

文章编号:1009-2722(2015)05-0008-07

北黄海盆地东部拗陷西北区 新近系河道—扇体沉积体系识别

杜 民,刘金萍,王改云

(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,广州 510075)

摘 要:以沉积学基本原理为指导,借助三维地震资料,综合相干技术和属性提取技术对北黄海盆地东部拗陷西北区的沉积体进行了识别。精细刻画了新近系底部砾岩之上河道—扇体沉积体系的平面及剖面特征,从而建立了河道—扇体沉积古环境展布图。研究表明:河道—扇体沉积期,来自西北部的物源在研究区的平缓地势下持续演化形成了稳定曲流河。河道上游下切深度大、侧向迁移不明显;中游下切深度小、侧向迁移距离大,点坝及废弃河道等发育;下游段单河道变为两个或多个并置,主河道数增加。河流的末端逐渐向片流转化从而堆积形成了类似末端扇的沉积。该河流—扇体沉积体系的发现,证明研究区存在持续一定时间的暴露性沉积间断,沉积古环境由原地或近原地堆积的近源冲积沉积转变为典型的远源曲流河道—扇体沉积,为今后环境地质研究提供佐证。

关键词:东部拗陷;河道—扇体;沉积体系;沉积间断;沉积古环境

中图分类号:P736.12

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2015.05002

现代地震精确成像技术的出现为地下沉积体及古地貌研究提供了前所未有的手段。河道地震响应的水平展布尺度远远大于垂向厚度尺度^[1],借助高精度地震数据体及属性体的切片易于对其进行研究^[2]。近年来地震勘探技术的迅速发展使得应用3D地震数据体及其属性的平面成像特征研究地下沉积体系的形态和演化成为可能^[3]。将沉积学的基本原理与最新地球物理技术相结合,有助于实现对古沉积更准确全面的认识。因此,本文以地震资料为基础,以沉积学为理论指导,以地震切片技术、属性提取和精细解释为手段,识别了研究区的古河道—扇体,并对其沉积特征及地质意义进行了阐述。

1 区域地质

北黄海盆地位于北黄海海域,是发育于中朝板块东部隆起上的中、新生代盆地^[4],基底为前寒武系结晶岩系和古生界未变质—浅变质岩,可进一步划为东部拗陷、中央隆起、中部拗陷、中西部隆起、西部拗陷和南部凹陷群等6个二级构造单元^[5](图1a)。其中,东部拗陷又可细分为“三凹四隆”7个次级单元(图1b),其内地层主要为上侏罗统、下白垩统、始新统、渐新统和新近系—第四系。研究区位于东部拗陷中部凹陷的西部,是三维地震覆盖的区域,面积约70 km²。

东部拗陷的演化分为晚侏罗世—早白垩世裂陷、晚白垩世—古新世构造反转、始新世—渐新世裂陷、晚渐新世—早中新世构造反转及中中新世—第四纪区域沉降5个阶段^[6]。中新世早期,盆地基本处于隆起剥蚀与准平原化状态,未接受

收稿日期:2015-01-30

基金项目:国家自然科学基金项目“北黄海盆地构造热机制与成烃效应”(41302100)

作者简介:杜 民(1985—),男,硕士,工程师,主要从事海洋石油地质调查工作。E-mail:dumin.0120@163.com

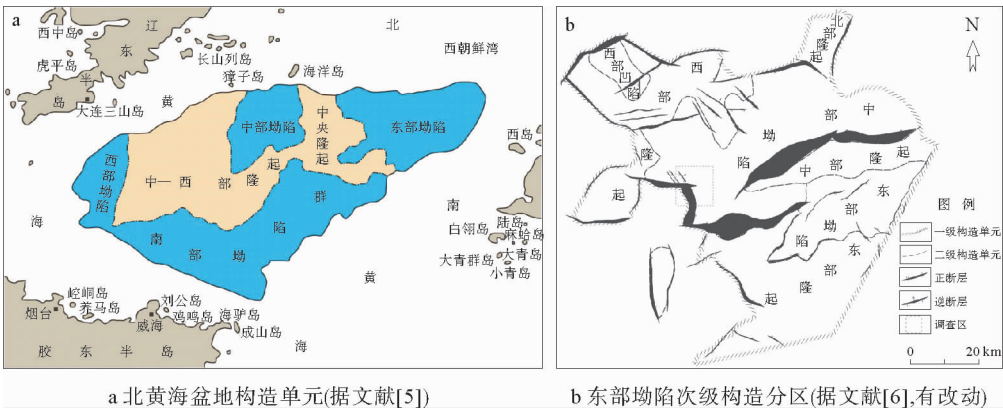


图 1 北黄海盆地构造单元及东部坳陷构造区划

Fig. 1 Tectonic units of the North Yellow Sea Basin and tectonic map of the Eastern Depression

沉积。直到中新世中期—上新世,由于岩石圈热衰减而发生重力均衡调整,进入区域沉降阶段,主要形成了广湖相和三角洲相沉积,以填平补齐为特点。该阶段早期形成了一套区域上广泛分布的底砾岩,其上为砂岩、含砾砂岩夹泥岩为主的沉积。第四纪,北黄海区域发生广泛海侵,形成了一套陆架滨—浅海相稳定沉积。本文研究对象即为紧邻底砾岩之上的层段。

2 沉积体识别

三维地震数据体可揭示古沉积环境、古沉积体甚至地层的充填特征。合理结合相干技术与地震的振幅类属性能够最大限度地消除噪音和其他无效信息的干扰^[7-9]。鉴于区内缺乏钻井地质资料,主要依靠地震数据体来实现地下地质体的刻画。基于高分辨率 3D 地震数据,应用相干技术、属性分析等手段,针对研究层段的沉积体系进行了识别。

2.1 相干技术

相干切片技术是地震解释中广泛应用的方法,它通过比较局部地震波形、相位的相似性,重新计算了道间能量,增大了地震反射的差异强度,使断层、古河道等在地震体中可以更清晰的展现^[10]。Posamentier 等^[11]凭借此技术完成了墨西哥湾某区块曲流河的清晰成像,从而形成了地震数据体内河道识别的最成熟手段。本研究以相干运算生成三维相干地震数据体,随后在其水平切片

的 560~640 ms 之间发现了河流成像特征,发育层段为新近系底部砾岩层之上的地层。尽管古河道的成像在中游的曲流段较为清晰,但上游仅隐约可见,下游基本模糊不清(图 2a)。显然,仅利用相干体完成整个古河道的识别势必十分困难。

2.2 属性分析

振幅属性反映了波阻抗的变化,而波阻抗的变化是由于沉积相的横向变化引起。因此,振幅图像可以显示沉积体系的可视化外形,甚至是沉积体系内某个沉积要素的形态(河道充填或礁体结构)。本次研究通过对多种振幅属性进行优选,认为均方根振幅属性对沉积体系具有更清晰的反映(图 2b)。研究区振幅属性图内上游河道模糊不清,但中部的蛇曲段河道成像清晰,且往下游方向转变为断续或彼此相交的河道,再往下游则演变为均一的、片状分布的沉积体,可能为河流末端发育的扇形沉积体。

3 典型沉积单元地震相特征

在研究区底部砾岩沉积之上,识别出了河道以及其末端的沉积扇体。该河道—扇体形成于底砾岩沉积后的暴露性沉积间断期,古地貌及物源较前期发生改变,各个沉积单元表现出特有的地震相特征。

3.1 河道

河道底部在地震剖面上多显示为较粗的下凹

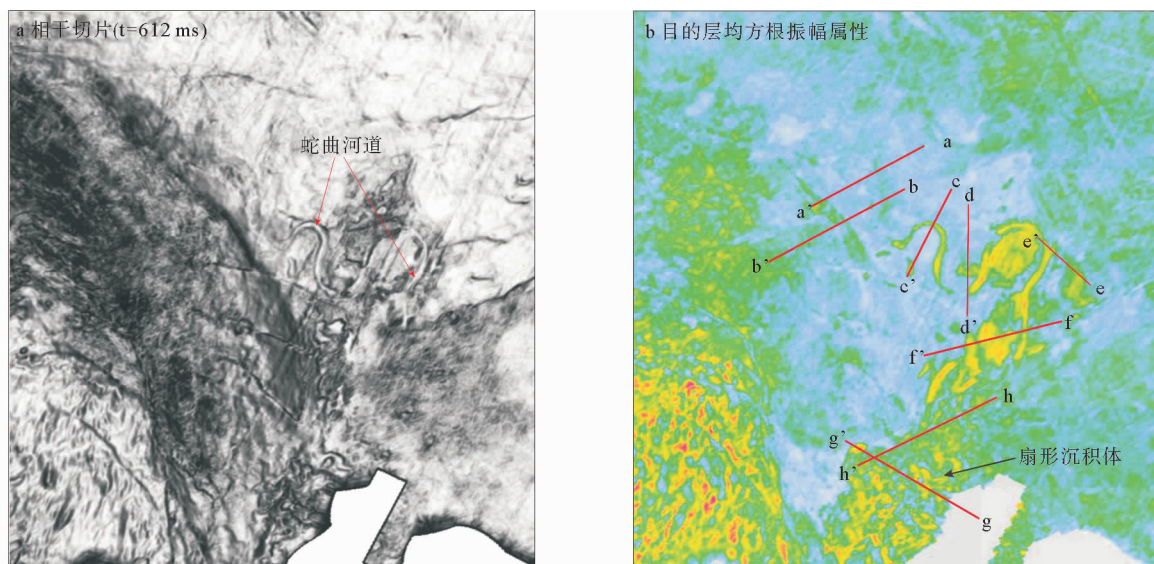


图 2 东部坳陷西北区相干切片及属性特征

Fig. 2 Characters of a coherence slice and attributes in the northwest area of Eastern Depression

红轴,若多期河道叠置,则晚期河道呈现为短粗的强弱反射轴叠置。总体表现为强振幅反射,明显比周围地层强,内部强弱振幅交替特征显著,此类强反射乃粗砂与细砂(或者泥)的反射界面,粗细粒沉积的纵向有规律叠置,反映了河道所经历的持续侵蚀与充填过程。

上游上部的河道横截面上,其形态为底部狭窄的“U”字形,但下切深度较大,已接近底砾岩的下部,最深可达 50 m(图 3a)。往上游下部,剖面上河道呈底部宽缓的“U”字形,下切深度急剧减小,但侧向迁移距离略增(图 3b)。

中游可见 3 段典型的蛇曲,各段长度均超 1 500 m,往下游弯曲度逐渐递增。蛇曲河道深度一般在 30 m 左右,且可见明显的河道侧向迁移现象(图 3c),反映了曲流段河道的频繁摆动。由于位于北半球,河道中弯道环流在右侧沉积时叠加了科里奥利力的效应^[12],故在该凸岸处明显可见反射轴侧向叠加并呈不规则的叠瓦状。

下游的河道发生转向,剖面上呈现双河道并置的紧凑或宽缓的“W”字形(图 3f),指示河道发生了分叉现象。由于河道的交织,其宽度有所增加,可达 200~300 m,但下切深度浅,一般在 20 m 左右。

3.2 废弃河道

地震剖面上表现为明显强弱振幅的叠加,但反射轴呈平行一近平行状,同时见稍下凹的特征(图 3c)。由于河道在发育过程中,地貌上表现为明显的下凹地形,随着弯曲度逐渐增加,因突然的特大洪水导致了河道的截弯取直,形成了废弃河道^[13]。该沉积单元底部残留有粗粒度沉积,之后为细粒度的越岸沉积所覆盖,剖面可见下部砂体呈长条透镜状,上部细粒度沉积则表现为不规则断续状。废弃河道与后期河道之间有明显的堤岸相隔。研究区振幅属性平面上清晰可见 2 段短弧状分布的废弃河道,它们各自长约 300 m、宽约 130 m(图 2b)。

3.3 点坝

点坝又称“边滩”或“内弯坝”,为曲流河“二元结构”的主体,也是与其他类型河流相区别的关键特征。图 3c 中明显可见河道内部反射轴的侧向叠置,这反映了沉积物侧向加积的沉积过程,即典型的点坝沉积。但大多数点坝在地震剖面上仅表现为较粗的反射轴(图 3d),这可能由于点坝中的侧积砂—泥层排列紧密而使得地震无法分辨所致。

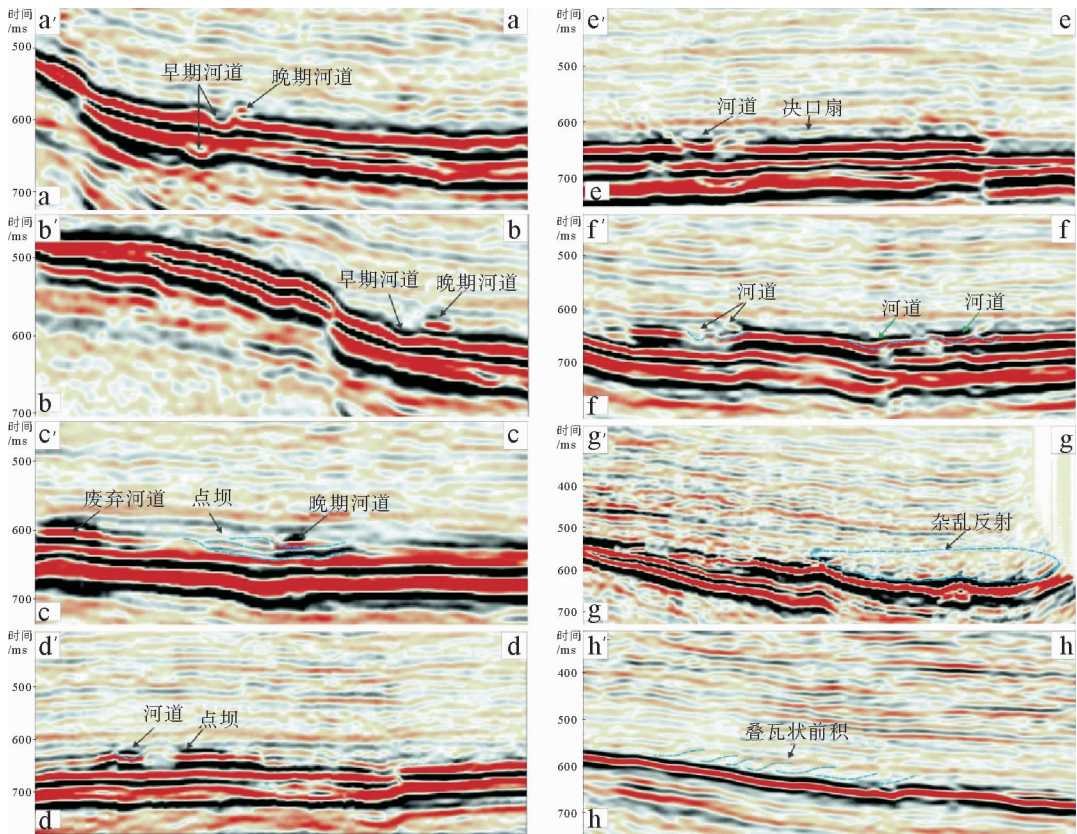


图 3 目的层段河道—扇体的地震反射特征(剖面位置见图 2b)

Fig. 3 Seismic reflection characters of the channel-fan in target layer(see Fig. 2b for location)

3.4 决口扇

河床随沉积物的快速增厚而升高,洪水期河水在河道转向处冲开天然堤,细砂及粉砂等在决口处堆积为扇形沉积体。如图 3e 所示,河道附近发育了一个透镜状的沉积体,推测为决口扇沉积。与河道沉积相比,决口扇沉积较细粒,剖面上表现为中等振幅的反射轴。

3.5 扇体

研究区河道的末端发育了片状沉积。该沉积体的横切剖面上,可以见到典型的杂乱反射,其几何外形为不规则的透镜状或丘状(图 3g);其纵剖面上呈现出明显的叠瓦状地震反射,指示了沉积物多期次前积的特征(图 3h)。该扇体规模一般,宽度不超 2 000 m,长度约 4 000 m,振幅平面图上表现为片状分布的均匀杂乱特征。

4 河道—扇体沉积古环境及意义

4.1 沉积古环境

不同地貌背景下,河流发育特征各具差异,主要表现在下切深度、坡降梯度、宽深比、弯曲度等方面。所以不同类型的河流特征也能反映其发育时期的古地貌形态。参照 Rosgen^[14] 的河流分类,结合研究区河曲特征可得到其沉积当时的古地貌认识。综合弯曲度指标与河流平面成像特征认为:底部砾岩之上河流属于稳定曲流河,反映其形成时的古地貌为极其平缓的状态^[15]。

以沉积学基本原理为指导,借助三维地震资料,应用相干技术和属性提取技术,结合区域地质背景,得到了研究区河道—扇体的沉积古环境(图 4)。来自西北部的物源以河流方式往研究区东南推进,其在极其平缓地貌下不断侧向迁移而发生

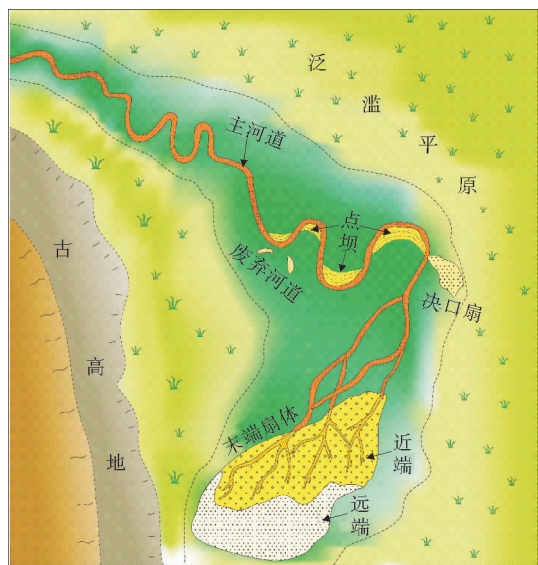


图 4 研究区目的层段河道—扇体沉积古环境

Fig. 4 Palaeo-environment of the channel-fan in target layer of the study area

摆动,最后形成了具高弯曲度特征的稳定曲流河。曲流河的上游部分下切深度较大,侧向迁移距离较小,弯曲度稍低;中游部位下切深度略小,而侧向迁移明显,宽度约 150 m、弯曲系数约在 1.9~2.5 之间、宽深比为 6.2 左右,可见清晰的点坝以及截弯取直后的废弃古河道,同时在河道转向处可能发育小型决口扇;下游部位由于坡度进一步变缓,河道由单一变为两个或多个并置,主河道数目也有所增加。河流末端因坡度的进一步缓和,河道逐渐向片流转化从而堆积形成了扇形沉积体。扇状沉积横剖面上见杂乱反射,纵剖面上可清晰的观测到叠瓦状前积特征。

4.2 地质意义

中中新世盆地由构造反转阶段进入区域沉降阶段,该时期总体上为温暖湿润的北亚热带气候^[16],岩石物理及化学风化都较强,使得出露地表的地层迅速破坏,形成了原地剥蚀堆积物或附近高地的冲积产物,即一套分布稳定、色杂、分选差、泥质胶结的砾岩层。可能与渤海湾盆地中新统的底部砂砾岩层相当^[17],一般是风化带粗碎屑残积物在发生水进时接近原地沉积的产物^[18]。

研究区砾岩层沉积之后发育了稳定曲流河,上、中、下游特征差异明显,废弃河道、点坝等微相

清晰可见,指示该河流经历了较为充分的地质演化阶段。同时,可推测在区域沉降开始不久后经历了暴露性沉积间断,此间断期持续了一定时间,研究区或更广阔的区域存在相当平缓的古地貌。此区域曲流河下游存在河道分叉且多河道并置的现象,并且在末端发育了扇形沉积体。这说明下游段地形坡度逐渐变缓,水体能量降低,流量发生消减,水流四散。下游水道区宽而浅的河道过渡为片流时沉积了扇状堆积体,该扇体为水流能量耗尽、碎屑迅速卸载的产物,指示平缓地貌下仍存在很小的汇水负地形。综合地貌、气候及沉积环境等因素认为,此扇体并非常规三角洲,推测是类似末端扇的沉积体^[19]。

本研究主要基于三维地震资料,利用各种技术手段综合平面与剖面特征进而判别沉积体系。此方法属间接手段,其优点在于能宏观确定沉积体系的展布范围,可识别较典型的地质体。同时,它也具有一定的局限性,预测精度受限于地震分辨率,由于未建立地震与实际钻、测井资料之间的联系,不能将地震属性响应与沉积相或微相严格对应,使得预测的精确度和可靠性均存在不足之处。尽管资料及方法存在局限性,但仍可得到有关沉积古环境演变方面的认识。区域沉降阶段之初,研究区在水进时快速地原地堆积形成了广泛分布的新近系底部砾岩层。之后,经历了暴露性沉积间断,平缓地貌下河道开始发育并演化为弯度较大的稳定曲流河;根据河流上游至下游的沉积差异及末端的沉积扇体,可以推测此时物源较单一,且沉积物自西北往东南搬运的距离较远。从底部砾岩层到目的层段,研究区的沉积环境由原地或近原地堆积的近源冲积沉积转变为典型的远源曲流河道—扇体沉积。

5 结论

(1)基于三维地震资料,利用相干技术和属性提取技术,刻画了研究区紧邻底砾岩之上地质体的整体面貌,认为此时区内发育的是河道—扇体沉积体系。

(2)根据沉积体的平面及剖面特征,结合区域地质背景建立了研究区的沉积古环境。研究区物源以河流形式来自西北部,在泛滥平原上持续演

化形成了稳定曲流河。河道上游的下切深度大、侧向迁移不明显;中游的下切深度小、侧向迁移距离大,点坝及废弃河道较发育,同时在河道拐弯处发育小型决口扇;下游段单条河道变为2个或多个并置,主河道数目增加,河道宽而浅。随着坡度的进一步减缓,水动力减弱,河流末端的河道向片流转化形成了类似末端扇的沉积体。

(3)中新统底砾岩之上河流—扇体沉积体系的发现,证明在研究区可能存在持续一定时间的暴露性沉积间断,沉积环境由原地或近原地堆积的近源冲积沉积转变为典型的远源曲流河道—扇体沉积,这可为今后的环境地质研究提供佐证。

参考文献:

- [1] Galloway W E, Hobday W K. Terrigenous Clastic Depositional Systems: Applications to Fossil Fuel and Groundwater Resources[M]. New York: Springer Verlag, 1996: 1-40.
- [2] Zeng H L, Backus M M, Barrow K T, et al. Stratal slicing, part I: realistic 3D seismic model, and part II: real seismic data[J]. Geophysics, 1998, 63(2): 502-522.
- [3] Posamentier H W, V Kolla. Seismic geomorphology and stratigraphy of depositional elements in deepwater settings [J]. Journal of Sedimentary Research, 2003, 73(3): 367-388.
- [4] 蔡乾忠. 横贯黄海的中朝造山带与北、南黄海成盆成烃关系 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2): 185-196.
- [5] 刘振湖, 高红芳, 胡小强, 等. 北黄海盆地东部拗陷中生界含油气系统研究 [J]. 中国海上油气地质, 2007, 19(4): 229-233.
- [6] 王后金, 王嘹亮, 冯常茂. 北黄海盆地的成盆动力学机制探讨 [J]. 石油天然气学报 (江汉石油学院学报), 2014, 36(5): 1-7.
- [7] 张军华, 周振晓, 谭明友, 等. 地震切片解释中的几个理论问题 [J]. 石油地球物理勘探, 2007, 42(3): 348-352.
- [8] 刘丽薇, 郝兴国, 赵伟, 等. 多属性分析技术在薄互层条件下识别古河道的应用 [J]. 大庆石油学院学报, 2006, 30(4): 4-7.
- [9] 赵爽, 李仲东, 许红梅. 分频解释技术及其在陆相砂岩地层地震勘探中的应用分析 [J]. 矿物岩石, 2006, 26(2): 106-110.
- [10] 张凤莲, 曹国银, 李玉清, 等. 地震属性分析技术在松辽北徐东地区火山岩裂缝中的应用 [J]. 大庆石油学院学报, 2007, 31(2): 12-14.
- [11] Posamentier H, Ole M. The character and genesis of mass transport complexes: Geomorphology and process sedimentology from 3D seismic data[R]. Houston: AAPG Annual Convention, 2004: 11-24.
- [12] Kolla V, Posamentier H W, Wood L J. Deep-water and fluvial sinuous channels-Characteristics, similarities and dissimilarities, and modes of formation [J]. Marine and Petroleum Geology, 2007, 24: 388-405.
- [13] 张春生, 刘忠保, 施东. 高弯曲与低弯曲河流比较沉积学研究 [J]. 沉积学报, 2000, 18(2): 227-233.
- [14] Rosgen D L. A classification of natural rivers [J]. Catena, 1994, 22(3): 169-199.
- [15] 姜华, 汪泽成, 王华, 等. 地震沉积学在塔北哈拉哈塘地区古河道识别中的应用 [J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2011, 42(12): 3 804-3 810.
- [16] 夏玉梅, 汪佩芳. 松嫩平原晚第三纪一更新世抱粉组合及古植被与古气候的研究 [J]. 古地理学报, 1987, 42(2): 165-178.
- [17] 大港油田石油地质志编辑委员会. 中国石油地质志 (卷四) [M]. 北京: 石油工业出版社, 1991: 48-49.
- [18] 汤良杰, 金之钧. 多期叠合盆地油气运聚模式 [J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2002, 24(4): 67-70.
- [19] 张金亮, 戴朝强, 张晓华. 末端扇——在中国被忽略的一种沉积作用类型 [J]. 地质论评, 2007, 53(2): 170-179.

A CHANNEL-FAN SYSTEM IN NORTHWEST BLOCK OF THE EASTERN DEPRESSION OF THE NORTH YELLOW SEA BASIN

DU Min, LIU Jinping, WANG Gaiyun

(Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Ministry of Land and Resources, Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510075, China)

Abstract: The Neogene sequence in the northwest block of the Eastern Depression of the North Yellow Sea Basin are studied based on high-resolution 3D seismic data, using the coherence and attribution extracting approach. A channel-fan system above the Neogene basal conglomerate is recognized. It was a meandering river system carrying detrital sediments from northwest upon a relatively gentle geomorphology. In the upper reach of the river, the river channel was deeply incised with little lateral migration. In the middle reach of the river, however, the incision was gentle and there was distinctive lateral migration. Point-bars and abandoned channels were well developed. In the lower reach, single channel turned into juxtaposed dual or multiple channels. At the end of the river, it became a kind of sheet flow and formed the deposits similar to a terminal fan. It suggests that the area was exposed to air for a substantial span of time, and changed from proximal alluvial deposits to a distal typical meandering river-fan deposits.

Key words: Eastern Depression; channel-fan; depositional system; depositional hiatus; palaeo-environment

关于作者著作权及稿酬的声明

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在中国知网及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。该社著作权使用费与本刊稿酬一并支付。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意上述声明。

《海洋地质前沿》编辑部
2013. 1