, et al. Igneous rocks in jiulongjiang sag of taiwan strait basin and implications for petroleum geology [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2015, 35(5): 111–116.
- [16] 傅志飞, 姜雄鹰, 王海平, 等. 台西盆地西部坳陷地质特征及油气前景 [J]. 海洋地质前沿, 2012, 28(7): 30–35.
Fu Zhifei, Jiang Xiongying, Wang Haiping, et al. Geological features and hydrocarbon prospect of the western depression, taixi basin [J]. Marine Geology Frontiers, 2012, 28(7): 30–35.
- [17] 汤良杰, 崔敏. 中上扬子区关键构造变革期、构造变形样式与油气保存 [J]. 石油实验地质, 2011, 33(1): 12–16.
Tang Liangjie, Cui Min. Key tectonic changes, deformation styles and hydrocarbon preservations in Middle-Upper Yangtze region [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(1): 12–16.
- [18] 周蒂. 台西南盆地和北港隆起的中生界及其沉积环境 [J]. 热带海洋学报, 2002, 21(2): 50–57.
Zhou Di. Mesozoic strata and sedimentary environment in sw taiwan basin of the South China Sea and Peikang high of western Taiwan [J]. Tropic Oceanology, 2002, 21(2): 50–57.
- [19] 赵英杰, 郭艳东. 东海陆架盆地瓊江凹陷古近系层序地层学与沉积特征研究 [J]. 海洋石油, 2010, 30(4): 15–19.
Zhao Yingjie, Guo Yandong. Research on sequence stratigraphy and depositional features of Paleogene System of Oujiang Sag in the East China Sea [J]. Offshore Oil, 2010, 30(4): 15–19.
- [20] 陶瑞明. 从西太平洋板块构造探讨东海陆架盆地形成机制和类型划分 [J]. 中国海上油气, 1994(1): 14–20.
Tao Ruiming. Discussion on basin formation mechanism and basin types in East China sea continental shelf basin based on west pacific plate tectonics [J]. China offshore oil and gas, 1994, (1): 12–20.
- [21] 刘金水, 廖宗廷, 贾健谊, 等. 东海陆架盆地地质结构及构造演化 [J]. 上海地质, 2003, 87(3): 1–6.
Liu Jinshui, Liao Zongting, Jia Jianyi, et al. The geology structure and tectonic evolution of the East China sea shelf basin [J]. Shanghai Geology, 2003, 87(3): 1–6.
- [22] 陆克政, 漆家福. 渤海湾新生代含油气盆地构造模式 [M]. 北京: 北京地质出版社, 1997, 193–195.
Lu Kezhen, Qi Jiafu. The construction mode of the Cenozoic oil & gas bearing basins in Bohai bay [M]. Beijing: Beijing Geological Publishing House, 1997, 193–195.
- [23] 姚超, 角贵浩, 王同和, 等. 中国含油气构造样式 [M]. 北京地质出版社, 2004, 1–517.
Yao Chao, Jiao Guihao, Wang Tonghe, et al. The structural styles of petroliferous basins in China [M]. Beijing: Beijing Geological Publishing House, 2004, 1–517.
- [24] 杨启伦. 从东海油气勘探谈台湾海峡油气地质 [J]. 上海地质, 1992, 42(1): 1–13.
Yang Q L. Discussion of oil & gas geology of the Taiwan strait with the oil & gas exploration of the east China sea [J]. Shanghai Geology, 1992, 42(1): 1–13.
- [25] 郑培根, 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.
Zheng Qiuqgen, Zhou Zhuoyi, Cai Ligu, et al. Meso-Cenozoic tectonic setting and evolution of East China Sea shelf basin [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(2): 197–201.
- [26] 徐发. 东海陆架盆地新生界结构特征及迁移规律 [J]. 石油天然气学报, 2012, 34(6): 1–7.
Xu Fa. Characteristics of caenozoic structure and tectonic migration of the east china sea shelf basin [J]. Journal of Oil & Gas Technology, 2012, 34(6): 1–7.
- [27] 索艳慧, 李三忠, 戴黎明, 等. 东亚及其大陆边缘新生代构造迁移与盆地演化 [J]. 岩石学报, 2012, 28(8): 2602–2618.
Suo Huiyan, Li Sanzhong, Dai Liming, et al. Cenozoic tectonic migration and basin evolution in East Asia and its continental margins [J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(8): 2602–2618.
- [28] 李慧勇, 茆利, 王粤川, 等. 渤海沙垒田凸起北部中央走滑带断裂对圈闭的控制 [J]. 天然气勘探与开发, 2014, 37(2): 1–4.
Li Huiyong, Mao Li, Wang Yuechuan, et al. Tap under fractures in central strike-slip zone of Northern Shaleitian bulge [J]. Natural Gas Exploration and Development, 2014, 37(2): 1–4.