

黄骅拗陷沙河街组一段碎屑岩沉积特征 及构造对沉积的控制作用

张亚雄¹,董艳蕾²,成克男³,郭雷²

[1. 中国石化石油勘探开发研究院,北京 100083; 2. 中国石油大学(北京)地球科学学院,北京 102249;

3. 中国石油长城钻探工程有限公司录井国际业务项目部,北京 100101]

摘要:黄骅拗陷是渤海湾盆地内重要的含油气拗陷之一。综合运用岩心、岩性组合、沉积构造、古生物、地震等资料,对渤海湾盆地黄骅拗陷沙河街组一段沉积特征进行了研究,将黄骅拗陷古近系沙河街组一段分为沙一下($Es^{1(1)}$)、沙一中($Es^{1(2)}$)和沙一上($Es^{1(3)}$)3个三级层序、9个体系域。研究认为,沙河街组一段碎屑岩沉积主要发育辫状河三角洲、曲流河三角洲、近岸水下扇、重力流和湖泊5种沉积相类型。同时研究了各沉积相类型的沉积特征和空间展布特征。辫状河三角洲主要发育在板桥凹陷、北塘凹陷和歧口凹陷西南部,曲流河三角洲主要发育在黄骅拗陷南区和埕宁隆起东南部,近岸水下扇主要发育在陡坡大断层沧县隆起的根部,重力流主要发育在歧北凹陷深湖区。最后指出,构造演化、断层陡缓和古地貌是控制黄骅拗陷沙河街组一段碎屑岩沉积体系的主控因素。

关键词:碎屑岩沉积体系;沙河街组;黄骅拗陷;渤海湾盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Depositional characteristics and tectonic control on sedimentation of the 1st Member of Shahejie Formation in Huanghua Depression, Bohai Bay Basin

Zhang Yaxiong¹, Dong Yanlei², Cheng Kenan³, Guo Lei²

(1. Petroleum Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing, 100083, China; 2. College of Geosciences,

China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 3. Mudlogging International Department, CNPC Greatwall

Drilling Company, Beijing 100101, China)

Abstract: Huanghua Depression is one of the most important petroliferous depressions in Bohai Bay Basin. Based on core observation, lithology association, sedimentary structure, paleontology and seismic data, this paper studied the depositional characteristics of the 1st Member of Shahejie Formation in Huanghua Depression. We divided the target formation into three 3rd order sequences, namely $Es^{1(1)}$, $Es^{1(2)}$ and $Es^{1(3)}$, and nine system tracts. The results show that five facies including braided river delta, meandering delta, nearshore subaqueous fan, gravity flow and lacustrine facies develop in the 1st Member of Shahejie Formation. We also analyzed the depositional characteristics and the space distribution of each facies. The braided river delta facies distributes in Banqiao sag, Beitang sag and the southwest of Qikou sag. The meandering delta facies mainly develops in the south of Huanghua Depression and the southeast of Chengning Uplift. The nearshore subaqueous fan facies develops near the foot of the Cangxian Uplift with steep fault side. The gravity flow facies occurs in the deep lake of the Qibei sag. Tectonic evolution, steepness of fault and palaeomorphology are the main controlling factors on the clastic sedimentary system of the 1st Member of Shahejie Formation.

Key words: clastic sedimentary facies, Shahejie Formation, Huanghua Depression, Bohai Bay Basin

黄骅拗陷是新生代断陷盆地,位于燕山褶皱带以南,东以埕宁隆起与济阳拗陷和渤中拗陷相隔,西以沧县隆起与冀中拗陷相隔,整体呈南西-北东向展布、南窄北宽的构造格局,是渤海湾盆地内重要的含油气拗陷之一,面积为17 000 km²,油气勘探和开发程度较

高。黄骅拗陷在地质历史上经历了古近纪始新世裂陷初始期、渐新世裂陷扩展期、裂陷衰减期和裂-拗陷过渡期以及新近纪热沉降期和加速沉降期等构造演化发展阶段^[1-7],形成了现今隆凹相间的构造格局(图1)。钻井发现黄骅拗陷主要发育前古近纪基底、古近系孔

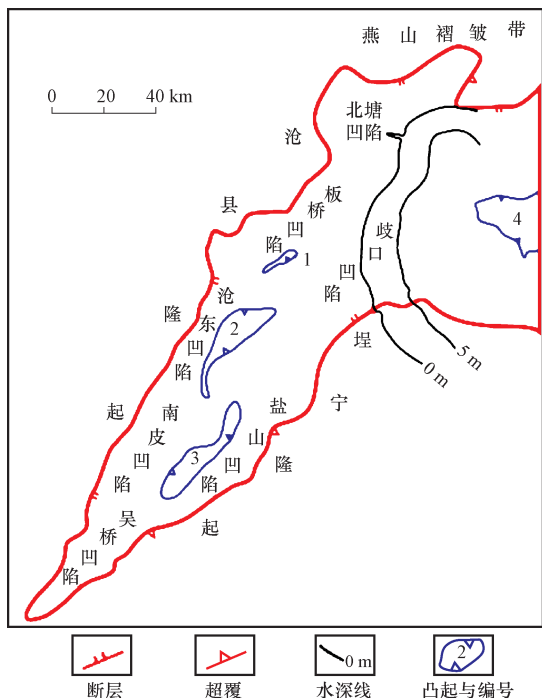


图1 黄骅拗陷构造单元图

Fig. 1 Structure units of Huanghua Depression in the Bohai Bay Basin

1. 港西凸起;2. 孔店凸起;3. 徐黑凸起;4. 沙垒田凸起

店组、沙河街组、东营组和新近系馆陶组、明化镇组及第四系沉积。

不同学者对黄骅拗陷古近系层序地层和沉积相开展过大量研究,许淑梅将歧口凹陷古近系划分为1个二级层序,6个三级层序,认为陆相盆地的单断特点控制了层序的总体特征^[8]。朱筱敏将黄骅拗陷北大港构造带沙一段划分3个沉积层序,指出主要沉积类型为扇三角洲、滨浅湖和重力流沉积^[9]。严德天将黄骅拗陷中区沙河街组划分出2个二级层序、7个三级层序,并识别出扇三角洲、湖泊三角洲、近岸水下扇、深水浊积体及湖泊5种沉积体系^[10]。赵玥对北大港东营组和沙河街组物源进行了研究,认为北大港具有多物源的特性^[11]。张琴认为黄骅拗陷沙一段物源具有北部、东部、西北部、西部和东南部5个物源区^[12]。石先滨将黄骅拗陷歧北次凹沙一下亚段划分为4个四级层序和9个五级层序,并对单个地质体进行了详细的刻画^[13]。董艳蕾将黄骅拗陷沙河街组一段下亚段混合沉积分为母源混合、相缘渐变混合、原地混合和重力流混合沉积^[14]。曾威将黄骅拗陷沙河街组一段划分为3个三级层序,并且认为拗陷内的主干断裂是控制各层序的主控因素^[15]。

前人关于黄骅拗陷沙河街组(沙一段)的沉积体系主要集中在某个区块,缺少对黄骅拗陷整体沉积体系研究,这制约了黄骅拗陷沙一段精细油气勘探。因此,十分有必要以层序地层学为理论指导,对黄骅拗陷

沙一段的沉积体系进行全面研究,阐述沉积体系类型及其分布规律,明确沉积体系的主控因素,尤其是重点分析构造对沉积的控制作用,并指出有利的岩性圈闭勘探地区。

1 研究思路及层序地层格架

本次研究运用岩心、测井曲线、地震剖面等资料,通过钻井取心段岩心精细观察,综合利用岩性组合、沉积构造、古生物等各种辅助信息,作为沉积相分析的起点和基础。通过取心段沉积相所对应的测井曲线样式进行全井分析以及地震相与沉积相的对应关系分析^[16-22],在对近60口井的岩心进行观察与描述的基础上,采用14条区域大剖面和54条总体呈NE和NW向覆盖黄骅拗陷中北区的地震剖面进行地震层序地层格架分析,将黄骅拗陷古近系沙一段分为沙一下($Es^{1(1)}$)、沙一中($Es^{1(2)}$)和沙一上($Es^{1(3)}$)3个三级层序、9个体系域(图2),在沙河街组主要识别出辫状河三角洲、曲流河三角洲、近岸水下扇、重力流、湖泊5种碎屑岩沉积相类型。同时提取了岩石颜色、岩石类型、碎屑颗粒结构、沉积构造、古生物等各种典型沉积相标志信息,另外还收集了岩心的各项分析化验数据,包括粘土矿物含量、碳酸盐含量、岩石的物性特征、胶结类型以及压汞测试等资料,而本文主要探讨黄骅拗陷沙一段碎屑岩沉积特征和主控因素。

2 碎屑岩沉积相类型及其特征

黄骅拗陷古近系沙一段碎屑岩沉积主要发育近岸水下扇、辫状河三角洲、曲流河三角洲、重力流和湖泊沉积。不同沉积体系发育于不同沉积层序中和同一沉积层序的不同构造部位上。近岸水下扇发育于陡坡大断层沧县隆起的根部,辫状河三角洲分布于黄骅拗陷中北部大部分地区,尤其是板桥凹陷、北塘凹陷和歧口凹陷西南部,三角洲沉积主要分布于黄骅拗陷南部和埕宁隆起坡度较为平缓、物源碎屑供应相对较少的东南部,重力流主要发育于歧北凹陷的深湖区,滑塌浊积扇发育于曲流河三角洲和辫状河三角洲前缘亚相的前端(表1)。

2.1 辫状河三角洲

辫状河三角洲一般发育在湖盆陡岸偏缓处,由辫状河直接入湖形成。黄骅拗陷辫状河三角洲可细分为3个次级沉积单元,即辫状河三角洲平原、辫状河三角洲前缘和前辫状河三角洲。辫状河三角洲平原和辫状河三角洲前缘的区别在于前者岩性粒度粗(砂砾岩、含砾砂岩常见)、砂体厚度大(几米至十几米)、常见水上

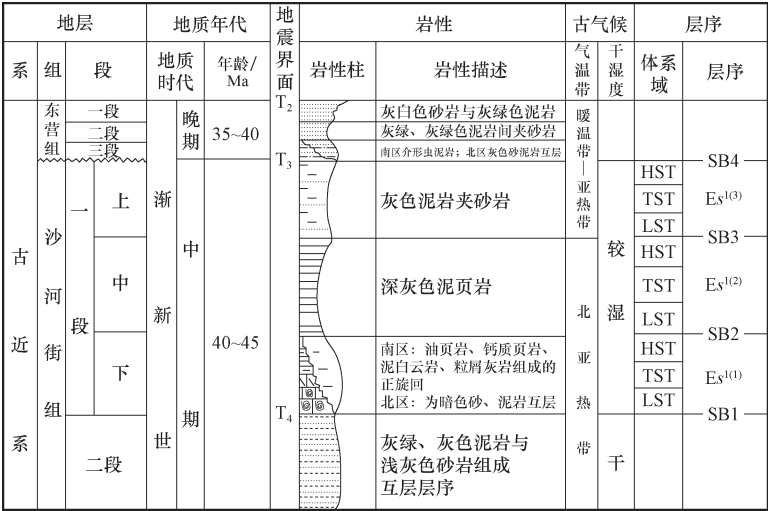


图 2 黄骅拗陷沙一段层序地层划分方案

Fig. 2 Sequence division of the 1st Member of Shahejie Formation in the Huanghua Depression

表 1 黄骅拗陷沙一段碎屑岩沉积相类型及其分布

Table 1 Clastic sedimentary facies and their distribution of the 1st Member of Shahejie Formation in the Huanghua Depression

相	亚相	微相	分布层序及位置
近岸水下扇	内扇	主水道、侧缘	沙一段各个层序,陡坡大断层沧县隆起的根部,沙一中层序北塘地区
	中扇	中扇水道和水道间	
	外扇		
辫状河三角洲	辫状河三角洲平原	分流河道、分流河道间湾	沙一段各个层序,中北部大部分地区尤其是板桥凹陷,北塘凹陷和歧口凹陷西南部
	辫状河三角洲前缘	水下分流河道、河口坝、分流河道间湾、席状砂	
	前辫状河三角洲	前辫状河三角洲泥、滑塌浊积扇	
曲流河三角洲	三角洲平原	分支河道、支流间湾	沙一段各个层序,黄骅拗陷南部埕宁隆起东南部
	三角洲前缘	水下分支河道、河口坝、支流间湾、远砂坝	
	前三角洲	前三角洲泥、滑塌浊积扇	
重力流	水道	近源水道、远源水道	沙一段各个层序,歧北凹陷的深湖区
	水道侧翼	近源水道侧翼、远源水道侧翼	
湖泊	滨浅湖	滨浅湖泥、滩坝	沙一段各个层序,黄骅拗陷大部分地区
	半深湖		

沉积的氧化色泥岩,而后者岩性粒度细(一般为中砂岩和细砂岩)、砂体厚度较小(一般小于 10 m),而且泥岩全部呈还原色。在地震剖面上辫状河三角洲主要为斜交前积地震反射结构,沿走向剖面地震反射外形为丘形地震反射结构,而内部的前积特征反映了三角洲不断的迁移(图 3)。

2.1.1 辫状河三角洲平原

辫状河三角洲平原可以识别出分流河道和分流河道间湾两种沉积微相。分流河道岩性主要为含砾砂岩、砂岩和粉砂岩,砂岩单层厚度 6~14 m,砂层在垂向剖面呈向上变细的正粒序特征。顶底均为岩性突变接触,常见冲刷面构造,岩性结构以颗粒支撑,分选与磨圆较好,泥质杂基含量少。分流河道间湾主要为暗色泥岩、粉砂岩和泥质砂岩。总体而言辫状河三角洲平原纵向上具有高砂地比,高达 70%以上

的正粒序的沉积旋回。典型代表井是庄浅 2 井,夹在砂砾岩之间的浅灰色泥岩单层厚度仅 1~6 m,泥岩总厚度 26 m,砂地比高达 78.3%。分流河道间湾沉积微相在自然电位曲线上表现为高幅箱形,微齿光滑,在电阻率曲线上为齿化钟形(图 3)。

庄浅 2 井 1 845.22~1 848.54 m 取心观察可见,上部岩性为紫红色粗砂岩,胶结较疏松,钙质含量较高,发育大型交错层理,是辫状河三角洲平原上的分流河道间湾沉积。下部岩性为褐灰色砂质泥岩,砂质分布不均匀,砂质含量由上至下逐渐减少,见水平层理和双壳类动物化石,含较多植物残片,是辫状河三角洲平原的分流河道间湾沉积(图 3)。

2.1.2 辫状河三角洲前缘

研究区辫状河三角洲前缘亚相可细分为水下分流河道、河口坝和分流河道间湾 3 种沉积微相。

相类型	辫状河三角洲		曲流河三角洲	
	平原		前缘	
	分流河道及间湾	水下分流河道及分流河道间湾	河口坝	水下分流河道及支流间湾
测井特征	庄湾2井 $E_{s^{(1)}}$ 	歧南6井 $E_{s^{(1)}}$ 	板深88-1井 $E_{s^{(2)}}$ 	歧东3-1井 $E_{s^{(3)}}$
岩心特征	无	歧南6井 3 247.3 3 249.3 3 251.3 3 253.3 深度/m	板深88-1井 3 149.17 3 150 3 151 3 152 3 153 深度/m	歧东3-1井 3 684 3 685 3 686 3 687 深度/m
粒度概率曲线特征	无	无	板深88-1井 $E_{s^{(2)}}$ 3 153.6 m 1411.71~1411.81 m	无
地震反射特征				

图3 黄骅坳陷辫状河三角洲和曲流河三角洲沉积特征

Fig.3 Depositional characteristics of braided river delta and meandering river delta in the Huanghua Depression

1) 水下分流河道

水下分流河道是辫状河三角洲平原辫状河道的水下延续部分,沉积物粒度较平原河道细,其他沉积特征与辫状河三角洲平原辫状河道相似。岩性以含砾砂岩、砾岩为主,同时也有细砂岩和中砂岩。岩性颜色较暗,单层厚度3~19 m。常见冲刷面构造、平行层理、交错层理及波状层理。自然电位曲线呈高幅度值,钟形或箱形,在本区多为指状组合,底部常为突变型,向上沉积物粒度变细,单砂体厚度减薄,具有下粗上细的正粒序结构。在粒度概率曲线表现为两段式,即滚动总体不发育,跳跃和悬浮总体发育。在测井曲线上一般表现为中高幅齿化箱形-钟形组合,底部常为突变型(图3)。歧南6井岩心观察3 122.80~3 126.90 m为灰色泥岩夹薄层钙质砂岩。3 200.59~3 204.62 m为多个呈正韵律的薄砂层纵向叠置,单层厚0.5~1.5 m,砂层底部均为冲刷面。3 247.3~3 253.8 m以灰色泥岩为主,中部夹薄层(0.3~0.9 m)钙质砂岩,呈复合韵律。

2) 河口坝

河口坝岩性为中、细砂岩,局部为含砾砂岩,向上沉积物粒度由细变粗的反韵律,颗粒分选好,磨圆好到中等,受较强水动力作用,泥质含量低,发育平行层理、微波状层理、复合韵律。板深88-1井3 149.0~3 153.2 m岩心观察显示一个完整的上部正韵律,为浅灰绿色块状含油细-中砂岩向灰色油斑含砾粗砂岩、砾岩的过渡,粒径为2~30 mm,见平行层理,下部反韵律为灰色块状含砾粗砂岩,见油斑,含钙质,粒径2~10 mm,底部为冲刷面,其下为深灰色泥岩,含粉砂质条带,见水平层理(图3)。粒度概率累积曲线表现为两段式,主要由跳跃总体和悬浮总体组成,不存在滚动组分。悬浮总体分选较差,跳跃总体坡度较陡,倾斜多在65°~70°,分选好-较好,细截点是过渡的,不是突变的,其过渡性质是河口砂坝粒度分布的最大特征。悬浮总体与跳跃总体间交截点在2.49~3.91(粒径 Φ 值)(图3)。

3) 分流河道间湾

分流河道间湾位于水下分流河道之间,其沉积主要是灰色、深灰色粉砂质泥岩和泥岩互层,发育水平层理和交错层理。

2.2 曲流河三角洲

研究区发育的曲流河三角洲主要是三角洲前缘亚相,微相类型主要包括水下分支河道、河口坝、支流间湾、席状砂和远砂坝等。在顺水流方向地震剖面上可见前积地震反射结构,而垂直水流方向可见地震反射结构为透镜状。

2.2.1 水下分支河道

水下分支河道为陆上分支河道的水下延伸部分。

岩心观察可见上部为浅灰色、灰绿色泥晶结构泥灰岩与浅灰色粉砂岩、生屑砂岩的互层,生物碎屑丰富,砂岩单层厚度0.7~1 m,沉积物主要以砂和粉砂岩为主,可见板状交错层理、波状层理、平行层理、块状层理及冲刷构造(图3)。粒度概率图可以看出,粒度概率累积曲线呈两段式,由悬浮总体和跳跃总体组成,曲线形态与辫状河三角洲前缘水下分流河道类似,但是明显粒度偏细,跳跃总体斜角大(60°~70°),分选好,含量为50%~60%,悬浮总体斜角小,悬浮总体含量为10%~30%。电测曲线呈钟形和或箱型以及微齿状形态(图3)。

2.2.2 河口坝

河口坝位于水下分支河道的河口处,沉积速率最高。受潮水和河水的冲刷和筛选作用,使泥质沉积物被带走,砂质沉积物被保存下来,故河口坝沉积物主要由分选好、质纯的中细砂和粉砂岩组成,发育槽状交错层理,成层厚度为中、厚层,可见水流波痕和浪成摆动波痕。

歧东3-1井岩心观察见分选好的细砂和粉砂岩组成,发育脉状层理、波状交错层理、变形层理、包卷层理,砂岩厚度总体比较小,电测曲线具有漏斗形,垂向上具有典型的下粗上细的反韵律沉积序列,为典型的河口坝沉积(图3)。

2.3 近岸水下扇

黄骅坳陷沙一段近岸水下扇岩性以粗碎屑沉积为主,岩性为浅灰色泥岩夹杂色含砾砂岩、砂砾岩、砂岩和粉砂岩,砂砾岩和含砾砂岩单层厚度多在6~8 m,单层最大厚度达32 m,纵向上均表现为正韵律,自然电位曲线为较平缓的箱状,电阻率曲线为锯齿状箱形、漏斗形,反映了近岸水下扇沉积类型。地震反射特征主要为分布在断层根部或凸起周边的杂乱、楔状反射特征。近岸水下扇沉积亚相类型包括内扇、中扇和外扇,中扇是扇体的最主要部分,为水下辫状水道分布区,主要岩性是含砾砂岩和砂岩,与少量泥质夹层组成正韵律,底部具冲刷面,显交错和块状层理。外扇亚相以浅灰色、褐灰色泥岩为主,夹薄层粉细砂岩,一般为几十米的厚层,粒序不明显(图4)。

2.4 重力流

根据沉积序列、砂体形态和形成机理的初步分析,研究区内古近系所见重力流沉积主要为重力流水道沉积和滑塌浊积扇。

2.4.1 重力流水道

重力流水道砂体是指由重力流或浊流在湖盆内的

断凹或沟槽中所形成的带状碎屑砂体,其在垂直重力流流向的沉积剖面上呈顶平底凸的透镜体,与下伏湖盆泥岩为侵蚀突变接触。重力流水道砂体在沙河街组一段各层序中均有发育,分布位置主要局限于歧北凹陷的北大港构造带。

在宏观上,深水重力流水道砂体主要为灰黑色泥岩中夹块状或具递变层理的砂岩,砂岩层组厚度一般为30~50 m。岩心观察见变形构造、泄水构造、火焰构造以及泥岩撕裂屑。自然电位曲线呈中低幅箱形,电阻率曲线呈中高幅齿化箱形或菱形。

重力流沉积岩性主要浅灰色细砂岩夹少量灰色泥质砂岩,见平行层理、交错层理、脉状层理、变形层理以及火焰构造,局部富集有炭屑,可达层面的60%,常见撕裂状泥砾,直径为0.5~2 cm。重力流水道粒度概率曲线最重要的特点是曲线逐渐过渡,形成一个很大的过渡带,粒度范围分布很广,分选差,反映重力流沉积物以悬浮和递变悬浮载荷搬运为主,C-M图为一近平行于C=M基线的长条形(图4)。

2.4.2 滑塌浊积扇

沙一段沉积时期是湖盆发育期,盆缘尤其是北部物源活跃,湖盆沉降深,坡降大,近岸水下扇、辫状河三角洲、三角洲前缘沉积物发生滑塌,沿沟谷凹槽向湖盆中心迁移,形成深水密度流浊积体。从沉积背景上看,滑塌浊积扇分布于湖盆内深水或较深水的凹陷区,在沉积剖面上则表现为大段暗色泥岩中夹一套砂泥岩频繁互层的韵律层系,其砂体平面呈扇形体分布,在地震剖面上为透镜状。如歧108井Es¹⁽³⁾中泥岩厚度78 m,岩性为大套深灰色泥岩、砂质泥岩、油页岩,其中夹1~2 m滑塌浊积扇砂岩,总体上表现为反韵律。大套泥岩的自然电位曲线为微齿漏斗状,而电阻率曲线在细砂岩对应井段出现尖峰,电阻率数值有较明显的增高(图4)。

2.5 湖泊

黄骅拗陷沙河街组一段湖泊沉积可以进一步细分为滨浅湖、半深湖沉积,在地震上可见平行及亚平行的席状地震反射特征。

2.5.1 滨浅湖

滨浅湖沉积主要发育在盆地缺乏进积水流的缓坡带部位,以波浪作用为主,岩性主要由浅灰色、灰色和灰绿色块状泥岩和浅灰色粉细砂岩构成,夹褐色白云质灰岩,常见鱼化石,发育波状交错层理,在伽马曲线表现为低幅度锯齿状,无明显的韵律性(图4),沉积相类型为滨浅湖沉积,粒度概率曲线也成两段式。滨浅

湖中还发育滩坝亚相,它的特征是砂泥岩间互,电测曲线上表现为反韵律,平行湖岸分布。

2.5.2 半深湖

半深湖指位于正常浪基面以下,风暴浪基面以上的湖底范围,属缺氧的弱还原-还原环境。岩性以褐灰色灰质页岩为主,页岩的层理面非常发育,沿层理面易剥开,见较多植物残屑,常见鱼类的骨刺化石和植物的茎、叶化石,由于钙质含量在不同部位有所不同,导致了页理具有不同的颜色(图4)。

3 沉积体系空间展布特征

黄骅拗陷沙一段碎屑岩沉积主要发育辫状河三角洲、曲流河三角洲、近岸水下扇、重力流、湖泊沉积。沙一段各层序均在黄骅拗陷陡坡发育辫状河三角洲和近岸水下扇,在拗陷缓坡发育曲流河三角洲和辫状河三角洲沉积,在拗陷内部发育重力流沉积,在内部凸起四周可见小型的近岸水下扇和滨浅湖滩坝沉积(表1;图5)。

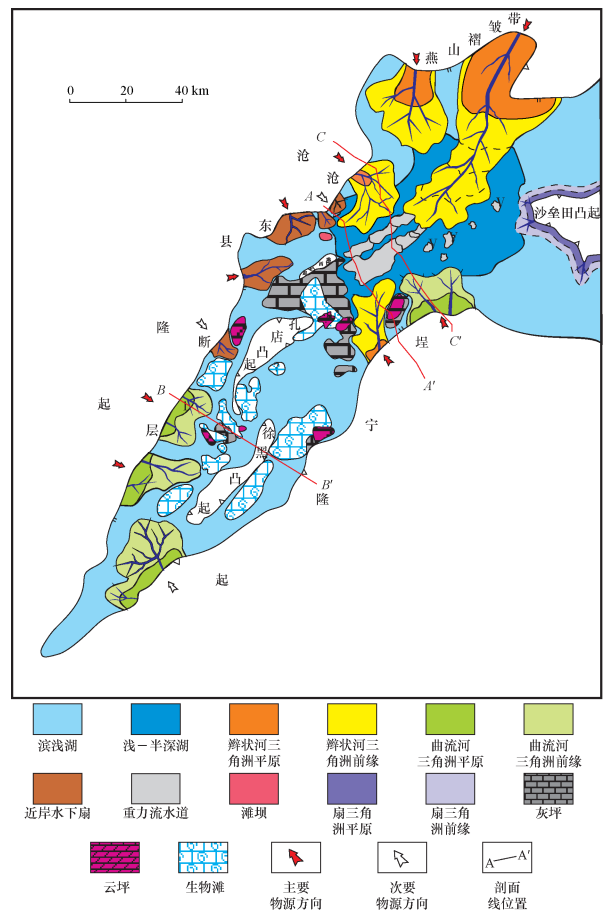


图5 黄骅拗陷沙一段沉积体系分布

Fig. 5 Depositional system distribution of the 1st Member of Shahejie Formation in the Huanghua Depression

在板桥凹陷、北塘凹陷和歧口凹陷西南部主要发育辫状河三角洲,黄骅拗陷南区和埕宁隆起东南部主要发育曲流河三角洲沉积,陡坡大断层沧县隆起的根部主要发育近岸水下扇,歧北凹陷的深湖区主要发育重力流。在纵向演化上,辫状河三角洲、曲流河三角洲、近岸水下扇、滨浅湖滩坝在纵向上具有继承性,重力流沉积出现发育-萎缩-发育的演化特点。

4 构造对碎屑岩沉积体系演化控制作用

4.1 构造控制碎屑岩沉积体系的演化

黄骅拗陷在地质历史上经历了古近纪始新世裂陷

初始期、渐新世裂陷扩展期、裂陷衰减期和裂-拗陷过渡期以及新近纪热沉降期和加速沉降期等构造演化发展阶段,反映出断裂活动呈弱-强-弱,拉张速度呈低-高一低,沉积出现分割-统一,水域呈小-大-小的变化特征(图6)。

在古近系沙三段(E_s^3)沉积时期,整个拗陷开始大规模的裂陷活动,从南到北水平拉张明显,沉降幅度大,主要沉降区为中北区,形成了沧东-板桥、歧口、北塘等一系列单断箕状凹陷,结束了孤立小型凹陷的初始断陷阶段,逐步形成北东走向的连通湖盆。该时期主要物源来自燕山褶皱带和埕宁隆起,地形高差大,在拗陷陡坡形成近岸水下扇沉积,在缓坡为扇三角洲沉积,扇三角洲前缘继续向深湖区提供碎屑物质,形成

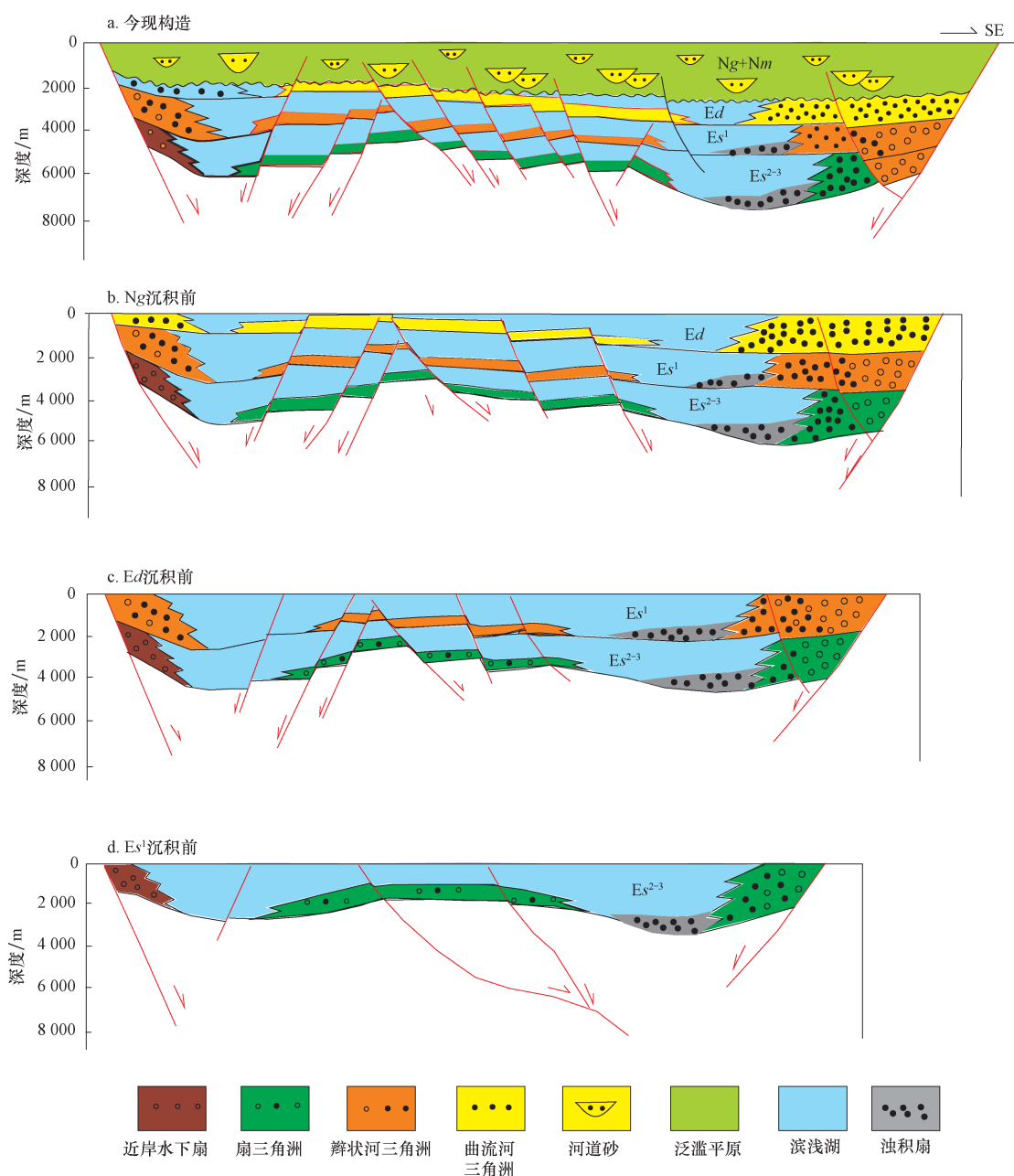


图6 黄骅拗陷构造-沉积演化剖面示意图

Fig. 6 Tectonic-sedimentary evolution of the Huanghua Depression

重力流沉积。至沙二段(E_s^2)、沙一段(E_s^1)沉积时期,凹陷形态由不对称的箕状,逐渐变成对称的碟状,断陷活动进入稳定的发展阶段。中北部地区由于受边界断层活动的影响,沉积厚度大,陆源碎屑物质供给极为丰富,沉积相类型丰富多彩,陡缓断层根部主要发育辫状河三角洲沉积,局部发育三角洲、近岸水下扇和深水重力流沉积。至东三段(E_d^3)沉积时期,断陷活动进一步减弱,区域构造进入上升阶段,湖盆收缩,水体变浅,沉积速度大于沉降速度,最终导致整体上升,遭受剥蚀,形成古近系与新近系之间的区域不整合,主要为三角洲沉积。新近系馆陶组(N_g)和明化镇组(N_m)沉积时期,由古近系的断陷沉积转为新近系的坳陷沉积,辫状河和曲流河沉积发育,展现出河流横溢、百川分流的沉积特征。

4.2 断层陡缓控制碎屑岩沉积类型及展布

沧东断层是控制黄骅坳陷古近系断陷盆地构造西部的主干边界伸展断层,对沉积具有明显的控制作用。通过对沧东断层的精细分析,发现该断层在坳陷南区产状较缓,在坳陷中区产状较陡,不同地区断层的陡缓可以控制不同的沉积相类型。在断层产状较陡($>60^\circ$)的中区,沉积物在断层根部快速卸载,搬运距离较近,发育近岸水下扇沉积(图7a);而在断层产状较缓($<30^\circ$)的南区,沉积物可以向湖区搬运较长距离,多发育曲流河三角洲沉积(图7b);在坡度介于 $30\sim60^\circ$ 的坳陷北区,多发育辫状河三角洲沉积(图7c)。

4.3 古地貌控制碎屑岩沉积体系的分布

黄骅坳陷的沉积体系的发育可以用“源沟控砂”四个字来概括,即物源方向和古地貌控制砂体的展布。研究区存在3个外部物源区(燕山褶皱带、沧县隆起和埕宁隆起)和2个内部物源区(港西凸起、孔店凸起)。受燕山褶皱带的粗碎屑物质控制,北塘地区发育了冲积扇-辫状河三角洲-重力流的沉积体系。而西部沧县隆起和北部燕山褶皱带物源共同控制板桥地区的沉积,其发育了大面积的辫状河三角洲沉积体系。歧口凹陷主要受埕宁隆起物源区的控制,发育辫状河三角洲-曲流河三角洲-滑塌浊积扇沉积体系。沧东和南皮凹陷受控于西部沧县隆起的物源区,在局部地区发育曲流河三角洲沉积体系,同时因为黄骅坳陷中南部地区陆源碎屑物质供应不很充分,因此在该区发育碳酸盐岩沉积。在构造沉降较大的坳陷内部发育滨浅湖、浅-半深湖沉积。由于在盆地整个裂陷期同沉积构造的不断活动,无论是盆地规模或局部区带的沉积地貌、沉积物分散体系及沉积相的发育分布都受到古构

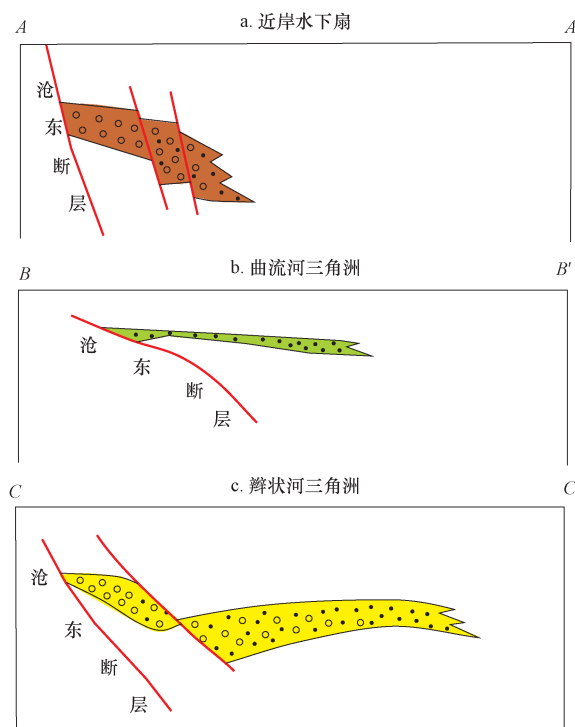


图7 断层产状对黄骅坳陷沙一段沉积相的控制作用示意图(剖面位置见图5)

Fig. 7 Control of fault on sedimentary facies of the 1st Member of Shahejie Formation in the Huanghua Depression (profile location see Fig. 5)

造或同沉积构造的制约,尤其是重力流沉积的分布主要受沟道的控制。

5 结论

1) 黄骅坳陷沙一段主要发育辫状河三角洲、曲流河三角洲、近岸水下扇、重力流和湖泊5种碎屑岩沉积相类型。

2) 在板桥、北塘和歧口凹陷西南部主要发育辫状河三角洲,黄骅坳陷南区 and 埕宁隆起东南部主要发育曲流河三角洲沉积,陡坡大断层沧县隆起的根部主要发育于近岸水下扇,歧北凹陷的深湖区主要发育重力流。

3) 构造演化、断层陡缓和古地貌是控制黄骅坳陷沙一段碎屑岩沉积体系分布的主控因素。构造演化决定沉积体系的演化,断层陡缓控制岩沉积类型及展布,古地貌控制沉积体系的分布。

参考文献

- [1] 大港石油地质志编辑委员会. 中国石油地质志(卷四):大港油田[M]. 北京:石油工业出版社,1991.
Petroleum Geology Editorial Committee of Dagang Oilfield. China Petroleum geology series(4):Dagang Oilfield[M]. Beijing: Petroleum Industry Press,1991.
- [2] 大港油田科技丛书编委会. 第三系石油地质基础[M]. 北京:石

- 油工业出版社, 1999.
- Science and Technology Editorial Committee of Dagang Oilfield. Petroleum geologic basis of Tertiary [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999.
- [3] 大港油田科技丛书编委会. 勘探历程与经验 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1999.
- Science and Technology Editorial Committee of Dagang Oilfield. Exploration history and experience [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999.
- [4] 王子煜, 漆家福, 陆克政. 黄骅坳陷东部构造带新生代构造沉降史分析 [J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(2): 127-129.
- Wang Ziyu, Qi Jiafu, Lu Kezheng. Analysis of Cenozoic tectonic subsidence history of the east tectonic belts in Huanghua Depression [J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(2): 127-129.
- [5] 漆家福, 杨池银. 黄骅盆地南部前第三系基底中的逆冲构造 [J]. 地球科学 (中国地质大学学报), 2003, 28(1): 54-60.
- Qi Jiafu, Yang Chiyin. Thrust structure developed in pre-Tertiary basement in south area of Huanghua Basin [J]. Earth Science-Journal of China University of Geoscience, 2003, 28(1): 54-60.
- [6] 王德发, 张服民, 孙永传, 等. 黄骅坳陷第三系沉积相及沉积环境 [M]. 北京: 地质出版社, 1987.
- Wang Defa, Zhang Fumin, Song Yongchuan, et al. Sedimentary facies and environment of Tertiary in Huanghua Depression [M]. Beijing: Geology Press, 1987.
- [7] 郑浚茂, 于兴河, 谢承强, 等. 不同沉积环境储层的层内非均质性——以黄骅坳陷为例 [J]. 现代地质, 1995, 9(4): 501-508.
- Zheng Junmao, Yu Xinghe, Xie Chengqiang, et al. Reservoir homogeneity with different sedimentary environment—a case from Huanghua Depression [J]. Geoscience, 1995, 9(4): 501-508.
- [8] 许淑梅, 翟世奎, 李三忠, 等. 歧口凹陷滩海区下第三系层序地层分析及沉积体系研究 [J]. 沉积学报, 2001, 19(3): 363-367.
- Xu Shumei, Qu Shikui, Li Sanzhong, et al. An analysis on sequence stratigraphy and sedimentary system of Early Neocene in Qikou Sag [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(3): 363-367.
- [9] 范乐元, 朱筱敏, 宋琨, 等. 黄骅坳陷北大港构造带古近系沙河街组高分辨率层序地层格架及其对储层非均质性的控制 [J]. 地层学杂志, 2005, 29(4): 354-361.
- Fan Leyuan, Zhu Xiaomin, Song Kun, et al. High-resolution sequence-stratigraphic framework and its control on the reservoir heterogeneities of Beidagang Tectonic Belt in Huanghua Sag [J]. Journal of Stratigraphy, 2005, 29(4): 354-361.
- [10] 严德天, 王华, 王家豪, 等. 黄骅坳陷沙河街组层序地层样式及隐蔽圈闭预测 [J]. 中国矿业大学学报, 2008, 38(1): 30-35.
- Yan Detian, Wang Hua, Wang Jiahao, et al. Sequence stratigraphic pattern and forecast of Subtle reservoir of the Shahejie Formation in Huanghua Depression [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2008, 38(1): 30-35.
- [11] 赵玥, 王亚辉, 张娣. 北大港东营组 and 沙河街组物源分析 [J]. 内蒙古石油化工, 2009, 19: 133-134.
- Zhao Yue, Wang Yahui, Zhang Di. Provenance analysis of the Shahejie Formation and the dongying Formation in Beidagang [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2009, 19: 133-134.
- [12] 张琴, 朱筱敏, 董艳蕾, 等. 黄骅坳陷沙一段物源分析及地质意义 [J]. 油气地质与采收率, 2009, 16(6): 8-11.
- Zhang Qin, Zhu Xiaomin, Dong Yanlei, et al. Analysis of sediment provenance and its geological significance in the first member of Shahejie Formation, Huanghua Depression [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2009, 16(6): 8-11.
- [13] 石先滨, 李红香, 黄传炎, 等. 黄骅坳陷歧北次凹古近系沙一下亚段地质体精细刻画 [J]. 大地构造与成矿学, 2010, 34(4): 536-544.
- Shi Xianbin, Li Hongxiang, Huang Chuanyan, et al. Study on the geological bodies in the lower Part of the First Member of the Paleogene Shahejie Formation in the Qibei Sub sag in the Huanghua Depression [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2010, 34(4): 536-544.
- [14] 董艳蕾, 朱筱敏, 滑双君, 等. 黄骅坳陷沙河街组一段下亚段混合沉积成因类型及演化模式 [J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(1): 98-107.
- Dong Yanlei, Zhu Xiaoming, Hua Shuangjun, et al. Genetic types and evolutionary model of mixed clastic-carbonate deposits in the lower part of the Sha-1 Formation, the Huanghua Depression [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(1): 98-107.
- [15] 曾威, 滑双君, 成克男, 等. 黄骅坳陷古近系沙一段层序地层格架 [J]. 石油天然气学报, 2012, 34(3): 7-11.
- Zeng Wei, Hua Shuangjun, Cheng Kenan, et al. Sequence stratigraphic framework in the 1st Member of Shahejie Formation of Huanghua Depression [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2012, 34(3): 7-11.
- [16] 胡耀军, 陈昭年, 刘伟兴, 等. 大港滩海区沙一段下部重力流水道沉积特征分析 [J]. 断块油气田, 2012, 9(1): 18-22.
- Hu Yaojun, Chen Zhaonian, Liu Weixing, et al. Analyses of sedimentary features of gravity flow channel sand body in seabeach of Dagang Oilfield [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2012, 9(1): 18-22.
- [17] 张亚雄, 朱筱敏, 张功成, 等. 中国南海琼东南盆地渐新统陵水组沉积特征 [J]. 天然气地球科学, 2013, 24(5): 956-964.
- Zhang Yaxiong, Zhu Xiaomin, Zhang Gongcheng, et al. Sedimentary characteristics of Oligocene Lingshui Formation in Qiongdongnan Basin, South China Sea [J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24(5): 956-964.
- [18] 董艳蕾, 朱筱敏, 李洋, 等. 黄骅坳陷沙一段沉积体系研究 [J]. 石油天然气学报 (江汉石油学院学报), 2011, 33(4): 1-6.
- Dong Yanlei, Zhu Xiaomin, Li Yang, et al. Research on Es1 sedimentary system in Huanghua Depression [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2011, 33(4): 1-6.
- [19] 朱筱敏. 沉积岩石学 (第四版) [M]. 北京: 石油工业出版社, 2008.
- Zhu Xiaomin. Sedimentology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008.
- [20] 张亚雄, 朱筱敏, 陈欢庆, 等. 琼东南盆地渐新统陵水组坡折带类型及层序地层样式 [J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(4): 473-479.
- Zhang Yaxiong, Zhu Xiaomin, Chen Huanqing, et al. Slope-break types and sequence stratigraphic styles of the Oligocene Lingshui Formation in Qiongdongnan Basin, South China Sea [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(4): 473-479.
- [21] Vail P R, Mitchum Rm J, Thompson S. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part3: Relative changes of sea level from cosastal onlap, [J]. AAPG Memoir, 1977, 26: 63-81.
- [22] Vail P R. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy, part 1: seismic stratigraphy interpretation procedure [J]. AAPG Studies in Geology, 1987, 27: 1-10.

(编辑 张亚雄)