

渤海湾盆地渤中凹陷古近系沉积体系演化及物源分析

吴磊^{1,2}, 徐怀民¹, 季汉成²

(1 中国石油大学(北京)提高采收率研究中心, 北京 102249; 2 CNPC 储层重点实验室石油大学(北京)研究室, 北京 102249)

摘要:综合运用地质、测井、地震及分析化验等资料,对渤海湾盆地渤中凹陷古近系沉积体系进行了较深入的研究,研究表明渤中凹陷古近系的沉积体系主要受构造升降和湖平面变化的控制,经历了 3 期裂陷和湖侵,发育 5 套沉积体系,其中沙河街组沉积时期为裂陷期,以扇三角洲、湖底扇沉积为主,并发育特征的滩坝及浅水台地相沉积;东营组沉积时期为湖侵期,主要发育大型湖泊三角洲沉积,并逐渐向辫状河相过渡。构造及沉积体系分析认为,沙三段沉积时期物源丰富,主要来自石白坨凸起、渤南和庙西凸起,沙一、二段沉积时期物源有限,东三沉积期物源主要来自石白坨和沙东南凸起,东二沉积期大面积的湖侵使得本区处于浅湖-半深湖环境,凹陷周边大量古水系将石白坨凸起、沙垒田凸起的物源带入凹陷中沉积,使得大型三角洲叠覆体广泛发育。

关键词:沉积体系; 沉积相; 物源分析; 古近系; 渤海湾盆地

中图分类号: P736.22

文献标识码: A

文章编号: 0256-1492(2006)01-0081-08

渤中凹陷是渤海海域内面积最大的一个凹陷,位于渤海湾盆地中心,也是渤海湾盆地的沉积中心和生油(气)中心,其四周主要与凸起相邻,东、南、西、北依次是渤东低凸起、渤南凸起、沙垒田凸起和石白坨凸起,凹陷呈北东走向,南宽北窄,南端宽约 80 km,北端宽约 20 km,长约 140 km,面积 8 660 km²,具有面积大、沉积厚度大的特点(图 1)。研究目标是渤中凹陷古近系沉积体系。自 20 世纪 80 年代以来,先后有赵澄林、米立军等人对渤中凹陷古近系进行过沉积体系方面的研究,但由于层序划分级别过大,对沉积体系的构成以及时空展布的研究不够深入,尤其缺乏对碳酸盐台地的分布范围、分布规律和沉积特征的认识。随着 90 年代古近系 PL19-3、QHD32-6 等亿吨级油气田的发现,使得这一地区成为渤海海域油气勘探的重点和热点地区^[1-2],在中-浅层勘探取得较大突破的形势下,以古近系储层为主的深部储层研究已成为当前渤海海域油气勘探的重要任务。由于古近系储层的发育和分布与沉积体系类型及分布特征密切相关,因此,沉积体系及沉积相研究对于渤中凹陷中深层油气勘探具有重要的指导意义。

目前研究区内钻遇古近系的井有 50 余口,其中渤东低凸起有 9 口,渤南凸起有 15 口,沙垒田凸起有 13 口,石白坨凸起有 15 口。虽然对该地区进行

了大面积地震勘查,但由于古近系埋藏较深,地震反射品质较差,造成该地区古近系储层勘探难度大。基于这种现状,根据区域 16 口岩心井的录、测井资料和分析化验资料以及 63 条地震剖面的系统分析,结合前人研究成果^[3-16]对渤中凹陷古近系沉积体系进行了深入研究。

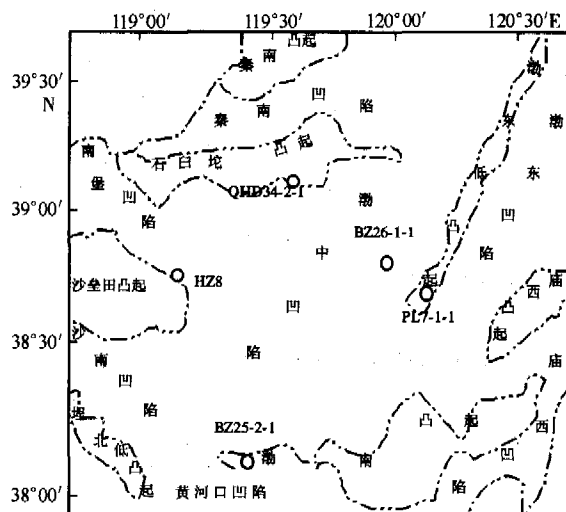


图 1 渤海湾渤中地区构造单元位置

Fig. 1 Location of structural unit in Bozhong area, Bohai Bay

1 地层

渤中凹陷古近系沉积厚度达 2 000~5 000 m,主要由深灰色泥岩及浅灰色砂砾岩、砂岩和粉砂岩不等厚互层组成,与下伏中生代地层及上覆新近系馆陶组均呈侵蚀不整合接触。

基金项目: CNPC 储层重点实验室“中国东部深层储层研究项目”

作者简介: 吴磊(1974—),男,博士生,主要从事沉积学与储层地质研究。

收稿日期: 2005-04-25; **改回日期:** 2005-06-22。 周立君编辑

根据区域地层资料,渤中地区古近系地层的划分如表 1 所示,自下而上依次为古新统孔店组(E_1K)、始新统沙河街组(E_2S)(分为沙一至沙四段)和渐新统东营组(E_3D)(分为东一至东三段)。沙二段与沙三段及沙三段与沙四段之间为侵蚀不整合接触,其余各段之间为整合接触。

古新统孔店组分布局限,只在 PL7-1-1 井、BZ34-2-1 井有发现。以 BZ34-2-1 为例,上部以深灰色泥岩为主,厚约为 67 m;下部以棕色泥岩为主,厚为 114 m。

始新统沙河街组在海域分布较为广泛。由于受古地貌影响,在沙垒田凸起、石臼坨凸起、渤东凸起、渤南凸起缺失沙四段地层,仅在 BZ6 及 BZ10 井钻遇,分布局限;沙三段厚 100~500 m,已有 23 口井钻遇该段,发育厚层砾岩,含砾砂岩及深灰色、褐灰色泥岩沉积;沙二段有 17 口井钻遇,最大厚度 209 m,为灰白、浅灰色砂岩、含砾砂岩夹灰色、灰绿色、紫色泥岩和灰岩、白云岩、生物灰岩沉积;沙一段分布甚广,已有 30 余口井钻遇,发育有灰色泥岩、油页岩、生物灰岩、白云岩等沉积,厚度变化大,最大厚度 120 m。

渐新统东营组岩性和厚度变化大,具“上剥下超”的特点,钻井揭示厚度 1 289 m,分为上下两段,东营组下段(东三段至东二下段)以深灰色泥岩为主,由下而上颜色变浅,上部为“凹形”低电阻泥岩段,下部俗称“稳定泥岩段”;东营组上段(东二上段至东一段)为灰色、浅灰色泥岩与灰白色砂岩、含砾砂岩互层沉积,厚度变化大,最大厚度 604.5 m,本段顶部剥蚀严重。

表 1 渤海湾渤中地区古近系主要地层
Table 1 Stratigraphic divisions of Paleogene
in Bozhong area, Bohai Bay

地层时代	地层剖面			构造演化
	组	段		
E ₃	东营组	东上段(E ₃ Du)	东一段(D ₁)	裂陷发育阶段
			东二段(D ₂)	
		东下段(E ₃ DI)	东三段(D ₃)	
E ₂	沙河街组	沙一段(E ₂ S ₁)		裂陷发育阶段
		沙二段(E ₂ S ₂)		
		沙三段(E ₂ S ₃)		
		沙四段(E ₂ S ₄)		
E ₁	孔店组	孔店组(E ₁ K)		

2 主要沉积相和沉积体系

按照赵澄林对渤海湾盆地古近系碎屑岩储层沉积相的划分方案^[12],渤中凹陷主要沉积相可分为“三扇一沟”,即湖底扇、扇三角洲、三角洲和非扇沟道,其中反向断层成因的非扇沟道沉积本区未大规模发现,故不作阐述。另外,碳酸盐台地和碎屑滩坝沉积也是本区重要的沉积相类型。

2.1 湖底扇和扇三角洲

在渤中地区存在以下两种情况:冲积扇或其他滑塌作用产生的碎屑物质在断崖边直接入湖并沉没于湖水中,称之为湖底扇,以重力流沉积为主;另一种是扇三角洲,冲积扇和辫状河道直接进入湖盆区沉积,形成既有水下沉积也有水上沉积的碎屑岩沉积体系。

湖底扇结构类似于冲积扇,可划分为扇根、扇中和扇端亚相。岩性为深灰色泥页岩夹细砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩和卵石质砂岩、砂砾岩,杂基支撑。砂岩中具平行层理、块状层理、小型斜层理和生物变形构造。泥岩中夹薄砂层具同生变形构造(图 2a)。取心段粒序不明显,扇端亚相粒度曲线为两段式,其中跳跃主体中具有双跳跃次主体,反映湖底波浪改造的双向水流特征(图 3a)。自然电位为箱形和漏斗型,砂泥比低,地震反射特征为楔形的杂乱反射,“悬挂状”分布于连续性较好的湖相平行反射中。空间上,主要发育于箕状断陷陡侧下降盘,或古地形陡坡带;时间上,以基底强烈拉张的沙河街组沉积时期和东营组沉积早期最为发育。

扇三角洲具有类似于三角洲的 3 层结构,即扇三角洲平原(主要为分流河道沉积)、扇三角洲前缘(水下分流河道、河口坝沉积等)及前扇三角洲(图 2b)。形成一套由下向上、由细变粗再变细的结构,底部砾岩有一定定向性,发育粒序层理,局部见小型槽状交错层理,褐色泥岩中可见生物扰动,在陡岸、缓岸均可沉积。岩性以含砾砂岩、中-粗砂岩及其他陆源碎屑夹褐色泥岩为特征,混杂堆积,成分和结构成熟度均较低,主要粒度曲线显示跳跃、滚动、悬浮作用的 3 段式(图 3b),自然伽马和自然电位曲线显示以箱形和漏斗型为主。

扇三角洲在东营组和沙河街组均较发育,初步可分为陡岸扇三角洲和缓岸扇三角洲(米立军等, 1998)。陡岸扇三角洲以石南断层下降盘和庙西凸起北缘边界断层下降盘扇三角洲为代表(图 4),地

震剖面表现为楔形,根部杂乱反射,中部和前端为中强振幅的前积和平行反射;缓坡扇三角洲则分布于渤南凸起以北和沙垒田凸起东南斜坡带,其特征为顶积层,底积层不发育,而发育以叠瓦状或斜交前积反射为特征的前积层。

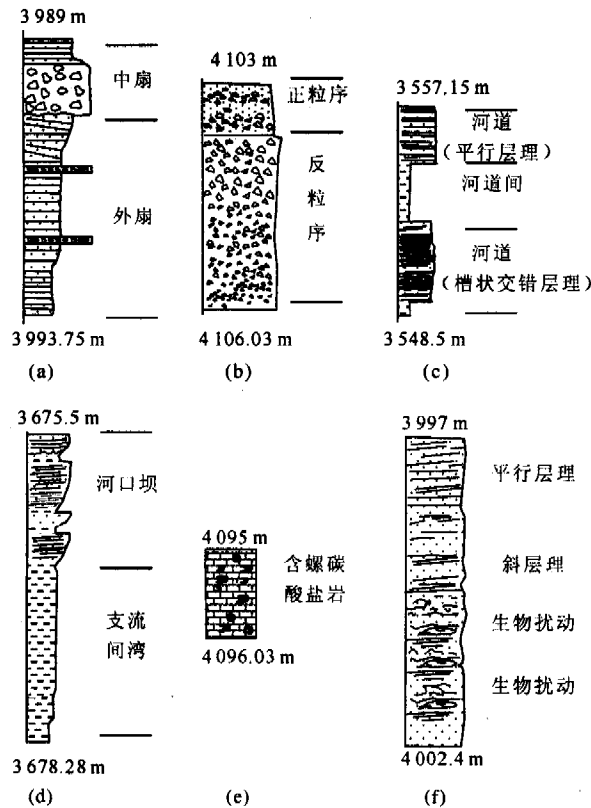


图 2 渤海湾渤中凹陷古近系沉积相剖面

(a) BZ13-1 地区湖底扇沟道微相; (b) BZ13-1-2 井扇三角洲沟道沉积; (c) PL7-1-1 井三角洲前缘水下分流河道沉积; (d) QHD34-2-1 井三角洲前缘河口坝沉积; (e) BZ13-1 地区台地滩坝生物滩微相; (f) BZ13-1-2 井浅湖亚相及滩坝间沉积

Fig. 2 The sedimentary facies of Paleogene in the core section in Bozhong Sag, Bohai Bay

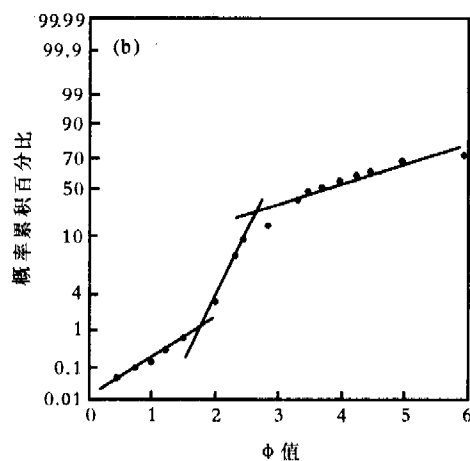
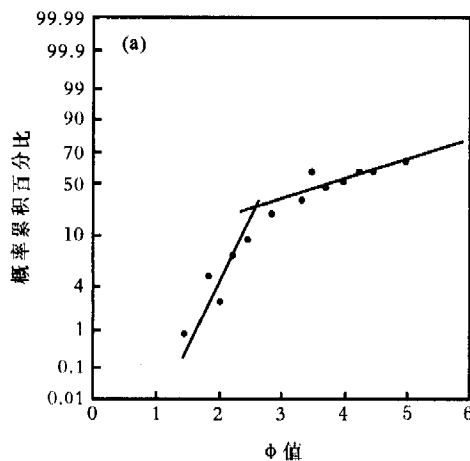


图 3 渤中凹陷湖底扇端亚相(a)和扇三角洲前缘亚相(b)粒度概率累积曲线

Fig. 3 The probability curves of grain size in turbidite fan(a) and in fan-delta(b)

2.2 三角洲和前缘浊积体

渤中地区三角洲沉积可分为(1)受河流物源注入控制的河控远源三角洲;(2)河流及海浪共同控制的近源三角洲。三角洲主要发育于东营组晚期(东二至东一段)的湖盆快速充填萎缩阶段。平面上渤中凹陷东北有 10 个大型三角洲叠覆体,西南有 3 个明显的三角洲叠覆体,东北部砂体形态呈北东向南西延伸的长型,三角洲沉积具有明显的 S 型、斜交型前积反射,主要以反粒序的河口坝沉积为主,为远源、长期稳定的河流控制的河控三角洲;西南部砂体为近源季节性河流控制(姜培海,1999),沉积斜坡坡度较大,物源供给不稳定,河流经常改道。沉积物的结构成熟度不及远源沉积三角洲。三角洲前缘亚相发育槽状交错层理、平行层理、斜层理冲刷面等构造,并见生物潜穴,层序以反粒序为主,粒度概率曲线为 3 段式,其中跳跃主体见两个次主体,反映波浪改造的双向水流特征(图 2c,d)。

三角洲前缘浊积扇沉积主要为三角洲前缘大型高角度斜坡沉积物滑塌而成。钻井显示,其岩性为暗色泥质粉砂岩中夹粉砂岩,见块状层理、微波状层理,局部有泥质条带。砂泥互层,砂少泥多,砂泥比大约为 1:9。它与湖底扇前缘的浊流沉积特征相似,可以利用伴生的三角洲相层序予以区分^[13],在 BZ19-2-1 和 BZ13-1-2 井东二段下部发现。虽然浊积扇体一般规模不大,但是由于其被生油岩包围,且具有一定储集性能,因此具有重要的勘探价值。

2.3 浅水碳酸盐台地和滩坝砂体

本区除了以上所述的沉积相态外,在沙河街组沙一二段时期由于水体较浅,气候温暖湿润,台地区

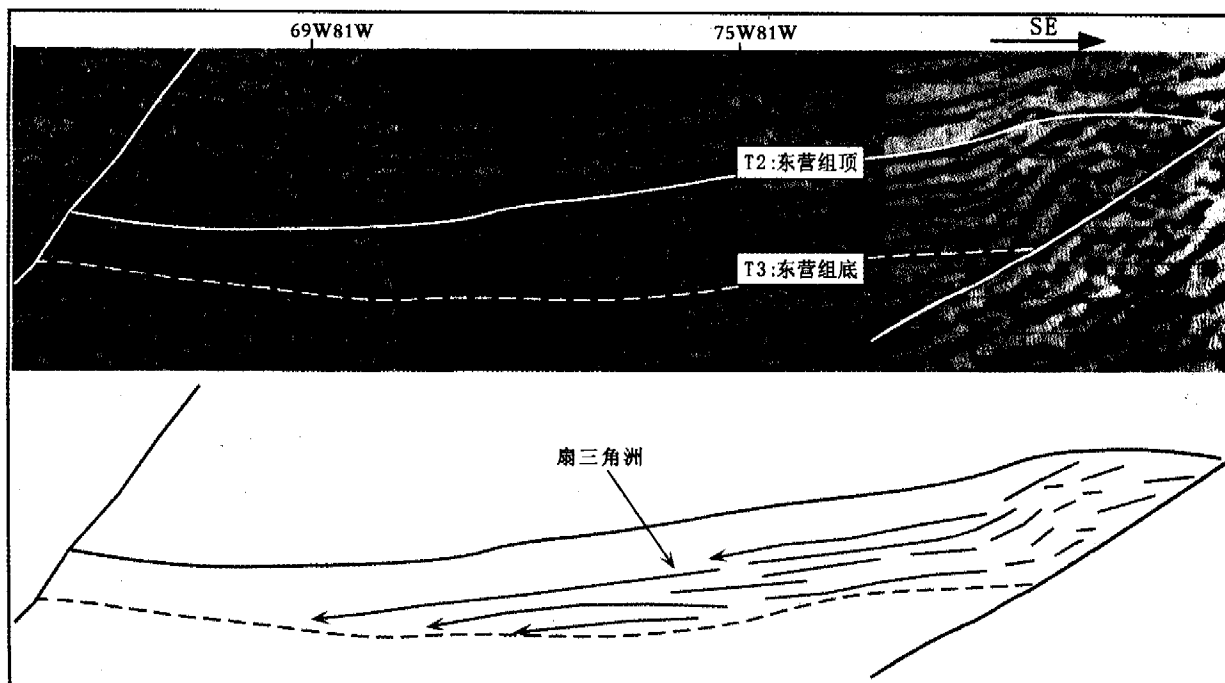


图4 渤中凹陷古近系陡岸扇三角洲地震剖面

Fig. 4 The seismic cross-section of fan-delta in steep slope of Paleogene, Bozhong Sag

陆源碎屑物源较少,在水下高地发育碳酸盐台地沉积。台地上沉积物(盆内碎屑和盆外陆源碎屑)受波浪淘洗改造,在适当水深形成生物粒屑滩或砂砾碎屑滩。生物滩主要由螺云岩和含螺云岩组成(图2e),局部由泥质云岩和细砾岩组成,在BZ13-1、BZ25-1和QHD30-1N等地区均发现了碳酸盐台地沉积。滩坝沉积主要在沙一二时期较发育,在适当的水深经波浪改造后在湖岸和台地边缘沿岸线分布(图2f)。由于目前海域勘探程度较低,对碳酸盐台地的分布范围、分布规律和储层沉积特征的研究也相对滞后。BZ13-1和BZ25-1油田,以及邻近辽东湾碳酸盐台地沉积相中良好的储集性能和油气显示,预示了古近系地层中碳酸盐台地储层的良好油气勘探前景。

3 沉积体系平面分布及演化特征

研究区古新近纪裂谷发育时期经历了古近纪断陷和新近纪拗陷两个演化阶段^[14]。断陷发育期,边界断裂活动的间歇性和活动强弱变化的周期性导致了古新近纪裂谷盆地演化的阶段性和沉积充填的多旋回性;沙河街组沉积时期以断陷作用为主,形成了多凸多凹的构造格局。

3.1 孔店—沙四段

该时期为初始断裂期,其特点是沉积范围较小,

以彼此分割的箕状断陷为单元。沉积环境为干旱炎热的亚热带气候下的较浅水湖相,沉积物为深灰色、杂色泥岩加灰白色、杂色砂砾岩,凝灰质砂砾岩,薄层灰岩和白云岩。

3.2 沙三段

该段为强烈裂陷期,基底断裂的强烈活动导致地壳拉张加剧,沉降加速,气候温暖潮湿,湖区范围迅速扩大。渤中地区的各次级凹陷彼此连通,秦南凹陷、石臼坨西南凹陷、渤东凹陷、渤中凹陷(BZ6-1井附近)、黄河口凹陷相互连通,渤中凹陷与黄河口凹陷较发育。其间的凸起,如石臼坨凸起、沙垒田凸起、渤南和庙西凸起等构成各凹陷的主要物源区。湖区主体部位为以深灰色、褐灰色泥岩、油页岩为主的深湖-较深湖沉积。边缘部位则为泥岩、油页岩与灰白色、浅灰色砂砾岩、砂岩、粉砂岩呈不等厚互层的扇三角洲-湖底扇沉积。主要的沉积体有黄河口凹陷东南湖底扇扇体群、沙垒田凸起西南湖底扇-扇三角洲扇体群、渤南凸起西南湖底扇扇体群、石臼坨凸起东南湖底扇扇体群和庙西扇三角洲扇体群(图5a)。

3.3 沙一段和沙二段

该段为裂陷扩张期,在经历了沙三段沉积末期较大规模的区域抬升以后,裂陷作用再一次发生。

该期继承了沙三四时期沉积特点,发育多个沉积凹陷和凸起区,其中主要有秦南凹陷、石臼坨西南凹陷、渤东凹陷、渤中凹陷(BZ6-1-1井附近)和沙东南凹陷。此时,边界断裂活动基本停止,边界断层上升盘的隆起幅度不大,物源有限,主要扇体为分布于石臼坨东南的湖底扇扇体、沙垒田凸起东南的扇三角洲扇体与庙西凸起附近湖底扇扇体。与沙三、四段相比,扇体相对规模较小。凸起周围发育有浅水碳酸盐台地滩坝亚相沉积。早期,气候略变干燥,沉积环境以滨浅湖相为主,沉积物为灰白、浅灰色砂岩、

含砾砂岩夹灰色、灰绿色、紫色泥岩和灰岩、白云岩、生物灰岩(沙二段)。晚期,裂隙作用加强,气候又转潮湿,湖水范围扩大,水体加深,沉积了渤海湾盆地普遍发育的“特殊岩性段”,即深灰色泥岩夹油页岩、钙质页岩、灰白色砂岩和薄层灰岩、白云岩和生物灰岩(沙一段)(图5b)。

3.4 东营组三段

渤中凹陷位于渤海湾盆地中央和郑庐断裂带内,地幔隆起最高,热沉降发生较早,沉降幅度较大,

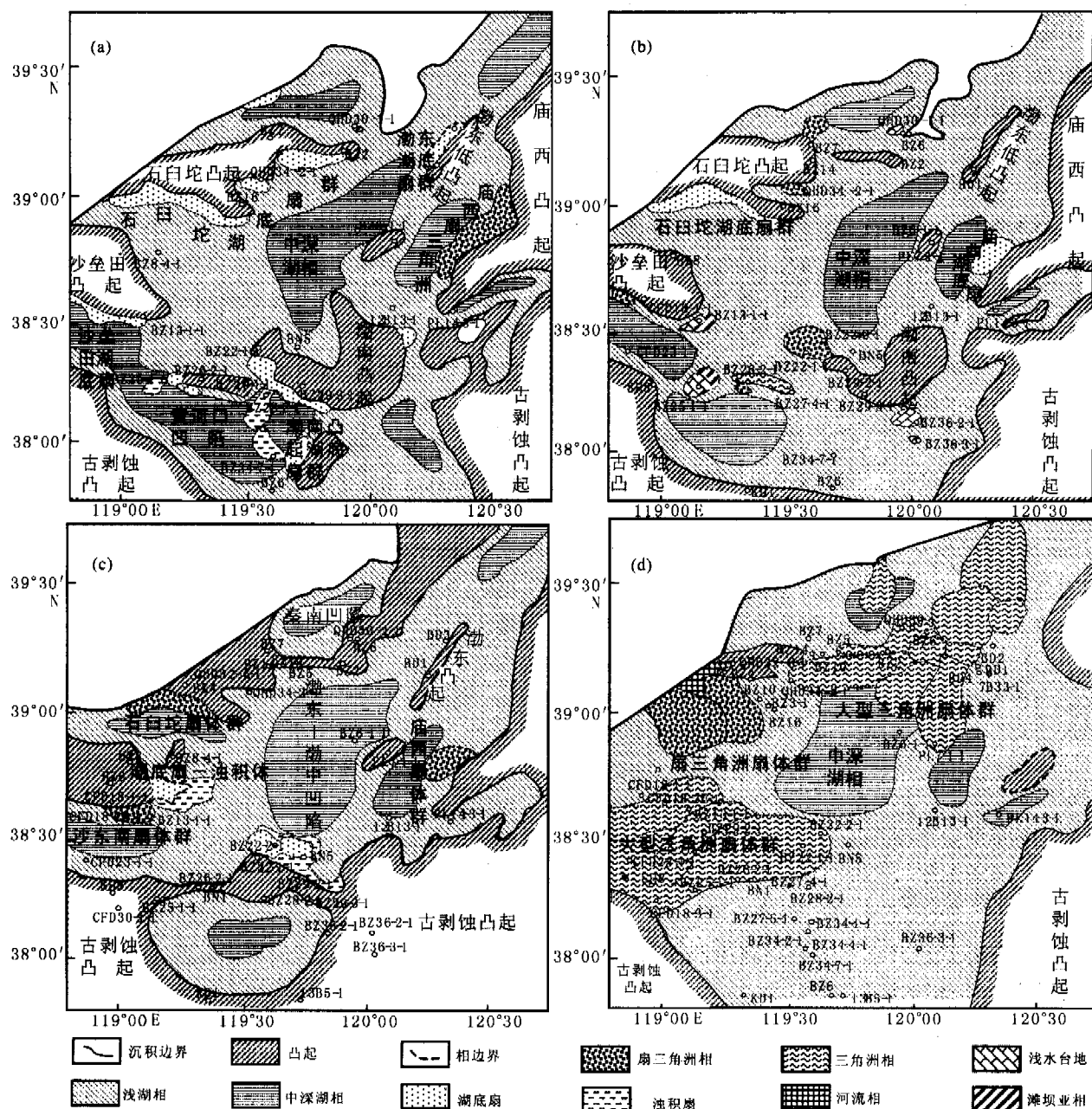


图5 渤海湾渤中凹陷古近系沉积相

(a) 渤中凹陷沙河街组三段; (b) 渤中凹陷沙河街组二段;

(c) 渤中凹陷东营组三段; (d) 渤中凹陷东营组二段

Fig. 5 Sedimentary facies map of Paleogene, Bozhong Sag

而且热沉降还受郯庐断裂右旋走滑应力场的叠加^[15]。因此,拗陷阶段盆地沉降幅度大,发育大型湖盆,沉积巨厚的东营组湖相沉积,为断陷向凹陷过渡阶段。这区别于渤海湾盆地陆上拗陷阶段沉降幅度小,沉积地层厚度不大,以河流相充填为主的特点。该期为湖盆扩张早期,湖盆范围尚小,沉积中心与深湖区继承了前期展布特点,具有较强的分割性,但分割性不如前期明显,渤中凹陷与渤东凹陷连为一体,这时沉积中心为秦南凹陷、石臼坨西南凹陷与渤东-渤中凹陷,与沙一二段相比,此时扇体规模明显变大,反映构造活动加剧,物源供给能力加强。该期沉积扇体主要分布为石臼坨扇体、沙东南扇体和庙西扇体。同时,在黄河口凹陷东南还发育较大规模的三角洲扇体(图 5c)。

3.5 东营组二段

早期湖侵作用减弱,但湖平面达到最大,各分割湖盆连为一体,在统一的湖盆中仍有 3 个沉积沉降中心,主要位于 BZ6-1-1 井一带,秦南凹陷、渤东凹陷为次级沉降中心(图 5d)。凹陷周边具有大量古水系,为三角洲提供持续的物源供给,如古滦河、古黄河水系、古漳卫新河水系(姜培海,1999)以及渤中凹陷东北部物源体系,将石臼坨凸起、埕北凸起、沙垒田凸起以及渤中凹陷东北部燕山褶皱带和胶辽隆起带的物源带入凹陷中沉积。由于古河流流量稳定,物源丰富,使大型三角洲叠覆体得以广泛存在。沉积体系由退积向进积过渡,主要沉积为三角洲沉积体系。如前所述,沉积区域有沙垒田凸起东南斜坡、埕北凸起北坡、三角洲扇体、渤中凹陷东北部大型三角洲叠覆扇体以及石臼坨凸起附近局部的扇三角洲沉积。晚期为盆地充填期,物源补给充沛,进积型三角洲相发育,主要为曲流河-三角洲-湖相沉积体系。“渤中凹陷东二段沉积时期三角洲发育时间之长、规模之大,在我国陆相湖盆中实属罕见”^[16]。

3.6 东营组东一段

由于凹陷周缘隆起区的长期剥蚀,地势变低平,湖盆受盆地外部物源的影响加强,在沙垒田凸起南部与埕北凸起之间和石臼坨凸起的东部与渤东低凸起之间发育大型三角洲沉积,随着三角洲不断推进,湖盆萎缩,凹陷逐渐填平,大部分地区为三角洲平原亚相沉积,仅在深凹区发育滨浅湖沉积,沉积体系逐渐向馆陶组盆地拗陷阶段的辫状河沉积体系过渡。沉积末期,受喜山运动影响,地壳整体抬升,地层开始遭受剥蚀夷平,形成古、新近系之间的区域性不整

合界面,从而结束古近纪断陷湖盆发育的历史。

4 物源分析

渤中凹陷位于渤海湾盆地中心,其四周主要与凸起相邻,东、南、西、北依次是渤东低凸起、渤南凸起、沙垒田凸起和石臼坨凸起,有断层相隔。在中生代燕山运动末期,本区整体抬升遭受剥蚀,基底由区域性隆起转入古新近纪裂谷发育阶段。

根据构造及沉积体系分析,在沙三沉积时期,物源主要来自石臼坨凸起、渤南和庙西凸起,顺断层及斜坡发育扇三角洲、湖底扇。该时期沙垒田凸起提供了部分物源,有少量细粒物质沿南部注入,对本区砂体展布无明显影响;沙一二段沉积时期,继承了沙三四时期沉积特点,发育多个沉积凹陷和凸起区,此时,边界断裂活动基本停止,边界断层上升盘的隆起幅度不大,物源有限,主要在石臼坨东南发育湖底扇扇群以及沙垒田凸起东南发育扇三角洲扇群;东三沉积期,为断陷向凹陷过渡阶段,盆地沉降幅度大,构造活动加剧,物源供给能力加强,物源主要来自石臼坨和沙东南凸起,沿斜坡带形成扇三角洲-湖底扇体;东二沉积期,大面积的湖侵使得本区处于浅湖-半深湖环境,渤南和庙西凸起已全部沉没于水下,凹陷周边具有大量古水系将石臼坨凸起、沙垒田凸起的物源带入凹陷中沉积,由于古河流流量稳定,物源丰富,使大型三角洲叠覆体得以广泛发育;东一段沉积期,本区基本为三角洲泥岩沉积,自身不能提供物源。

5 结论

研究认为,渤中凹陷古近系的沉积体系受构造升降和湖平面变化的控制,经历了 3 期裂陷和湖侵,发育有湖底扇、扇三角洲、三角洲、浊积扇和台地碳酸盐滩坝相 5 类沉积体系。沉积体系在垂向上具有很强的规律性,沙四-孔店沉积时期为裂陷初期,沉积较浅水湖泊相;沙三段沉积时期为强烈裂陷期,物源主要来自石臼坨凸起、渤南和庙西凸起,顺断层及斜坡发育扇三角洲、湖底扇;沙一二段沉积时期为裂陷扩张期,沉积相以扇三角洲、湖底扇为主,以及特征的滩坝及浅水台地相,此时,边界断裂活动基本停止,边界断层上升盘的隆起幅度不大,物源有限;东营组三段为湖盆扩张早期,沉积以冲积扇、扇三角洲和湖底扇为主,盆地沉降幅度大,构造活动加剧,物源供给能力加强;东二段为湖盆扩张最强时期,凹陷

周边大量古水系将石臼坨凸起、沙垒田凸起的物源带入凹陷中沉积,使得大型湖泊三角洲沉积发育;东一段为湖盆萎缩期,并为由裂陷向拗陷过渡时期,沉积远源的三角洲平原及辫状河相。

参考文献(References)

- [1] 中国石油地质志编委会. 中国石油地质志, 第十六卷(上册)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1990: 32-161. [Editing Committee of Petroleum Geology of China. Petroleum Geology of China(Vol. 16)[M]. Beijing: Petroleum Industrial Press, 1990: 32-161.]
- [2] 龚再生. 中国近海大油气田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. [GONG Zai-sheng. Large Scale of Oil and Gas Fields, Offshore of China[M]. Beijing: Petroleum Industrial Press, 1997.]
- [3] 龚再生. 中国近海含油气盆地新构造运动与油气成藏[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2004, 29(5): 513-517. [GONG Zai-sheng. Neotectonics and petroleum accumulation in offshore Chinese basins[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2004, 29(5): 513-517.]
- [4] 王涛. 中国东部裂谷盆地油气藏地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996. [WANG Tao. Geology of Oil and Gas Reservoir in Rift Basin, East of China[M]. Beijing: Petroleum Industrial Press, 1996.]
- [5] 金振奎, 邹元荣, 由伟丰, 等. 渤海湾盆地北部奥陶纪岩相古地理[J]. 沉积学报, 2002, 20(1): 13-19. [JIN Zhen-kui, ZOU Yuan-rong, YOU Wei-feng, et al. Ordovician lithofacies paleogeography of North Bohai Bay Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(1): 13-19.]
- [6] 高喜龙, 肖贤明, 赵必强, 等. 渤海湾盆地渤中凹陷下第三系烃源岩生烃史[J]. 沉积学报, 2004, 22(2): 359-364. [GAO Xi-long, XIAO Xian-ming, ZHAO Bi-qiang, et al. Petroleum generation history of Lower Tertiary source rocks from the Bozhong Depression of the Bohai Bay Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(2): 359-364.]
- [7] 张功成, 朱伟林, 邵磊. 渤海海域及邻区拉分构造与油气勘探领域[J]. 石油学报, 2001, 22(2): 14-18. [ZHANG Gong-cheng, ZHU Wei-lin, SHAO Lei. Pull-apart tectonic and hydrocarbon prospecting in Bohai Bay and its nearby area[J]. Acta Petrolet Sinica, 2001, 22(2): 14-18.]
- [8] 朱伟林, 葛建党. 渤海海域天然气勘探前景分析[J]. 石油学报, 2001, 22(2): 8-13. [ZHU Wei-lin, GE Jian-dang, et al. Gas exploration potential in offshore Bohai Bay Basin[J]. Acta Petrolet Sinica, 2001, 22(2): 8-13.]
- [9] 蔡东升, 罗毓晖, 武文来, 等. 渤海浅层构造变形特征、成因机理与渤中拗陷及其周围油气富集的关系[J]. 中国海上油气(地质), 2001, 15(1): 35-43. [CAI Dong-sheng, LUO Yu-hui, WU Wen-lai, et al. Shallow tectonic deformation and its relationship to hydrocarbon enrichment in Bozhong Depression and adjacent areas, Bohai Bay Basin[J]. China Offshore Oil and Gas(Geology), 2001, 15(1): 35-43.]
- [10] 李丽霞. 渤中地区第三系碎屑岩储层成岩作用研究[J]. 中国海上油气(地质), 2001, 15(2): 111-119. [LI Li-xia. The Diagenesis model of Tertiary sandstone reservoir in Bozhong area[J]. China Offshore Oil and Gas(Geology), 2001, 15(2): 111-119.]
- [11] 何仕斌, 朱伟林, 李丽霞. 渤中拗陷沉积演化 and 上第三系储盖组合分析[J]. 石油学报, 2001, 22(2): 38-43. [HE Shi-bin, ZHU Wei-lin, LI Li-xia. Sedimentary evolution and Neogene reservoir-seal assemblage analysis of Bozhong Depression[J]. Acta Petrolet Sinica, 2001, 22(2): 38-43.]
- [12] 赵澄林. 沉积学原理[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 87-94. [ZHAO Cheng-lin. Principle of Sedimentology[M]. Beijing: Petroleum Industrial Press, 2001: 87-94.]
- [13] 杨玉卿. 渤海湾中部南堡 35-2 地区新第三系河流沉积及油气勘探意义[J]. 古地理论, 2001, 3(4): 77-84. [YANG Yu-qing. River deposits and its significance of exploration in upper Tertiary in Nanbao 35-2 area of central part of Bohai Bay[J]. Journal of Palaeogeography, 2001, 3(4): 77-84.]
- [14] 郝芳, 蔡东升. 渤中拗陷超压—构造活动联控型流体流动与油气快速成藏[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2004, 29(5): 518-523. [HAO Fang, CAI Dong-sheng. Overpressure tectonic activity controlled fluid flow and rapid petroleum accumulation in Bozhong Depression, Bohai Bay Basin[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2004, 29(5): 518-523.]
- [15] 姚光庆, 陈红汉, 何仕斌. 渤中地区第三系储层地质特征研究[J]. 中国海上油气(地质), 2001, 15(4): 249-253. [YAO Guang-qing, CHEN Hong-han, HE Shi-bin. Geological characteristics of Tertiary reservoirs in Bozhong area[J]. China Offshore Oil and Gas(Geology), 2001, 15(4): 249-253.]
- [16] 杨香华, 陈红汉, 叶加仁, 等. 渤中凹陷大型湖泊三角洲的发育特征及油气勘探前景[J]. 中国海上油气(地质), 2000, 14(4): 225-232. [YANG Xiang-hua, CHEN Hong-han, YE Jia-ren, et al. Characteristics and exploration potential of large scale lacustrine delta in Bozhong Depression[J]. China Offshore Oil and Gas(Geology), 2000, 14(4): 225-232.]

EVOLUTION OF SEDIMENTARY SYSTEM AND ANALYSIS OF SEDIMENTARY SOURCE IN PALEOGENE OF BOZHONG SAG, BOHAI BAY

WU Lei^{1,2}, XU Huai-min¹, JI Han-cheng²

(1 Research Center of Enhanced Oil Recovery, University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2 CNPC Key Lab of Reservoir, Research Lab, University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstracts: Comprehensive research is applied to sedimentary system of Paleogene in Bozhong sag, Bohai Bay through making use of data on geology, well logging and sample testing synthetically, and the results show that sedimentary system of Paleogene is mainly controlled by structural movement and change of lake surface, and has experienced 3 phases of rift and intrusion of lake. Lower Tertiary(Paleogene) is divided into Shahejie Formation and Dongying Formation; Shahejie Formation can be divided into 4 members, namely Sha 1, 2, 3, and 4; Dongying Formation can be divided into upper Dongying member and lower Dongying member, or into 3 members, that is, Dong 1, 2, and 3. The main sedimentary facies of lower Tertiary is sublacustrine fan, fan-delta, delta, turbidite fan, beach bar and carbonate beach bar.

In Sha 4-Kongdian period, that is the beginning of rift, sedimentary facies are mainly shallow lacustrine facies; In Sha 3 period, an intensive rifting period, sedimentary facies are fan delta and turbidite fan; In Sha 2-1 period, lacustrine basin began expanding and sedimentary facies are fan delta, sublacustrine fan and clastic beach bar and shallow water platform; during Dong 3 period, that is the beginning of lacustrine basin expansion, fan, fan delta and sublacustrine fan are the main facies; during Dong 2 period, that is the expansion period of lacustrine basin, gigantic lacustrine deltas are prosperous; Dong 1 period was a shrinking period of lacustrine fan, sediments delta plain and braided river were formed, and Bozhong sag was changing from rift to depression.

Analysis of structure and sedimentary system indicated that sedimentary source of Sha 3 period was very abundant, and mainly came from Shijiutuo, Bonan and Miaoqi lobes. Sedimentary source became limited during Sha 1 and Sha 2 periods. The main sedimentary source came from Shijiutuo and Bodongnan lobes. During Dong 2 period, Bozhong sag was in the environment of shallow lake-half-deep lake because of intrusion of lake, when rich sediments were carried into the sag by ancient water systems to have large-scale fan-delta developed.

Key words: sedimentary system; sedimentary facies; analysis of sedimentary source; lower Tertiary; Bohai Bay