

福山凹陷古近系沉降特征时空 差异性及其形成机制

余江浩^{1,2} 廖远涛^{1,2} 林正良³ 李媛^{1,2} 王苗^{1,2}

(1.中国地质大学(武汉)构造与油气资源教育部重点实验室 湖北 武汉 430074 ;2.中国地质大学(武汉)资源学院 湖北 武汉 430074 ;3.中国石化石油物探技术研究院 江苏 南京 210014)

摘要 福山凹陷区域构造复杂,研究程度较低,而针对构造沉降史的研究几乎为空白。应用EBM盆地模拟系统对福山凹陷沉降史进行回剥分析的结果表明,福山凹陷先后经历裂陷期、断拗转换期和裂后期,且沉降速率的变化呈现幕式特点。裂陷早期自裂陷Ⅰ幕开始西部次凹沉降速率大于东部次凹,但到裂陷Ⅲ幕东部次凹沉降作用加强,沉降速率反而大于西部次凹;从沉降中心发育的位置看,裂陷初期沉降中心位于凹陷西部的皇桐地区,到裂陷晚期(裂陷Ⅲ幕)沉降中心已经逐步迁移到了东部的白莲地区,而拗陷期区域沉降中心继续向东北方向迁移,这种东、西次凹沉降速率的垂向差异性以及整个凹陷古近系沉降中心自西向东迁移的规律,反映出福山凹陷东、西次凹沉降特征的时空差异性特点。研究结果表明,东、西次凹控凹断层活动差异性以及福山凹陷受区域非对称性拉伸作用是造成这种沉降时空差异性的内在机制。

关键词 沉降演化 非对称拉伸 差异性 形成机制 幕式构造作用 福山凹陷

中图分类号 :TE111.2

文献标识码 :A

文章编号 :1009-9603(2012)05-0034-05

盆地构造沉降史研究是含油气盆地研究的基础工作,也是油气评价工作的重要组成部分,同时可以作为定量或半定量划分盆地构造演化阶段或期次的参数之一;在盆地分析过程中,沉降史分析已经成为一项重要的技术方法^[1],构造沉降史及其沉降速率分析可以提供盆地形成演化的重要信息^[2-8]。福山凹陷是北部湾盆地油气勘探的主战场,所处地理位置独特,凹陷内部具有明显的东西分块特征。针对福山凹陷开展了较多的沉积学研究,但总体上研究程度仍然很低^[9]。笔者应用EBM盆地模拟系统对福山凹陷内部能够反映整个盆地形态和沉积特征的骨干格架剖面进行了回剥分析,总结了福山凹陷的沉降史及其沉降速率在时间和空间上的变化特征,揭示出福山凹陷东、西次凹沉降特征的时空差异性,进而分析造成这种时空差异性的内在机制,以期为进一步的油气勘探提供参考。

1 地质背景

北部湾盆地位于欧亚板块东南缘,与印度 澳

大利亚板块和太平洋板块毗邻。在地质发展历史中,受到中国大陆边缘、太平洋、菲律宾海板块以及南海壳形成演化的影响。北部湾盆地是新生代构造活动最活跃的地区之一,具有独特的构造演化特征^[10]。福山凹陷位于北部湾盆地的东南缘,是发育于海南隆起区北部斜坡上的一个次级裂谷型凹陷。凹陷总面积约为2 920 km²,新生界最大沉积厚度约为9 000 m^[11],其平面展布总体呈北东、北东东向,具有南北分带、东西分块的特征。在平面上,凹陷西北部以临高断裂与临高凸起相接,东部以长流断裂与云龙凸起相接,南部与海南隆起相邻,呈现出与北部湾盆地相近的三角形形态^[12-13]。根据地质结构,可将福山凹陷划分为南部斜坡带、中部构造带、中北断槽带和北部断阶带4个构造带,每个构造带又可划分出多个次级构造单元。其中负向构造单元包括皇桐次凹、白莲次凹和海口次凹,正向构造单元包括永安背斜、花场低凸和金凤断鼻。

福山凹陷古近系自下而上发育以河流相为主的长流组红层、湖相流沙港组三段砂泥岩地层、湖相以暗色泥质岩沉积为主的流沙港组二段和一段

收稿日期 2012-07-23。

作者简介 余江浩 男 在读硕士研究生 从事沉积学和层序地层学方面的研究。联系电话 (027)67883064 E-mail jhyu2005@126.com。

基金项目 中国地质大学(武汉)构造与油气资源教育部重点实验室基金资助项目 北部湾盆地福山凹陷古新统陆相红层成因及构造指示意义 (TPR-2011-24)。

以及巨厚的河流相溷洲组杂色砂泥与砂砾岩层,新近系和第四系扩展为大面积海盆,形成连片碎屑岩沉积。

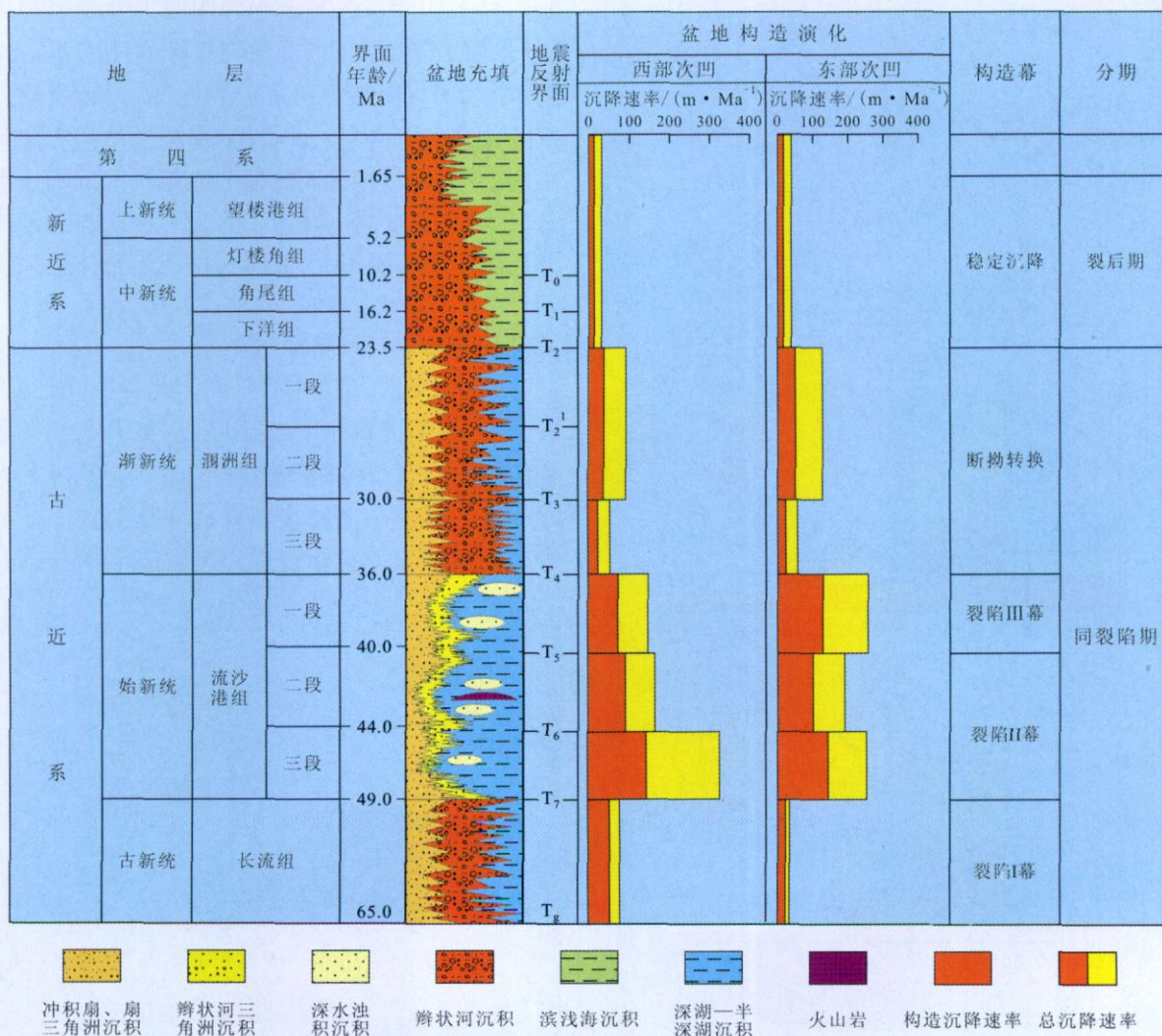
福山凹陷在东西向剖面上表现为被临高、长流断裂所控制的双断裂地堑型断陷,花场地区构造变换带形成于继承性发育的花场低凸起的背景之上,整体为一个鼻状构造。花场构造变换带由南部缓坡带向凹陷中心伸展,并将整个福山凹陷分隔成东、西2个相互独立的次级凹陷,其东侧为皇桐次凹,西侧为白莲次凹,在南北向整体表现为北断南超的箕状断陷构造样式,垂向上呈现特殊的下断上拗的双层结构^[14]。受区域构造运动的影响,福山凹陷新生界内部有3次大的沉积间断,分别形成了 T_5 、 T_4 和 T_2 共3个大规模的角度不整合界面。

2 幕式构造作用及沉降演化特征

通过对区域构造运动的认识和典型断陷盆地

的类比分析,结合EBM盆地模拟系统的沉降史回剥分析结果,将福山凹陷古近纪至现今沉积地层划分为2个一级构造层序:古近系长流组、流沙港组和溷洲组为一个一级构造层序,对应同裂陷期沉积;新近系及第四系为另外一个一级构造层序,对应裂后期沉积。从福山凹陷古近纪—新近纪充填序列和构造演化(图1)可以看出,沉降速率存在高、低错落式的变化特点,这种变化的节奏性强,表明研究区古近系和新近系、第四系的沉降具有幕式沉降特征。

在福山凹陷裂陷期3幕构造演化中,构造沉降占总沉降的比例较大,到了断拗转换期和裂后稳定沉降期构造沉降占总沉降的比例变小。主要特点为:①裂陷I幕对应长流组沉积时期,构造沉降对总沉降的贡献较大,反映凹陷处于周缘断层活动性强的背景;②裂陷II幕对应于流三段和流二段沉积时期,构造沉降对总沉降的贡献仍然较大,但不论是构造沉降速率还是总沉降速率从流三段至流二



段都逐渐减小,表明湖盆的沉积、沉降作用逐渐变弱,湖盆进入了相对萎缩期;③裂陷Ⅲ幕对应流一段沉积时期,西部次凹裂陷Ⅲ幕的构造沉降速率和总沉降速率比裂陷Ⅱ幕末期小,但是东部次凹裂陷Ⅲ幕的构造沉降速率和总沉降速率比裂陷Ⅱ幕末期大,东、西次凹在此时沉降速率不一致;④断拗转换期对应涠洲组沉积时期,该时期福山凹陷沉降速率普遍变小,明显低于裂陷Ⅲ幕沉降速率的平均值,体现了热沉降阶段或者拗陷期的特点;⑤裂后期相对于同裂陷期而言,构造沉降速率明显减小,凹陷整体沉降,断裂活动减弱或者不活动。

3 沉降特征时空差异性分析

3.1 东、西次凹沉降速率特征

西部次凹典型观测点位于A测线(图2),观测

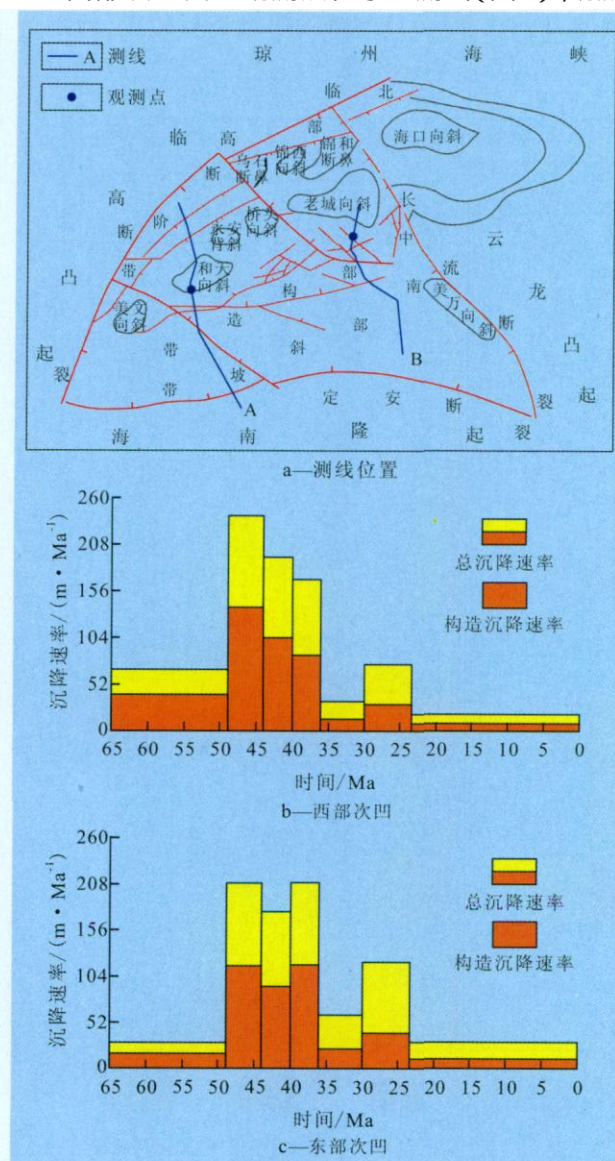


图2 福山凹陷东、西次凹典型沉降速率对比

点在裂陷Ⅰ幕总沉降速率约为65 m/Ma,并且构造沉降速率占总沉降速率的大部分,达到40 m/Ma。裂陷Ⅱ幕总沉降速率最大值出现在流三段沉积时期,沉降速率为240 m/Ma,其中构造沉降速率所占的比例也较大。裂陷Ⅲ幕总沉降速率和构造沉降速率分别为170和80 m/Ma,构造沉降速率约占总沉降速率的1/2。断拗转换期的总沉降速率最大值约为60 m/Ma,沉降速率相比裂陷期而言明显减小。裂后期总沉降速率为30 m/Ma,此时构造沉降速率占总沉降速率的比例较小。

东部次凹典型观测点位于B测线(图2),观测点在裂陷Ⅰ幕总沉降速率仅约为28 m/Ma,构造沉降速率为18 m/Ma,两者均小于同时期西部次凹的沉降速率;裂陷Ⅱ幕最大总沉降速率同样出现在流三段沉积时期,总沉降速率为210 m/Ma,其中构造沉降速率为120 m/Ma,两者同样小于同时期西部次凹的沉降速率;但是到了裂陷Ⅲ幕,东部次凹总沉降速率和构造沉降速率分别为210和120 m/Ma,此时东部次凹的总沉降速率和构造沉降速率均大于同时期西部次凹的总沉降速率和构造沉降速率,东、西次凹沉降特征出现差异性;断拗转换期的总沉降速率最大值为120 m/Ma,虽较裂陷期有明显减小的趋势,但是相比同时期的西部次凹沉降速率还是较大,裂后期总沉降速率为35 m/Ma,与西部次凹总沉降速率相差不大,此时福山凹陷整体进入拗陷期。

3.2 沉降中心迁移特征

从福山凹陷沉降中心平面演化特征(图3)可以看出,自裂陷早期的长流组沉积时期开始到拗陷早期的涠洲组沉积时期,福山凹陷古近纪区域最大沉降中心沉降速率同样呈现幕式变化的特征。沉降中心的沉降速率整体表现为自裂陷早期开始先增

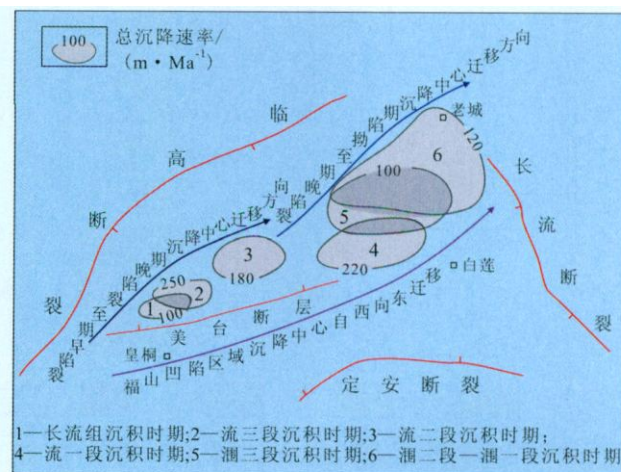


图3 福山凹陷沉降中心平面演化特征

大,到裂陷晚期减小,再到拗陷期显著减小的趋势;从沉降中心与断层的发育方位可以看出,断层对沉降中心的控制作用逐渐减弱,区域的拗陷作用逐渐增强,凹陷形态也由隆凹相间演化为整体拗陷的构造格局;从沉降中心的平面发育规模来看,沉降中心的分布范围也在不断扩大,这就说明福山凹陷早期(裂陷Ⅰ幕)是从凹陷的西部开始伸展裂陷的,随后不断向北东方向扩张;从沉降中心发育的位置来看,裂陷初期沉降中心位于凹陷西部的皇桐地区,到裂陷晚期(裂陷Ⅲ幕)沉降中心已经逐步迁移到了东部的白莲地区,拗陷期区域沉降中心继续向北东方向迁移;总体上,沉降中心由西部次凹逐渐迁移到东部次凹,东部次凹的沉降速率在裂陷晚期开始大于西部次凹。

4 形成机制

4.1 断层活动的差异性

在构造活动盆地中,主控断层对盆地的形成演化、沉积充填以及油气成藏都具有重要的控制作用。福山凹陷的一级控凹断裂包括临高、长流和定安3条大断裂,分别控制着福山凹陷的西北界、东界和南界,并将凹陷与临高凸起、云龙凸起和海南隆起相隔,临高断裂具有深层拆离断层的性质,长流断裂具有走滑性质。临高断裂自长流组沉积时期开始持续活动,控制着福山凹陷的形成演化,对西部次凹沉降过程的控制作用尤为明显;美台断层是福山凹陷西部地区发育的一条二级断层,将西部地区划分为斜坡区和深陷区,美台断层自流二段沉积时期开始活动,控制次级凹陷沉降作用明显,其活动加强了裂陷早期西部次凹的沉降作用。长流断层为福山凹陷东侧的控边正断层,但相比临高断层其在新生代活动性较弱,长流断层主要控制凹陷东部地区金凤构造和美万向斜的形成演化,而其控制的调节走滑断层,如马袅断裂等控制着凹陷东部白莲次凹的沉积演化。

根据前人的研究成果^[15],长流断裂及其控制的马袅断裂在凹陷裂陷早期的活动性不如临高断裂及其控制的临高断裂系统,并且东部次凹次级控凹断裂——马袅断裂的活动性也不如西部次凹美台断层的活动性强烈。由于裂陷早期东部次凹断层对沉降的控制作用没有西部次凹强烈,故造成裂陷Ⅰ幕—Ⅱ幕西部次凹的沉降速率大于东部次凹。裂陷晚期—拗陷期,边界控凹断层对沉积的控制都在减弱,自此东、西次凹整体的沉降都减弱,同时也

解释了福山凹陷自裂陷晚期—断拗转换和裂后期构造沉降速率又再次变小的原因。

4.2 区域构造应力

古近纪,红河断裂的左行走滑和海南隆起的南移作用形成了福山凹陷强烈拉张的构造环境,海南隆起在向南移动过程中的顺时针旋转运动又形成了一种非对称的拉伸^[16-18],海南隆起与临高凸起2个刚性块体在这种非对称性的旋转—拉伸作用力下,呈剪刀状裂开,即西部的皇桐地区最早开始活动,而后逐渐向北东方向扩张到达白莲地区,使福山凹陷在平面上呈三角形的几何形态^①。这种非对称性的拉伸作用,在凹陷内部形成差异性伸展作用,正是在这种复杂的构造应力背景下,福山凹陷形成大量具有伸展、走滑特征的复杂构造样式,正、负向构造单元相间分布,以北东走向为主,略具弧形分布特征,包括主要受临高断层控制形成的北东向展布的美文向斜、和天向斜、桥头向斜和锦西向斜,以及主要受长流断层控制形成的老城向斜以及海口向斜,其中老城向斜在东部地区受到长流断层和临高断层的共同控制。向北东方向,负向构造单元范围增大,表明东部伸展强于西部(图4)。

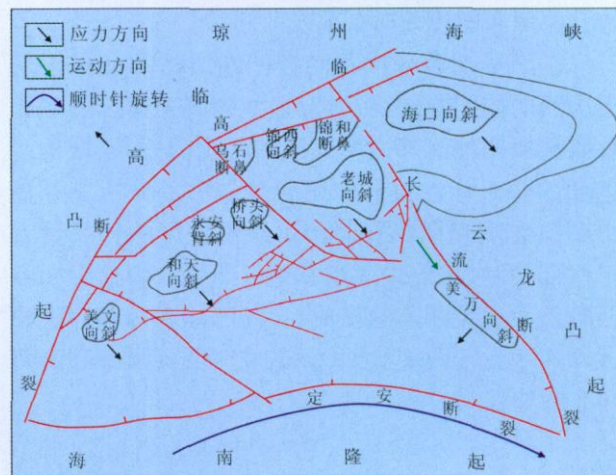


图4 福山凹陷次级构造带应力解析

凹陷中部花场构造变换带就是东、西部地区在差异性伸展作用下构造调节的产物。不仅如此,这种区域非对称性拉伸作用造成裂陷晚期(自裂陷Ⅲ幕开始)东部地区的伸展量大于西部,并且老城向斜在东部地区受到长流断层和临高断层的共同控制,处于长期的伸展、裂陷作用下,所以形成福山凹陷最大的一个次级凹陷,由此造成东部次凹内部沉降速率开始大于西部次凹,沉降中心由西部次凹开

①王华,林正良,廖远涛,等.北部湾盆地福山凹陷古近系构造古地、层序地层与沉积充填演化研究.中国地质大学(武汉),2011.

始逐渐向东部次凹迁移,东部地区的整体沉降也开始大于西部地区。

5 结论

福山凹陷古近系和新近系、第四系的沉降具有幕式沉降特征。其中裂陷Ⅰ幕对应长流组沉积时期,裂陷Ⅱ幕对应于流沙港组三段和二段沉积时期,裂陷Ⅲ幕对应流沙港组一段沉积时期,断拗转换期对应涠洲组沉积时期,裂后期对应新近纪和第四纪。不同裂陷幕中构造沉降不同,在裂陷期的3幕构造演化中,构造沉降占总沉降的比例较大,到断拗转换期以及裂后期构造沉降占总沉降的比例均变小,反映了凹陷早期沉降受边界断裂控制强烈,晚期断裂构造活动开始减弱,凹陷沉降作用也随之减弱。

福山凹陷东、西部次凹沉降特征具有时空差异性,西部次凹在裂陷Ⅰ幕和裂陷Ⅱ幕的沉降速率较东部次凹大,自裂陷Ⅲ幕到拗陷期东部次凹沉降速率反而较西部次凹大;从整个福山凹陷沉降中心的演化来看,自流一段沉积时期开始区域沉降中心开始自西部次凹逐渐向东部次凹迁移。

裂陷早期西部次凹的控凹断层活动性强于东部次凹的控凹断层活动性,造成裂陷Ⅰ幕至裂陷Ⅱ幕西部次凹的沉降速率大于东部次凹,而区域构造运动的非对称性拉伸作用导致应力差异造成了福山凹陷裂陷晚期(裂陷Ⅲ幕)东部地区的伸展量大于西部,同时也促进了东部地区老城向斜这个福山凹陷最大次级凹陷的形成,自此凹陷内部东部次凹沉降速率大于西部次凹,并造成区域沉降中心由西向东的迁移。

参考文献:

- [1] 李思田,解习农,王华,等.沉积盆地分析基础与应用[M].北京:高等教育出版社,2004.

- [2] Nielsen T K, Hopper J R. Formations of volcanic rifted margins are temperature anomalies required? [J]. Geophysical Research Letters, 2002, 29(21): 4-5.
- [3] 邱桂强,王勇,熊伟,等. 济阳拗陷新生代盆地结构差异性研究[J]. 油气地质与采收率, 2011, 18(6): 1-5.
- [4] Allen P A, Allen J R. Basin analysis: principles and applications [M]. Oxford: Blackwell Science Ltd, 2006: 548-549.
- [5] 杨贵丽. 济阳拗陷青岛凹陷构造格局及构造演化[J]. 油气地质与采收率, 2011, 18(1): 7-10.
- [6] Christian H R, Dietmar M, Bernhard S, et al. Subsidence in intracratonic basins due to dynamic topography [J]. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 2008, 171: 252-264.
- [7] Watts A B, Ryan W B F. Flexure of the lithosphere and continental margin basins [J]. Tectonophysics, 1976, 36(1/3): 25-44.
- [8] Carlo D, Giacomo P. Fold uplift versus regional subsidence and sedimentation rate [J]. Marine and Petroleum Geology, 1997, 14: 79-190.
- [9] 朱伟林,张功成,高乐. 南海北部大陆边缘盆地油气地质特征与勘探方向[J]. 石油学报, 2008, 29(1): 1-9.
- [10] 田在艺,王善书. 我国海域地质构造与含油气沉积盆地特征[J]. 石油学报, 1985, 6(3): 1-10.
- [11] 翟光明. 中国石油地质志. 卷十六·沿海大陆架及毗邻海域油气区[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993: 369-387.
- [12] 石彦民,刘菊,张梅珠,等. 海南福山凹陷油气勘探实践与认识[J]. 华南地震, 2007, 27(3): 57-68.
- [13] 于俊吉,罗群,张多军. 北部湾盆地海南福山凹陷断裂特征及其对油气成藏的控制作用[J]. 石油实验地质, 2004, 26(3): 241-248.
- [14] 罗群,庞雄奇. 海南福山凹陷顺向和反向断裂控藏机理及油气聚集模式[J]. 石油学报, 2008, 29(3): 363-367.
- [15] 魏春光,何雨丹,耿长波,等. 北部湾盆地北部坳陷新生代断裂发育过程研究[J]. 大地构造与成矿, 2008, 32(1): 28-35.
- [16] Leloup P H, Lacassin R, Tapponnier P, et al. The Ailao Shan-Red River shear zone [J]. Tectonophysics, 1995, 251(1/4): 1-84.
- [17] Scharer U, Zhang L S, Tapponnier P. Duration of strike-slip movement in large shear zones: the Red River belt, China [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1994, 126(3): 379-397.
- [18] 李桂群,李学伦. 红河断裂构造带在东南亚的延伸特征及其大地构造意义[J]. 青岛海洋大学学报, 1990, 20(2): 80-88.

编辑 经雅丽

欢迎订阅《油气地质与采收率》

300452, China

Wu Changwu, Xiong Liping, Huang Yanqing. Hydrocarbon distribution and control factors on accumulation in Bonaparte basin. *PGRE*, 2012, 19(5): 31–33.

Abstract: Bonaparte basin is a gas prone basin in which Sinopec hold 3 blocks interests. It baffled blocks exploration and development efficiently of these existing blocks and the acquisition of new blocks that the main control factors of hydrocarbon accumulation and potential are not so clear. The author points out the main control factors of hydrocarbon accumulation and the potential of Bonaparte basin through the research of petroleum geology and the hydrocarbon distribution. Hydrocarbon dose unequally distribute in this basin, the west part of basin is mainly small and medium oil fields but the east part of basin mainly contains giant gas fields. The kerogen type, maturity and preservation condition determined hydrocarbon type. In the west part of basin, the reactivation of faults leads to the lost of hydrocarbon and the scale of oil fields is small. But, in the east part of basin, the structure reinforced in late Miocene leads to the gas fields grow giant. Sub-basins in this basin have different main control factor of oil–gas accumulation. Preservation condition is the main control factor of oil–gas accumulation of Vulcan sub-basin, for the Calder Garben, the main control factor is the reservoir quality, and the trap is the main control factor of the east slope of the basin. Bonaparte basin still has good potential for exploration especially in medium and small structural traps, faults related traps, lithologic traps and salt related traps.

Key words: oil & gas distribution character; main control factor of oil–gas accumulation; source rock; preservation condition; reservoir quality; trap condition; Bonaparte basin

Wu Changwu, Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing City, 100083, China

Yu Jianghao, Liao Yuantao, Lin Zhengliang et al. Research on temporal diversity of settlement characteristics of Paleogene, Fushan Sag. *PGRE*, 2012, 19(5): 34–38.

Abstract: Tectonic is very active in Cenozoic of Beibuwan Basin, Fushan Sag located in margin of Beibuwan Basin, whose regional tectonic of Paleogene is very complicated and research level is low, without study of tectonic subsidence history. Application of EBM basin modeling system for subsidence history in Fushan Sag, the back stripping analysis shows that: Fushan Sag has successively suffered rift period, transformational period and depression period, the changing of subsidence rate emerges “episode” characteristic; west secondary depression sedimentation rate is higher than which in east secondary depression since chasmic I episodic period, but from the chasmic III episodic, the east secondary depression sedimentation increased, so, the sedimentation rate is higher than which in west secondary depression. From the location of the center of subsidence, at the early period of chasmic, the subsidence center is located in the Huang Tong region of western depression, but at the advanced of chasmic (chasmic III episodic), the center of subsidence gradually migrates to the Bailian region of eastern depression, then, the regional center of subsidence continues migration to the northeast. Vertical sedimentation rates of the east and west secondary depression are different, besides, regional subsidence center migrates from west to east of Paleogene in Fushan Sag, reflecting the east and west secondary depression in Fushan Sag having space–time diversity in the characteristics of subsidence; Research finds that the tectonic activity diversity of secondary depression and Fushan Sag suffered by regional asymmetric extension effect is inner mechanism which has caused this space–time diversity of east–west settlement.

Key words: subsidence evolution; asymmetric tensile; diversity mechanism; occurrence mechanism; episodic tectonic; Fushan Sag

Yu Jianghao, Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources of Ministry of Education, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan City, Hubei Province, 430074, China

Wang Ping, Chang Anding, Dong Anguo et al. Reservoir rock type cluster analysis of Chang₂¹ oil and gas-bearing member, south-east of Ordos Basin. *PGRE*, 2012, 19(5): 39–42.

Abstract: Based on the main criteria of terrigenous clastic rock classification and nomenclature at present in China, the clastic fine sandstone–mudstone may be divided into 11 types. Taking core logging into account, especially rock fragment logging and practical lithologic logging interpretation in work, we regard 11 rock type as respective independent object, and formed the object collection, then, after the data treatment and standardization, we count the Chebyshev’s distance and implement the cluster analysis, which indicates that, when $0.2564 < \lambda < 0.4231$, the 11 rock type of series of fine sandstone–mudstone can be generalized as 5 rock types: mudstone, muddy siltstone, siltstone, silty fine sandstone, fine sandstone. The filed practice of Chang₂¹ oil and gas-bearing member in the south-east of Ordos Basin has proved that the method for rock type classification can both meet the needs of scientific research and field application, it is the optimum selection.

Key words: Chang₂¹ oil and gas-bearing member; terrigenous clastic rock; rock type classification; cluster analysis; optimum selection; Ordos Basin

Wang Ping, College of Earth Science and Resources, Chang’an University, Xi’an City, Shaanxi Province, 710054, China

Zhang Liqiang, Yang Wan. Characteristics of red mudstone and its significance in recognition of sequence boundary of Es₄ in Dongying depression. *PGRE*, 2012, 19(5): 43–46.

Abstract: In the study of sequence stratigraphy underground, the sequence boundary’s identification is mainly based on the seismic section with low vertical resolution, log data with high multiple solution and so on, but ignoring rocks’ paleo-weathering characteristic which is relative to unconformable surface. Therefore, it leads to the ambiguity of stratigraphic sequence correlation. Based on the study of petrology, geochemistry and paleo-weathering characteristics about the red mudstone in Es₄ Yong 82 well of Dongying