

台西盆地西部坳陷地质特征及油气前景

傅志飞,姜雄鹰,王海平,王光涛

(中海油田服务股份有限公司物探事业部数据处解释中心,天津塘沽 300451)

摘 要:从邻区盆地演化特征和区域地质条件入手,以盆地西部坳陷地质、地球物理特征和相邻地区对比分析为主要方法,对台西盆地西部坳陷构造演化和地层展布特征进行了探讨。研究表明:西部坳陷构造演化经历了 5 个阶段;中、新生界共发育 3 套烃源岩,存在 4 套储盖组合;构造演化主要控制着烃源岩的发育和储盖组合的形成;西部坳陷由 2 个东断西超的箕状断陷组成,西部缓坡带是不同类型圈闭的集中发育区,为油气运移、聚集及成藏的有利场所,勘探潜力较大。

关键词:台西盆地;西部坳陷;构造演化;油气勘探;储盖组合

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

台西盆地位于福建省福州市至厦门市连线与台湾中央山脉之间,包括台湾海峡和台湾岛西部地区,长 460~600 km,宽 230~260 km,面积约 $12 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。台西盆地是中国东南海域新生代陆缘扩张而形成的,区域构造上位于南海北部珠江口盆地与东海陆架盆地之间,是 2 个盆地构造和沉积演化的转折和过渡带。

根据区域大地构造背景和新生代盆地构造演化特征,并参考前人的划分结果^[1]。重新划分了台西盆地的构造单元,共划分为 3 个二级构造单元,分别为西部坳陷、中央隆起和东部坳陷,其中西部坳陷包括乌丘屿和厦澎凹陷;中央隆起包括观音—澎北凸起和澎湖北港凸起;东部坳陷包括新竹凹陷和台西南凹陷(图 1)。

西部坳陷是本次研究的重点,其中,乌丘屿凹陷长 190 km,宽 43 km,面积约 $7\,600 \text{ km}^2$;厦澎凹陷长 100 km,宽 57 km,面积约 $9\,600 \text{ km}^2$,二者都呈 NE 向展布的椭圆型凹陷。

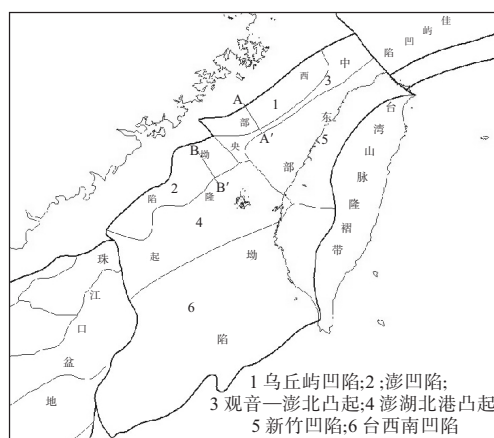


图 1 台西盆地构造单元划分

Fig. 1 Tectonic map of the Taixi Basin

据最新盆模资源量结果,乌丘屿凹陷石油资源量为 $2.14 \times 10^8 \text{ m}^3$,天然气资源量为 $212.4 \times 10^8 \text{ m}^3$;厦澎凹陷石油资源量为 $0.36 \times 10^8 \text{ m}^3$,天然气资源量为 $24 \times 10^8 \text{ m}^3$,凹陷具有较好的油气资源基础。本文应用石油地质综合分析方法,通过开展区域地震资料解释和地质综合研究,分析了西部坳陷新生代构造与沉积演化特征及其油气勘探潜力。

收稿日期:2012-04-02

基金项目:全球油气资源战略选区调查与评价国家专项“东海陆架盆地南部新生界油气资源潜力评价”(2009GYXQ0503)

作者简介:傅志飞(1968—),女,高级工程师,主要从事地震资料解释和地质综合研究工作。E-mail: fuzf@cosl.com.cn

1 构造演化与地层分布特征

台西盆地是在欧亚板块与太平洋板块相互碰撞而产生的比较复杂构造背景下形成的,是一个中生代与新生代的叠合盆地,中生代盆地后期经历了强烈的变形、改造和剥蚀过程。初步研究后认为,盆地中生代构造演化分为裂陷和裂后沉降 2 个阶段,具有下断上坳的双层结构,中间发育一区域破裂不整合面^[8]。早—中侏罗世为断陷期,沉降中心位于盆地的中部和东部,晚侏罗—早白垩世为坳陷期,沉积地层在整个盆地分布比较稳定,到了晚白垩世,台西盆地整体抬升,盆地西部新生代沉降中心有上白垩统残余地层分布,在这种构造和沉积背景下,盆地开始了新生代的构造演化历程。

1.1 坳陷构造演化

台西盆地主要成盆期幕式张裂、火山活动和沉降中心迁移特征明显,表明该区具有活动大陆边缘特征。盆地总体上具有东西分带、南北分块的构造格局,主要表现为四凹两凸的构造特征(图 1)。中生代末期,因板块碰撞,引起软流圈分异作用,导致地幔向东蠕动,陆缘开始扩张,在这种背景下,台西盆地西部坳陷主要受控于地壳拉张和地幔对流 2 种力源作用,地壳拉张(被动上升)对应被动热事件,以形成断陷为主;地幔对流(主动上升)对应主动热事件,以形成坳陷为主,主要成盆期这 2 种热事件在时间和空间上具有明显的变更性和叠加性,对坳陷新生代构造演化和结构特征产生重要影响。

受晚白垩世后期张扭应力的影响,台西盆地西部坳陷新生代构造演化经历了古新世断陷初始发育期、始新世断陷发育鼎盛期、始新世末—渐新世整体抬升和断陷结束期,进入中新世以裂后沉降为主,开始坳陷发育阶段,至上新世以后发生弧—陆碰撞,对西部坳陷影响较小,尽管仍可见有楔状平缓的坳陷沉积特征,但前陆坳陷的特征不明显。

西部坳陷新生代构造演化分为 5 个阶段(图 2):①古新世的初始裂陷期,因地壳主动拉张,瓠江凹陷、乌丘屿凹陷和厦澎凹陷表现为被动热沉

降,瓠江凹陷沉降作用最强,乌丘屿和厦澎凹陷逐渐变弱;②始新世的主裂陷期,由于地幔主动上升,瓠江凹陷主要表现为地壳被动拉伸,即主动热沉降,以形成坳陷为主,而此时西部坳陷仍然以主动拉张为主,即被动热沉降,主要形成断陷,乌丘屿凹陷的断陷作用要强于厦澎凹陷;③渐新世的抬升阶段,西部坳陷同东海陆架盆地瓠江凹陷一样以抬升隆起为主,盆地东部坳陷主要为断陷—坳陷发育期;④中新世的裂后沉降阶段,此时西部坳陷结束了断陷的发育历史,由断陷转变为坳陷,主要热沉降作用在盆地东部坳陷,表现为叠加,而在西部坳陷表现为侧加;⑤为上新世的区域沉降阶段,受弧后拉张和弧—陆碰撞的影响,台湾岛受到较大的挤压力,中央山脉与西部山麓地区新近纪和古近纪发育褶皱与逆掩断层,挤压力向西逐渐减弱,台湾西部近海与海峡地区影响较小,而盆地东部坳陷的新竹凹陷进入前陆坳陷演化阶段,至此,现代台湾岛与台湾海峡的地貌特征开始形成。

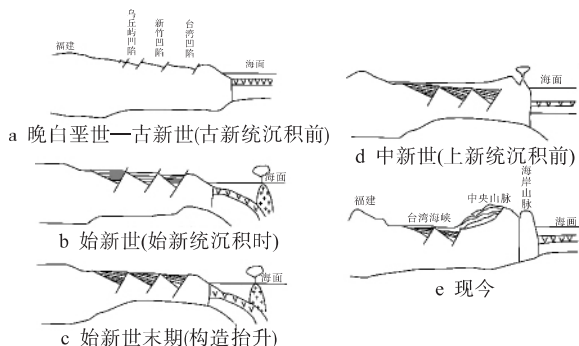


图 2 台西盆地构造演化模式

Fig. 2 Tectonic evolutionary model of the Taixi Basin

1.2 坳陷结构特征

西部坳陷为新生代坳陷,其形成主要受控于单剪切应力场,具有下断上坳的双层结构,古新世—始新世为断陷发育期,形成东断西超的箕状断陷。与东海陆架盆地的基隆凹陷和瓠江凹陷一样,断陷具有继承性,主要由不同时期的半地堑在纵向上相互叠置以及同一时期半地堑在平面上相互连接而成。西部坳陷的乌丘屿和厦澎 2 个凹陷平面几何形态不同,乌丘屿凹陷长短轴之比较大,

呈条带状展布;厦澎凹陷长短轴之比较小,呈椭圆状展布。

东海陆架盆地基隆凹陷为一东断西超的箕状断陷,自西向东分为西部缓坡断阶带、中央洼陷带和东部陡坡带 3 个构造带^[11],台西盆地西部坳陷的乌丘屿凹陷、厦澎凹陷与基隆凹陷具有相似的结构特征,同样可分为西部缓坡带、中央洼陷带和东部陡坡带(图 3、4)。

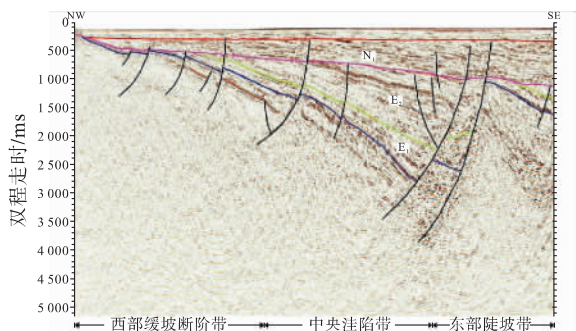


图 3 乌丘屿凹陷 A—A' 测线地震解释剖面

Fig. 3 Seismic profile A—A' through Wu-chiu island and its interpretation

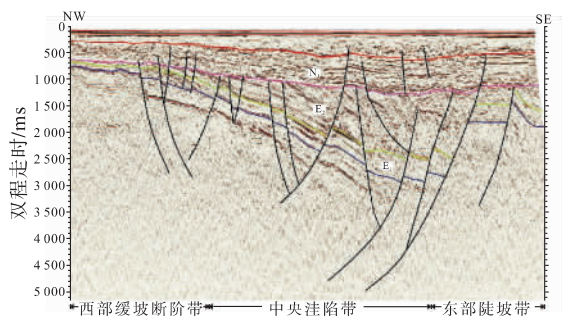


图 4 厦澎凹陷 B—B' 测线地震解释剖面

Fig. 4 Seismic profiles B—B' through Xiapeng Depression and its interpretation

西部坳陷的乌丘屿凹陷中央洼陷带面积约 3 800 km²,断层以 NE 向展布为主,多为伸展断层,断开层位越深其断距越大,并对沉积有一定控制作用,是凹陷的沉降和沉积中心;西部缓坡带面积约 2 500 km²,主要发育一系列 NE 向顺向断层,大部分断层断至基底,部分断层控制了构造坡折带的形成和展布;东部陡坡带面积约 1 300 km²,主要发育 2 条近 NE 向断层,其中一条为控

制凹陷边界的主断层,断面规模大,主要控制古新统和始新统。厦澎凹陷的 3 个构造带断裂特征与乌丘屿凹陷大致相同,西部缓坡带、中央洼陷带和东部陡坡带的面积分别为 2 800 km²、5 300 km² 和 1 500 km²。

1.3 地层分布特征

台西盆地西部坳陷的厦澎凹陷大面积分布属于无磁性或弱磁性的中—酸性火成岩,推断与福建沿海广泛分布的晚侏罗世—早白垩世的中—酸性火成岩相当^[9],与东海陆架盆地福州凹陷探井钻遇的一套以杂色、红色为主的中生界碎屑岩系的中段年代大致相同,经同位素绝对年龄测定,结合地震反射波组特征和倾角测井等资料将这套地层划分为上侏罗统一白垩统渔山组^[10],在此基础上发育了新生代沉积层序。

古新世为西部坳陷发育的初始期,沉积了一定厚度的古新统,地层呈 NE 向近条带状展布,整体西薄东厚,沉降中心分布在东部边界大断层附近。根据最新地震资料解释成果,乌丘屿凹陷和厦澎凹陷东部边界断层下降盘古新统的最大厚度分别为 1 000 m 和 800 m。

始新世是西部坳陷发育的鼎盛期,始新统沉积较厚,平面上呈东厚西薄的楔状特征。沉降中心紧靠东部控坳边界断裂,主要有 2 个沉降中心,分别位于乌丘屿凹陷和厦澎凹陷,其中乌丘屿凹陷沉积厚度可达 3 200 m,厦澎凹陷可达 3 000 m,2 个凹陷均缺失上始新统和渐新统。

中新世以后,台西盆地内主控断裂基本停止活动,西部坳陷进入区域沉降阶段,中新世沉降中心位于台西盆地东部,西部坳陷主要表现为侧加,地层厚度 200~800 m,自西向东加厚。西部坳陷上新统及第四系沉积厚度不大,但分布比较稳定。

2 油气勘探前景

台西盆地油气勘探从钻探第 1 口油气井至今已有 100 多年的历史,先后发现了通宵—铁砧山、青草湖、白沙屯、八掌溪和新营等 17 个气田,全部位于台西盆地东部。西部坳陷仅在厦澎凹陷有少量探井,乌丘屿凹陷目前还没有进行钻探。

2.1 生烃条件

不同的构造演化阶段导致形成不同的沉积层序,使得台西盆地东、西部坳陷的烃源岩差别较大,东部坳陷发育下—中侏罗统、下白垩统、始新—渐新统和中新统 4 套烃源岩,而西部坳陷主要发育下白垩统、古新统和始新统 3 套烃源岩。

台西盆地西部坳陷的中生界为上侏罗统一下白垩统,在浙江临海的小岭剖面、福建永安盆地吉山剖面和福建游洋盆地台尾剖面,该套地层中暗色泥岩比较发育,认为主要处于还原沉积环境,是利烃源岩的沉积相带。在北港隆起 WH—1 井的下白垩统砂岩、鲕状灰岩内见油斑,且页岩的有机碳含量及热成熟度也在生油窗范围内。由于上侏罗统一下白垩统埋藏深度较大,根据周边中生界勘探情况推测,该套地层可能具有较好的生烃潜力,如乌丘屿凹陷东缘的 CCT-1 井,在 2 231 m 深度的有机碳含量达到 1.56%^[13]。

在西部坳陷厦滂凹陷共钻探井 8 口,其中 CDW-1A 井从 1 316 m 到井底 4 091.5 m,钻遇始新统厚达 2 775.5 m,以湖相碎屑岩为主,多为砂泥岩互层,暗色泥岩和煤系地层厚度 1 100 m,TOC 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(翁荣南等,1993),尽管成熟度较低,但此时火山活动比较频繁,可能该区对烃源岩的成熟有一定的促进作用^[12],因此,始新统仍不失为较好的烃源岩。

钻探已经证实,东海陆架盆地瓯江凹陷的古新统为一套重要的烃源岩,而乌丘屿和厦滂凹陷与瓯江凹陷构造演化和沉积演化特征大体相同,凹陷类型均为东断西超的箕状断陷,古新统分布稳定、埋藏深度较大,在乌丘屿东缘的 CCT-1 井的古新统见到以产气为主的干酪根,说明乌丘屿和厦滂凹陷古新统应当具有一定的生烃潜力。

乌丘屿凹陷油气地质资料较少,尚未进行钻探,与厦滂凹陷仅有一个低凸起相隔,二者的沉积相带具有可对比性。根据区域地质背景、地震资料研究成果以及邻区钻井资料分析,推测乌丘屿凹陷古新统和始新统也可能是较好的烃源岩。

2.2 储集条件

台西盆地西部坳陷共发育白垩系、古新统、始新统和中新统 4 套储层,以新生界古新统和始新

统砂岩为主,中新统砂岩和中生界白垩系砂岩及灰岩也具有一定储集能力。

白垩纪时期,受南中国海盆地地壳张裂与海洋扩张运动影响,断裂、褶皱作用强烈,在构造应力集中的裂缝发育区,储集物性可能变好。据钻井资料,白垩系主要由致密的砾岩、砂岩、页岩和少量灰岩、鲕状灰岩组成,含大量变质岩和火成岩碎屑^[14],在北港地区最大厚度可达 959 m,坳陷内白垩系分布较稳定,规模较大的砂砾体和受构造运动影响较大的灰岩可能具有较好的储集性。

古新世—始新世时期,台西盆地西部坳陷靠近浙闽隆起区,可以接受较充足的陆源物质供应,此时沉积物以泥岩和砂岩为主。最新研究表明,在乌丘屿凹陷西部及乌丘屿、厦滂凹陷交汇处发育三角洲沉积体系,乌丘屿凹陷东南侧陡坡带发育扇三角洲沉积体系,相比同时期盆地东部变质作用已不明显,发育的三角洲砂体是本区重要的储集层。厦滂凹陷的 CDW-1 井在 2 001~2 023 m、2 148~2 164 m 和 2 461~2 562 m 发育 3 套砂岩,该井距离沉积中心较近,岩石中含较多的长石与岩屑,是砂体物性较差的主要原因,该凹陷的 CDA-3 井始新统 2 891~2 900 m 砂岩孔隙度为 14%,3 515~3 533 m 砂岩孔隙度为 18%~20%,渗透率为 $0.15 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,可见厦滂凹陷的古新统与始新统砂岩具有一定的储集能力。乌丘屿和厦滂凹陷具有相似的构造演化特征,构造演化不仅控制沉积体系的展布,而且还控制储层发育类型和规模,因此,乌丘屿凹陷古新统与始新统砂岩同样具有一定的储集能力。

中新世时期,盆地内主控断裂基本停止活动,坳陷进入区域沉降阶段,此时海相沉积范围进一步扩大,凹陷大部分地区以浅海相沉积为主,坳陷的西部缓坡带发育少量滨海相沉积,在乌丘屿凹陷西北部及厦滂凹陷中部缓坡带发育 2 个较小的三角洲沉积体,其水下分流河道和河口坝砂体,可能具有较好的储集性。

2.3 油气储盖组合

台西盆地西部坳陷主要发育下白垩统、古新统和始新统烃源岩,以 3 套烃源岩为中心,油气主要以沿断层垂向运移和沿不整合及砂体的短距离侧向运移为主。坳陷主要存在下白垩统、古新统、

始新统和中新统 4 套储盖组合,其中下白垩统、古新统和始新统以自生自储为主,中新统主要为下生上储,良好的储盖条件有利于天然气的运移、聚集和保存。

在盆地东部凹陷的致昌(CFC)、建丰(CGF)等构造的下白垩统钻井已发现天然气,CFC-9 井还发现了固体沥青,表明下白垩统具有较好的储盖条件,盆地西部凹陷与东部凹陷早白垩世具有相同的构造和沉积演化特征,区域上地层分布比较稳定,推断西部凹陷下白垩统油气储盖组合特征与东部凹陷基本相似,也具有较好的储集条件,灰岩与砂砾岩为储层,上部的泥页岩为盖层。

西部凹陷古新世为断陷发育期,海侵在古新世已经发生,在乌丘岛凹陷和厦澎凹陷发育三角洲和扇三角洲沉积体系,三角洲砂体与上部三角洲泥页岩构成较好的储盖组合,该组合在东海陆架盆地瓯江凹陷的油气勘探中已经得到证实。

西部凹陷始新统砂岩为主要储集层,始新统储集砂岩主要包括滨海砂岩和湖相三角洲砂岩,这些砂岩之上的始新统泥岩可作为较好盖层,形成始新统自生自储型储盖组合,厦澎凹陷振威构造 CDW-1A 井始新统 2 001~2 023 m 获 45 L 原油,2 148~2 164 m 也见到较好油气显示。该套组合在乌丘岛凹陷也同样存在,表明始新统自生自储型储盖组合是本区重要的油气储盖组合。

凹陷中新统底界为区域不整合,可作为始新世油气运移的有利通道,发育的三角洲砂体可作为储层,其上部的海相泥岩是较好的盖层,形成下生上储的油气储盖组合。

2.4 勘探潜力研究

台西盆地西部凹陷的乌丘岛和厦澎凹陷均为东断西超的箕状断陷,勘探实践证明此类凹陷的油气分布具有一定的规律性,通常情况下,在陡坡、缓坡和洼槽 3 个构造带中,缓坡带的油气勘探潜力最大。根据本次研究成果,结合邻区的油气勘探实践,综合研究认为西部凹陷乌丘岛和厦澎凹陷的西部缓坡带油气勘探潜力最大,中央洼槽带次之,东部陡坡带较差(图 5)。

凹陷西部缓坡带是油气勘探最有利区带,该区经历多期构造活动和沉积变迁,沉积体系与陡

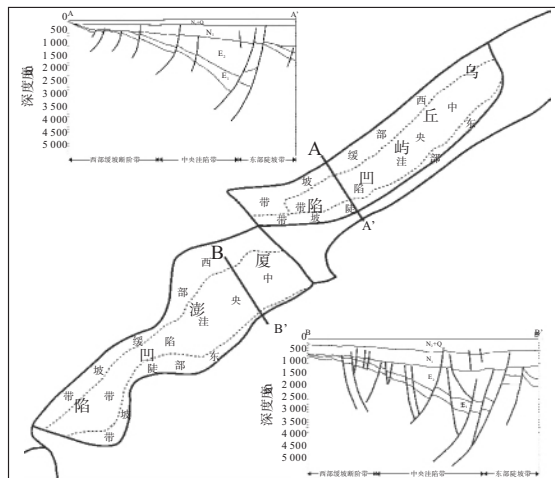


图 5 台西盆地西部凹陷平面分区图

Fig. 5 A plane map of the Western Depression of Taixi Basin

坡带和洼陷带具有较大差异,主要以三角洲沉积为主,储盖组合较好,是各类圈闭的有利发育区,而且距拗陷生烃中心较近,不整合及顺向断层是油气运移主要通道,是油气运移的有利方向,有利于天然气的运移和聚集。尤其是始新统和其下伏的古新统是拗陷油气藏的重要分布区,应作为油气勘探的主要目的层系。拗陷中生界的下白垩统也是一个值得重视的勘探领域。

中央洼陷带为拗陷油气勘探的较有利区,该区是凹陷的沉降中心和沉积中心,沉积环境以浅海相为主,发育三角洲砂体,但总体来说沉积物比较细,储层物性较差,厦澎凹陷在该带钻井资料也证明这一点,另外该带也没有东海陆架盆地西湖凹陷那样的中央背斜带,因此难以形成大油气田。

3 结论

(1)台西盆地具有东西分带、南北分块的构造特征,可划分为 3 个二级构造单元,分别为西部凹陷、中央隆起和东部凹陷,其中西部凹陷包括乌丘岛和厦澎凹陷;中央隆起包括观音—澎北凸起和澎湖北港凸起;东部凹陷包括新竹凹陷和台西南凹陷。

(2)台西盆地西部凹陷新生代构造演化主要分为古新世初始裂陷、始新世主裂陷、渐新世抬升剥蚀、中新世裂后沉降和上新世后的区域沉降 5

个阶段。

(3) 台西盆地西部坳陷新生界主要发育古新统和始新统 2 套烃源岩,下部的中生界下白垩统有一定生烃潜力。西部坳陷主要存在下白垩统、古新统、始新统和中新统 4 套有利储盖组合,各凹陷的西部缓坡带为油气聚集的有利区带,古新统和始新统发育的三角洲砂体是本区勘探的重点。

(4) 台西盆地西部坳陷的乌丘屿与厦滂凹陷均为东断西超的箕状断陷,可分为西部缓坡断阶带、中央洼槽带和东部陡坡带,其中缓坡带和洼槽带圈闭类型丰富,主要发育断块、断鼻、地层和复合型圈闭,是油气聚集的有利场所。

参考文献:

- [1] 王国纯. 台西盆地构造单元划分探讨[J]. 中国海上油气, 1997, 11(2): 80-86.
- [2] 李运振, 邓运华, 徐 强, 等. 板块运动对中国近海新生代盆地沉降及充填的控制作用[J]. 现代地质, 2010, 24(4): 719-726.
- [3] 贾承造, 魏国齐. 塔里木盆地的古生界古隆起和中生界前陆逆冲带构造及其控油意义[C]//童晓光, 梁狄刚, 贾承造. 塔里木盆地石油地质研究新进展. 北京: 科学出版社, 1996:

225-234.

- [4] 陈发景, 汪新文, 张光哑, 等. 中国中生代含油气盆地构造和动力学背景[J]. 现代地质, 1992(3): 317-327.
- [5] 田在艺, 韩 屏. 中国东北地区中生代含油气盆地构造分析与形成机制[J]. 石油勘探与开发, 1993, 20(4): 2-4.
- [6] 刘和甫. 盆地演化与地球动力学旋回[J]. 地学前缘, 1997, 4(3/4): 233-240.
- [7] 何登发, 李德生, 童小光, 等. 多期叠加盆地古隆起控油规律[J]. 石油学报, 2008, 29(4): 475-488.
- [8] 茹 克. 裂陷盆地的半地堑分析[J]. 中国海上油气, 1990, 4(6): 1-10.
- [9] 许 红, 孙和清, 李 刚. 海洋地质动态[J], 2003, 19(8): 27-31.
- [10] 王可德, 钟石兰, 王建平, 等. 东海陆架盆地西南部中生代地层的发现[J]. 地层学杂志, 2000, 24(2): 129-130.
- [11] 姜雄鹰, 傅志飞. 东海陆架盆地基隆凹陷构造演化特征及勘探前景[J]. 石油地质与工程, 2010, 24(2): 21-24.
- [12] 姜雄鹰, 傅志飞. 澳大利亚布劳斯盆地构造地质特征及勘探潜力[J]. 石油天然气学报, 2010, 32(2): 54-57.
- [13] 李国永, 徐 波, 刘丽芳. 台西盆地烃源岩特征及天然气成藏条件[J]. 石油天然气工业, 2007, 27(5): 48-51.
- [14] 支家生, 王本善. 台湾西部地层与烃源岩潜力评估[J]. 中国海上油气, 1996, 10(4): 237-242.

GEOLOGICAL FEATURES AND HYDROCARBON PROSPECT OF THE WESTERN DEPRESSION, TAIXI BASIN

FU Zhifei, JIANG Xiongying, WANG Haiping, WANG Guangtao

(Geophysical Data Processing Centre, China Oilfield Services Limited, Tianjin 300451, China)

Abstract: Based on the study of regional geology and evolutionary history of the adjacent basins, we studied the tectonic evolution and stratigraphic distribution pattern of the Western Depression of the Taixi Basin in this paper, using the comparative study of geological and geophysical characteristics as a main tool. Results show that the Western Depression has experienced five phases of tectonic evolution, and there are three sets of source rocks and four sets of reservoir-seal systems in the Meso-Cenozoic. Tectonic evolution is the main factor in control over the formation of hydrocarbon source rock and reservoir-seal systems. The Western Depression is tectonically composed of two dustpan-shaped rifts. The western slope of the depression is a favorable area for hydrocarbon migration and accumulation and there are different types of traps. Therefore, the exploration potential is high there.

Key words: Taixi Basin; Western Depression; tectonic evolution; oil and gas exploration; reservoir-seal assemblage