

王志萍, 官大勇, 郑敬贵, 等. 断陷湖盆水道型湖底扇沉积储层预测——以莱州湾凹陷沙三中亚段为例[J]. 海洋地质前沿, 2023, 39(12): 79-87.

WANG Zhiping, GUAN Dayong, ZHENG Jinggui, et al. Reservoir prediction of channel sublacustrine fan in faulted lacustrine basin: take the middle sub-member of the Third Member of Shahejie Formation in Laizhouwan Sag as an example[J]. Marine Geology Frontiers, 2023, 39(12): 79-87.

断陷湖盆水道型湖底扇沉积储层预测

——以莱州湾凹陷沙三中亚段为例

王志萍, 官大勇, 郑敬贵, 付鑫, 王启明

(中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300452)

摘要:渤海湾盆地莱州湾凹陷沙三段发育大型水道型湖底扇岩性圈闭, 成藏背景较好, 勘探潜力较大, 但湖底扇沉积特征不明确, 储层分布难以精细刻画, 制约了勘探的进程。因此, 在地震沉积学、沉积学理论指导下, 提出了以不同重力流水道类型地震相分析为基础优选敏感属性, 平面剖面结合精细刻画湖底扇的展布, 最终确立有利储层发育区的技术思路, 以期为研究区湖底扇型岩性油气藏勘探部署提供有利的支持。分析认为, 湖底扇水道具有中—弱振幅、杂乱反射特征, 与湖相泥岩的平行连续、强振幅反射具有明显差异, 以此为基础优选分频倾角相干和基于灰度共生矩阵的地震结构属性及神经网络波形分类技术对湖底扇边界以及内幕水道进行刻画。其中, 限制水道复合体及叠置水道复合体砂岩厚度大, 两类水道发育区域是研究区的有利储层发育区。限制水道复合体分布在 F1 断裂坡折带下, 水道厚度及宽度较大; 叠置水道复合体分布在 F2 断裂坡折带下。

关键词:水道型湖底扇; 沉积储层预测; 断陷湖盆; 沙三中亚段; 莱州湾凹陷

中图分类号: P744.4; P618.3

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2022.286

0 引言

陆相湖底扇是断陷湖盆内一种重要的油气储集体, 储层厚度大、物性好, 且紧邻烃源岩, 具备优越的成藏条件。湖底扇作为一种典型的岩性油气藏储集体, 目前已成为渤海湾含油气盆地的重点开发对象^[1-4]。渤海湾盆地莱州湾凹陷在沙三中亚段发育水道型湖底扇岩性油气藏, 目前有 4 口探井钻遇, 其中, KL0-B 井已取得了较好的油气显示, 但邻近的 KL10-C 井储层却不发育, 说明该岩性油气藏具有较大的勘探潜力, 储层横向变化较大。多位学者针对该区的区域构造演化、烃源岩特征、沙三段

沉积特征及其主控因素、成藏机理及油气运移特征等展开了系统研究^[5-10], 但前期勘探研究重点主要集中在构造油气藏, 尚未系统开展针对湖底扇这类岩性油气藏的研究。研究区湖底扇沉积储层分布特征不明确, 是制约该区岩性油气藏勘探的关键问题。因此, 本文针对莱州湾凹陷沙三中亚段水道型湖底扇开展了沉积储层预测研究, 主要通过钻井的岩芯、壁芯、测井及地震等资料划分湖底扇重力流水道类型并确定不同水道的地震相特征, 并以此为基础优选技术方法对湖底扇边界及内部重力流水道展布进行刻画, 最终确定出有利储层的分布范围, 为研究区湖底扇型岩性油气藏勘探部署提供有利的支持。

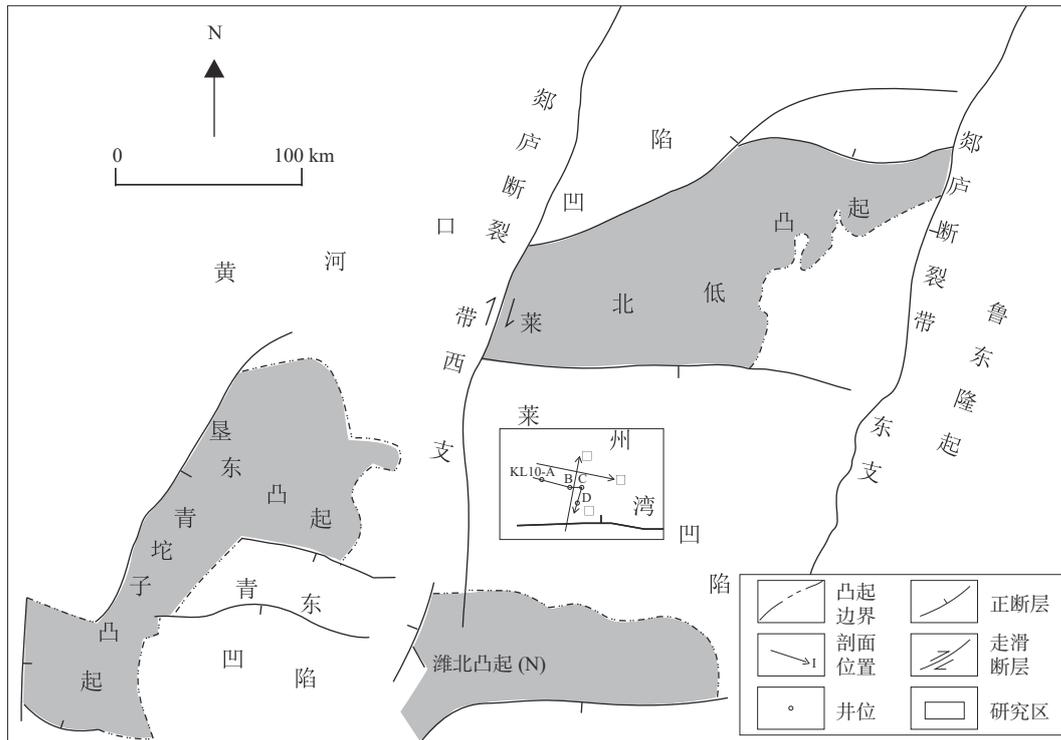
1 研究区概况

莱州湾凹陷位于渤海湾盆地济阳拗陷内, 总体上具有东断西超、北断南超的箕状断陷结构(图 1)。

收稿日期: 2022-10-14

资助项目: 国家科技重大专项“渤海海域勘探新领域及关键技术研究”(2016ZX05024-003)

作者简介: 王志萍(1981—), 女, 博士, 高级工程师, 主要从事沉积储层预测方面的研究工作。E-mail: wzp1209@163.com



I-图2 连井剖面位置; II-图4a 剖面位置; III-图4b 剖面位置

图1 莱州湾凹陷区域位置

Fig.1 Regional Location of Laizhouwan Sag

凹陷北靠莱北低凸起,南接淮北凸起,东侧为鲁东隆起,西部与垦东-青坨子凸起相接,东西分别被郯庐走滑断裂带的东支和西支分割^[5]。

莱州湾地区及其周边现有面积达 21 100 km² 的三维连片地震数据体及 4 口深层探井资料,其中,沙三中亚段叠后地震数据体的主频为 20 Hz,频宽为 10~40 Hz。这些资料为地震属性的地质解释以及属性优选提供了数据基础,进而完成研究区沉积储层分布研究。

莱州湾地区沙三中亚段物源供应主要来自西南部的垦东凸起^[9],半干旱-湿润的气候条件使得垦东凸起能提供充足的物源。其沉积时期,研究区总体处于断陷湖盆强烈裂陷时期,湖盆大范围扩张,洼陷水体较深,发育了深湖-半深湖的深水沉积环境,而研究区内 NE 向断层的发育使其上盘的辫状河三角洲沉积物沿着断层斜坡发生滑塌,形成发育于半深湖-深湖泥岩中的重力流沉积(图 2)。

经过岩芯和壁芯薄片统计,研究区岩石类型以岩屑长石砂岩为主,石英、长石和岩屑的平均含量分别为 37%、39% 和 24%,岩石分选中等,磨圆度为次圆-次棱角。岩芯中含泥质漂砾、撕裂状泥砾、定向排列的泥岩撕裂屑,可见变形层理、波纹层理以及火焰状构造等具代表性的重力流沉积构造。

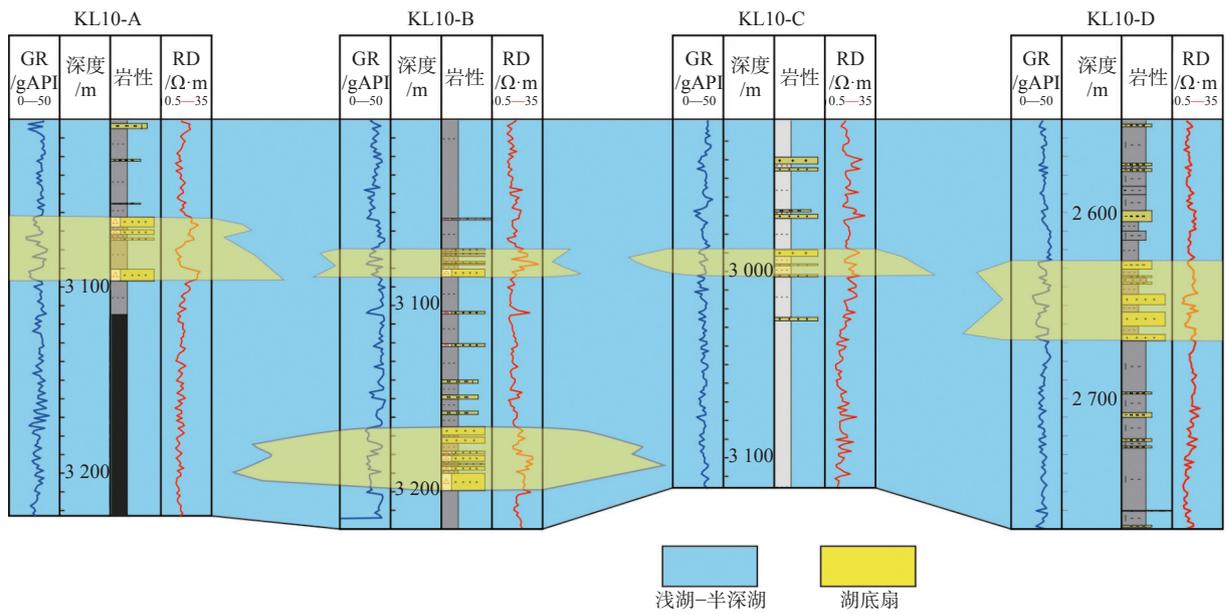
2 重力流水道地震相特征

2.1 井震标定特征

研究区主要发育两期重力流沉积(图 3),第 1 期重力流沉积厚度为 90 m,包含多套砂体,整体上呈正旋回叠置。下部发育 3 套较厚砂体,岩性为细砂岩,厚度为 9~13 m,自然伽马(GR)曲线均为箱形特征,为水道主体沉积;上部为 3 套砂泥薄互层沉积,砂岩岩性为粉砂岩,厚度为 1~1.5 m,GR 曲线为指型特征,为水道侧翼沉积。对应地震相呈现出典型的水道下切地震反射特征,具体表现为下部为强振幅、低频的底凸反射,上部为弱振幅反射。第 2 期重力流沉积厚度为 15.9 m,发育 3 套砂泥岩互层沉积,整体上为先反旋回后正旋回的沉积叠置关系,砂体岩性为细砂岩,下部砂体厚度较大,最大厚度约 4 m,最小厚度为 0.5 m;GR 曲线表现为齿化箱形和齿化指形,指示水道侧翼沉积,对应地震相特征为中-强振幅连续反射。

2.2 湖底扇地震相特征

湖底扇规模相对较大,剖面上呈透镜状,以中-



剖面位置见图 1

图 2 莱州湾凹陷连井沉积剖面

Fig.2 Contiguous well sedimentary profile in the Laizhouwan Sag

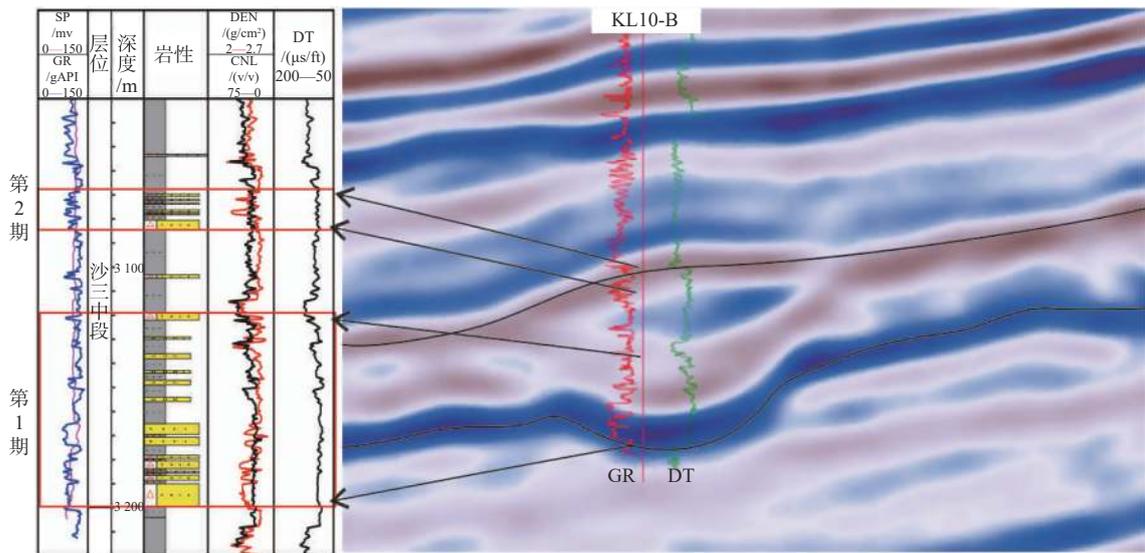


图 3 KL10-B 井井震标定

Fig.3 Well-seismic calibration of Well KL10-B

弱振幅蠕虫状杂乱反射特征为主, 与围岩存在明显差异, 围岩呈现低频、强振幅连续反射特征。

顺物源方向, 由近物源方向向远端, 湖底扇的厚度逐渐减小, 且内幕地震相也由“U”型或“V”型蠕虫状杂乱反射逐渐变为低角度、亚平行的蠕虫状反射, 到远端湖相泥岩逐渐变为强振幅较连续反射(图 4a)。

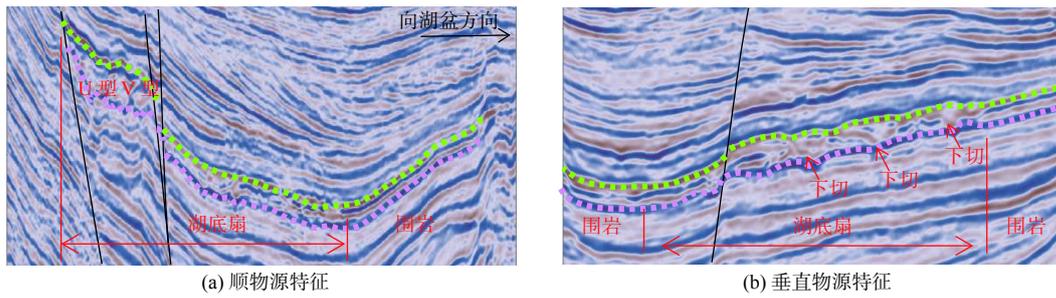
垂直物源方向, 湖底扇厚度中间大, 向两侧变小。湖底扇整体外形结构呈现顶凸底凸特征, 内幕地震相呈现典型的下切水道地震反射特征, 上部地震同相轴切割下部同相轴, 且地震剖面上可

见多个水道充填沉积, 水道侧向相接, 向两侧地震相逐渐变为强振幅连续反射, 为湖相泥岩沉积(图 4b)。

湖底扇顺物源方向和垂直物源方向的地震相特征, 能够反映出湖底扇不同相带及湖相泥岩地震相的差异, 为后期对湖底扇进行精细刻画奠定了基础。

2.3 重力流水道特征

从地震剖面可以看出, 研究区湖底扇主要为水道型湖底扇, 钻井已证实该水道被细砂岩和粉砂岩



剖面位置见图 1

图 4 湖底扇地震相特征

Fig.4 Seismic facies characteristics of sublacustrine fan

充填,是研究区的主要储层。因此,有必要对水道特征进一步研究。根据已钻 4 口井的岩芯、壁芯、岩屑、测井以及过井地震剖面对比分析,可将重力

流水道分为水道主体、水道侧翼及水道间等 3 种微相。按形成条件和地震相特征,水道主体又进一步分为限制水道复合体和叠置水道复合体(表 1)。

表 1 重力流水道分类

Table 1 Classification of gravity flow channel

沉积类型	岩相	测井相	地震相	特征描述	正演	
					地质模型	正演结果
限制水道复合体				多套砂体叠置,砂体厚度大,含砂率较高;SP 曲线上为齿化漏斗状,GR 曲线呈齿化箱型且顶、底突变特征明显;地震剖面上外形呈顶凸底凸透镜状,内部低频,中-弱振幅,地震轴杂乱,呈蠕虫状		
叠置水道复合体				砂泥互层,个别砂体厚度大,含砂率中等-高;SP 曲线上为漏斗形和箱型叠置,GR 曲线以齿化箱型为主,且顶、底突变特征明显;地震剖面上外形呈顶凸底凸透镜状,内部低频,中-弱振幅,地震轴杂乱		
水道侧翼				砂泥互层,砂体厚度较薄,含砂率中等;SP 曲线上以钟形为主,GR 曲线顶、底突变特征明显;地震剖面上地震轴低频,中-强振幅,连续性中-好		
水道间				以泥岩为主,间夹薄砂层,含砂率较低;SP 曲线特征不明显,GR 曲线呈指状;地震剖面上地震轴中低频,强振幅,连续性中-好		

限制水道复合体岩性为灰-深灰色厚层块状砂岩,见泥岩撕裂屑及漂砾。自然电位(SP)测井曲线为中-高幅度的漏斗型-箱型,GR 曲线为中-高幅度齿化箱型且顶、底突变特征明显,呈现砂质碎屑流沉积的测井相特征。在地震剖面上,水道复合体呈顶凸底凸的透镜状外形结构,内部为低频、中-弱振幅杂乱反射,单水道表现为“U”型或“V”型蠕虫状地震同相轴特征,水道叠置模式为垂向切叠,多个水道单砂体垂向叠置切割。反映了三角洲前缘沉积物发生大规模滑塌形成的多期砂质碎屑流在限制性地貌内垂向切割叠置,横向迁移较少。

叠置水道复合体岩性为灰色细砂岩夹灰色泥岩,SP 曲线为漏斗形和箱形叠置,GR 曲线呈齿化

箱形叠置特征,顶、底突变特征较明显,主体为高密度浊流沉积。地震剖面上叠置水道复合体呈顶凸底凸透镜状外形,内部为低频、中-弱振幅,水道叠置模式为侧向切叠模式,地震同相轴横向首尾相接叠加,对下伏地震同相轴切割明显。这反映了沉积时地貌逐渐开阔,可容纳空间变小,多期水道发生侧向迁移、摆动。

水道侧翼岩性为灰色薄层细砂岩、粉砂岩与灰色-灰黑色泥岩薄互层,SP 曲线以中低幅钟形曲线为主,GR 曲线幅度较低。地震剖面上地震同相轴低频、中-强振幅、连续性中-好,两侧地震同相轴对下伏地震同相轴切割明显,水道侧翼呈现两侧向上收敛的“鸥翼状”特征。这反映了重力流溢出水道后流体能量逐步减弱,砂岩粒度变细。

水道间岩性主要以灰黑色泥岩为主, 间夹薄砂层。SP 曲线幅度较低, GR 曲线呈指状。地震剖面上地震同相轴呈中—低频, 强振幅、连续反射的特征, 而且地震同相轴对下伏同相轴切割变弱。这主要反映了在相对稳定的地貌下, 流体能量变弱后的浊流沉积。

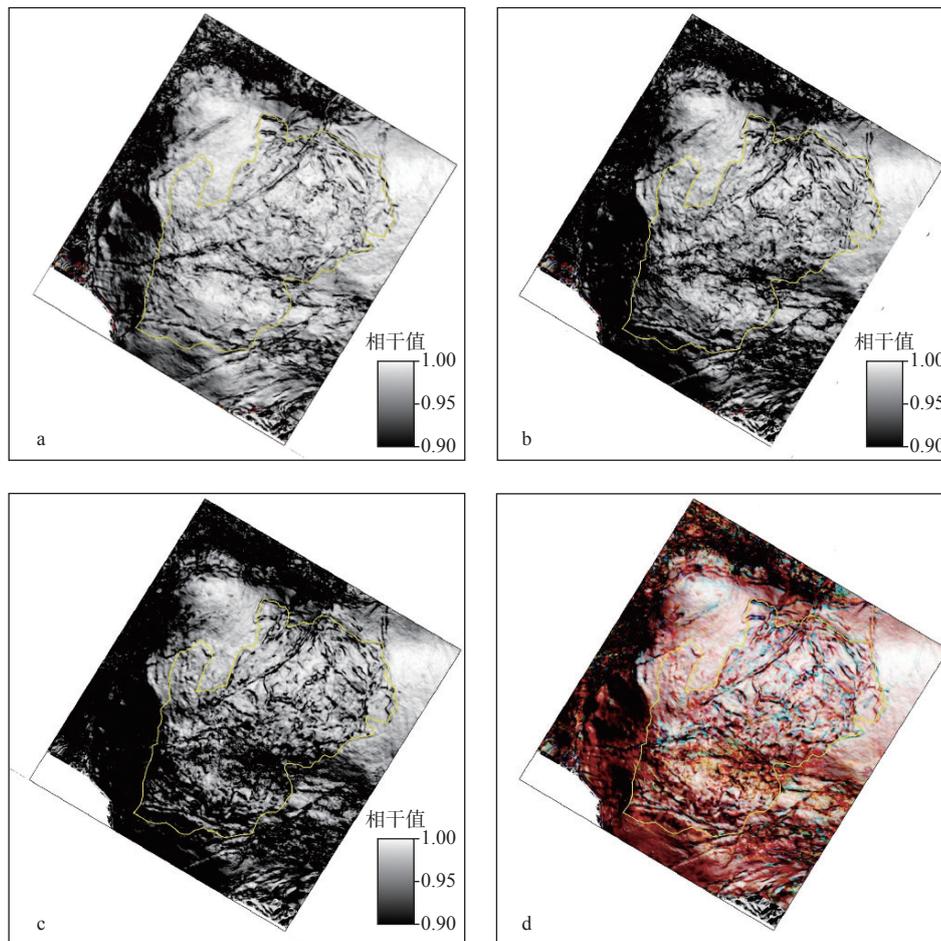
这些分析将为湖底扇富砂边界刻画以及储层分布预测奠定基础。

3 湖底扇水道刻画技术

湖底扇水道和湖相泥岩在地震相结构上具有明显差异。湖底扇水道具有中—弱振幅杂乱反射特征, 而湖相泥岩具有平行连续强振幅反射的地震相特征。因此, 优选能够反映能量差异和结构差异的地震波属性, 进行湖底扇富砂体边界刻画, 再通过神经网络波形分类技术进行湖底扇水道刻画, 能够较准确地描述湖底扇水道展布特征。

3.1 分频倾角相干融合

地震相干属性定量描述了相邻地震数据道之间的相似性^[11], 能够用来反映重力流水道杂乱反射与湖相泥岩的连续平行反射的地震相差异。RGB 色彩融合技术是将时频分析得到的低、中、高不同频段的数据分别用为红色、绿色、蓝色三原色 (RGB) 进行融合显示。分频倾角相干融合技术是利用分频后的地震调谐数据体, 在倾角约束下计算相干属性, 然后优选出对不同规模水道特征响应明显的多个分频相干体进行 RGB 融合, 可以用来弥补单一分频相干体分辨率不足, 并克服全频信息噪声突出问题, 突出并且全面显示有效信息^[12]。采用小波分频技术将地震数据体分为 10、20、40 Hz 共 3 个频带地震数据体并在倾角数据体约束下计算相干数据体。3 个频带相干数据体对湖底扇与湖相泥岩的边界响应都比较清楚, 湖底扇内部相干值高, 半深湖相泥岩相干值较低 (图 5a—c)。并且, 3



(a) 10 Hz 倾角相干数据体; (b) 20 Hz 倾角相干数据体; (c) 40 Hz 倾角相干数据体; (d) 10、20、40 Hz 倾角相干数据体融合

图 5 分频倾角相干属性

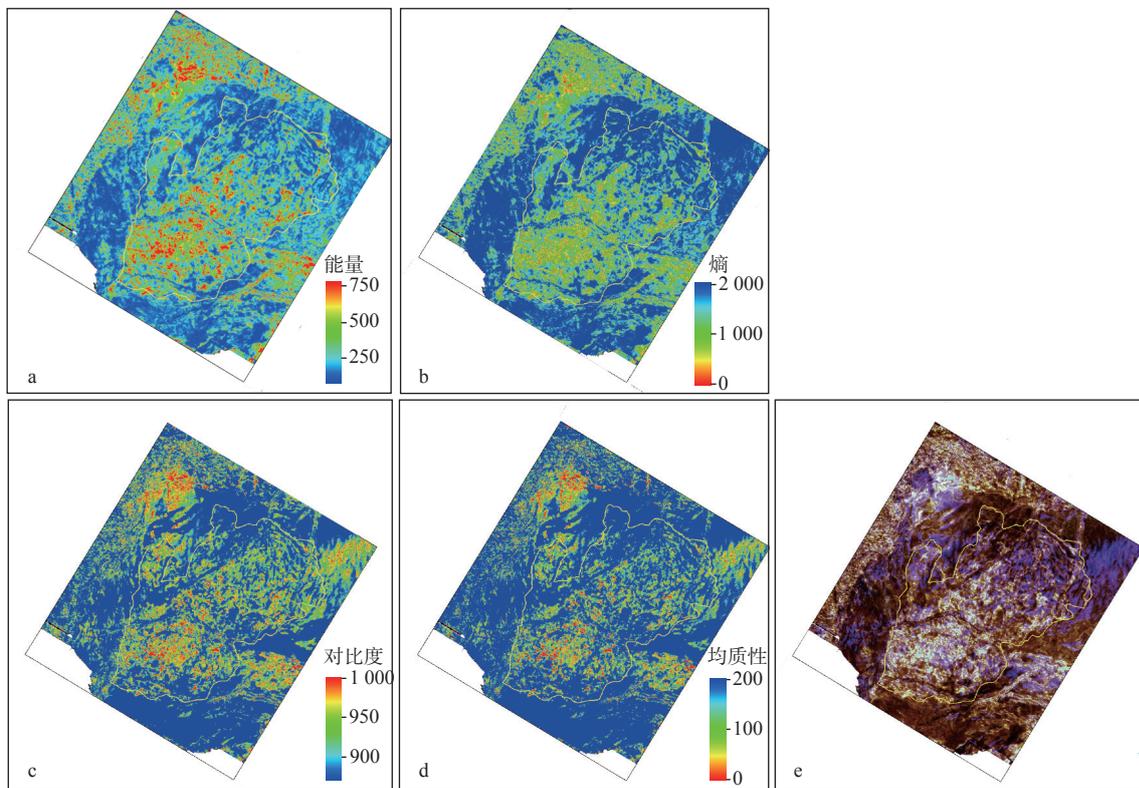
Fig.5 Frequency-divided dip coherence property

个频带相干数据体对不同规模的水道具有不同的分辨能力, 10 Hz 地震相干体可以识别出几条规模较大的水道, 随着频率的增加, 小规模水道特征越来越清晰, 但是噪声也比较突出(图 5a—c)。将 3 个分频数据体进行 RGB 融合, 湖底扇边界更加清晰, 而且不同规模的水道特征也都可以体现出来(图 5d)。从图 5d 中可以看出, 分频倾角相干融合属性能较好地反映湖底扇与湖相泥岩的界线, 整个湖底扇呈现中部延伸长度较长, 宽度较窄 NE 向展布的舌形特征, 外缘有时表现出指状特征。

3.2 基于灰度共生矩阵的地震结构属性

采用灰度共生矩阵算法提取地震纹理属性, 并将其转化为灰度图像中关于方向、间隔和变化幅度等方面的灰度信息, 用以反映地震体反射结构的内在信息(几何、振幅、频率、相位等)的差异, 从而反映不同地质体的沉积差异^[13]。灰度共生矩阵常用的能量、熵、对比度及均质性 4 种特征值, 对不同的沉积相带有较好的区分度: ① 能量属性用于描述地质体内部地震信息的变化, 能量强说明地震同相轴连续性较好、变化较小, 而能量弱则说明地震同相轴反射杂乱, 变化较大^[14]。湖底扇内幕水道为杂

乱反射, 能量较弱, 湖相泥岩为连续反射, 能量较强, 能量属性对湖底扇水道与湖相泥岩区分度较好(图 6a)。② 熵属性用于描述区域内图像无序度和复杂度^[14]。湖底扇内幕水道熵值明显较大(图 6b 中红色和黄色区域), 并且限制水道和叠置水道熵值最大(图 6b 中红色区域), 湖相泥岩, 熵值较小(图 6b 中蓝色区域), 与湖底扇水道区分明显。熵属性能较好的区分湖底扇水道与湖相泥岩。③ 对比度是图像相关性或变化的度量, 反映了地质体内部的杂乱程度。湖底扇内幕水道对比度较高, 而湖相泥岩对比度较低(图 6c)。对比度属性对湖底扇与湖相泥岩具有一定的区分度。④ 均质性是图像光滑度的度量, 反映了地质体地震信息的稳定性和连续性。湖底扇均质性较差, 而湖相泥岩均质性较高(图 6d)。均质性属性对湖底扇与湖相泥岩也具有一定的区分。这 4 种属性对湖底扇水道具有一定的识别效果, 但是每种属性各有优势。能量属性和熵属性对湖底扇内幕水道响应很清楚, 但能量属性上湖底扇与湖相泥岩的界限不清晰。对比度属性及均质性属性对湖底扇边界的刻画比较清晰, 但是内幕水道特征不清楚。因此, 将 4 个属性进行属性融合(图 6e), 地震结构融合属性不仅能较好地



(a) 能量属性切片; (b) 熵属性切片; (c) 对比度属性切片; (d) 均质性属性切片; (e) 属性切片融合

图 6 地震结构属性

Fig.6 seismic structural attributes

反映湖底扇边界, 并且能够反映内部重力流水道的展布特征。湖底扇整体上呈现 NE 向展布特征, 与分频倾角相干属性结果相似。湖底扇水道主要为 SW-NE 向展布, 西南部近物源区水道比较发育, 向前端水道规模逐渐减小, 逐渐变为湖相泥岩。

3.3 神经网络地震波形分类

地震波形是地震信号的振幅、频率、相位等参数的综合反映^[15]。经过统计分析, 重力流水道、水道间以及湖相泥岩地震波形差异明显(图 7b)。因此, 在对湖底扇边界识别的基础上, 通过神经网络波形分类技术能够较好地地震波波形的空间相似性进行分类描述, 求同去异, 突出相同类别的地震波波形^[16], 最终可以得到湖底扇水道的平面分布规律(图 7a)。与重力流水道地震相特征对比可以

看出, 图 7 中红色部分为限制水道复合体和叠置水道复合体, 黄色部分代表水道侧翼, 蓝色部分代表水道间及半深湖相。从图 7a 可以看出, 湖底扇展布趋势与宏观沉积环境相吻合, 与分频倾角相干属性及地震结构属性展布特征也一致, 均是 NE 向展布。并且神经网络波形分类属性能够更为精细地刻画出湖底扇内幕不同类型地震相展布特征。与钻井沉积相对比发现(图 2、7a), 两者匹配程度较高, 已钻井 KL10-A、KL10-B、KL10-D 井发育水道复合体, 而 KL10-C 井主要发育水道侧翼, 与波形分类结果一致。属性的细节变化符合沉积规律, 水道主要沿 NE 向展布; 其中, F1 坡折带下水道宽度较大, 到 F2 断裂坡折带下水道逐渐分支为多条以 NE 向为主的条带状水道, 水道两侧发育水道侧翼, 向前端水道数量及宽度逐渐减小, 湖相泥岩逐渐发育。

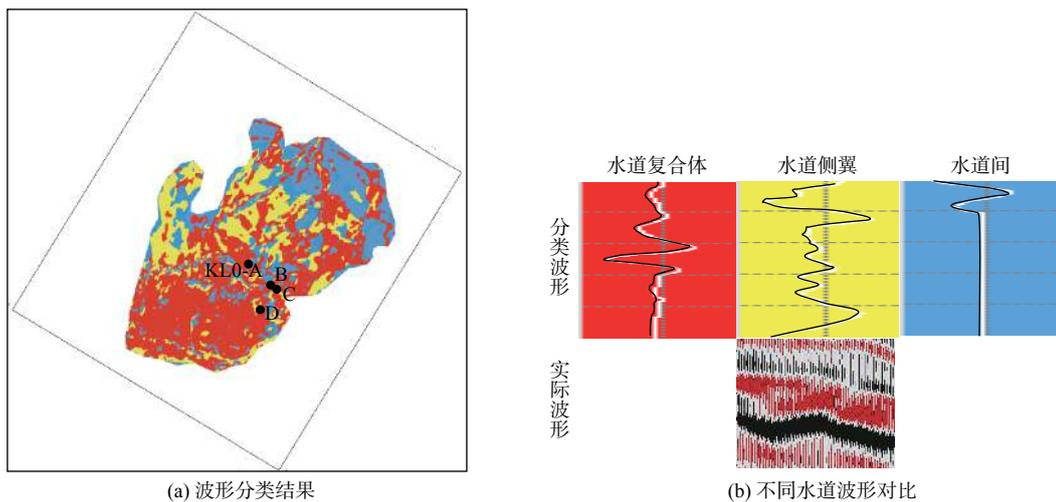


图 7 神经网络波形分类属性图

Fig.7 Waveform classification attribute diagram of neural network

4 沉积储层分布特征

在分频倾角相干融合、地震结构属性及神经网络波形分类技术对湖底扇边界以及湖底扇水道平面分布进行预测的基础上, 通过平面和剖面结合对湖底扇水道进行了精细刻画, 并对湖底扇水道沉积储层分布特征进行了分析。

重力流受控于断裂坡折和古地貌, 垂直于断裂坡折走向向古地貌低势方向(NE 向)推进延伸, 形成了 NE 向展布的水道型扇体。F1 断裂坡折下, 受先存局限地貌影响, 第一坡折带内发育东西 2 支限制水道复合体, 水道复合体宽且厚。内部发育多条宽度较小的单水道, 水道相互叠置切割, 间夹重力

流间歇期或废弃期充填的薄层泥岩, 水道侧翼不发育(图 8a、e)。有利储层为主水道的砂质碎屑流砂体, 其中东支水道复合体宽度和厚度明显优于西支, 而且内部单水道更为发育, 所以东支水道复合体内储层更为有利。

F2 断裂坡折下, 地貌逐渐变缓, 随着搬运距离增加, 水道对流体的限制作用逐渐减弱, 砂质碎屑流逐渐向两侧漫溢扩散转化为高密度浊流, 使得其整体上呈现出朵状体的平面形态特征, 而且内部水道分流作用逐渐增强, 主水道逐渐由具有侧翼较为平直的分支水道变为弯曲分支水道。近 F2 断裂区地势较陡, 发育 4 支主叠置水道复合体, 水道复合体相对比较顺直。由于可容纳空间变小, 水道内单水道叠置模式为侧向切叠模式, 单水道宽度较大,

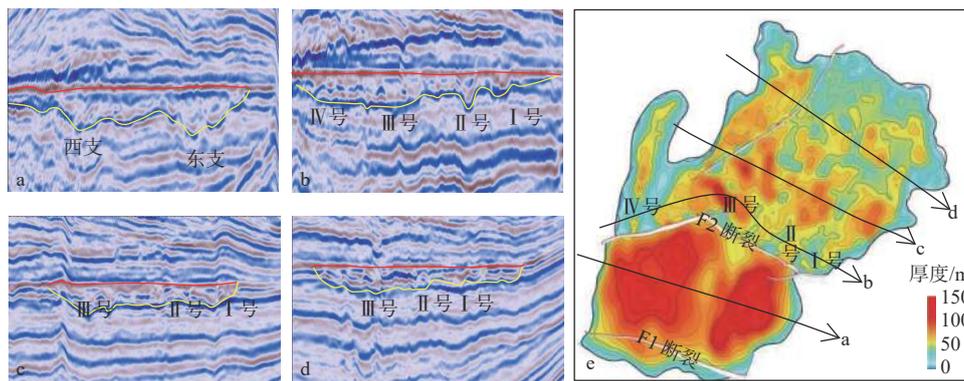


图8 湖底扇典型地震剖面及厚度图

Fig.8 Typical seismic profile and thickness map of sublacustrine fan

但数量较少,多发育1期或2期单水道,分支水道侧向迁移并切割原有水道。I号叠置水道复合体沿NE向延伸,延伸较远。近断裂区水道宽度和厚度较小(图8b),向前端到中部平缓地带,重力流流速逐渐减小,水道宽度变大,沉积厚度最大(图8c),到远端水道逐渐消亡(图8d);II号叠置水道复合体沿NE向延伸,坡折带下重力流流速较大,重力流以侵蚀下切作用为主,水道宽度较小,水道在剖面上呈“V”字型(图8b),向前方地势开阔变缓,水道宽度变大(图8c),并且重力流被不断混进的湖水稀释、液化,砂、泥岩逐渐分异,发育水道侧翼沉积,到重力流末端,水道切割深度变小,宽度减小(图8d);III号叠置水道复合体受微古地貌影响,沿NW向延伸,向前端分支为3条宽度较小但切割较深的水道,剖面水道呈“V”型,反映了强碎屑流对下伏地层侵蚀较大(图8c);IV号叠置水道复合体沿NE向延伸,规模相对较小(图8b)。总体上看,叠置水道从F2断裂到远端水道逐渐弯曲,规模逐渐变小。顺直水道复合体内以碎屑流砂岩沉积为主,弯曲水道复合体以低密度浊流沉积为主,泥质含量明显增多,水道侧翼以粉砂岩及泥岩互层为主。有利储层为叠置水道复合体的高密度浊流砂体,其中,I号、II号和III号水道复合体在中部平缓地带的宽度和厚度均较大,储层发育条件更为有利。

5 结论

(1)湖底扇水道具有中—弱振幅杂乱特征,与湖相泥岩平行连续强振幅反射差异明显。顺物源方向,内幕地震相由“U”型或“V”型蠕虫状杂乱反射逐渐变为低角度、亚平行的蠕虫状反射;垂直物源方向,外形为顶凸底凸特征,内幕地震相特征

为上部地震同相轴切割下部地震同相轴,并且水道侧向相接,到远端湖相泥岩逐渐变为强振幅较连续反射。

(2)以湖底扇水道地震相特征分析为基础,首先优选出能够反映地震能量和结构差异的分频倾角相干和基于灰度共生矩阵的地震结构两种属性对湖底扇富砂边界进行刻画,再通过神经网络波形分类技术精细刻画湖底扇及内幕水道的展布特征,从而有效提高岩性油气藏勘探的成功率。该技术思路在莱州湾凹陷沙三中亚段水道型湖底扇研究中应用效果较好,可进一步推广到渤海其他地区的岩性油气藏勘探。

(3)限制水道复合体及叠置水道复合体砂岩厚度大,是研究区有利储层发育区。限制水道复合体分布在F1断裂坡折带下,水道厚度及宽度较大。叠置水道复合体分布在F2断裂坡折带下。

参考文献:

- [1] 于兴河,姜辉,李胜利,等.中国东部中、新生代陆相断陷盆地沉积充填模式及其控制因素:以济阳拗陷东营凹陷为例[J].岩性油气藏,2007,19(1):39-45.
- [2] 郭玉新.渤中凹陷埕岛东坡东三段沉积物重力流类型及沉积模式[J].油气地质与采收率,2021,28(3):14-24.
- [3] 杨剑萍,黄雅睿,卢惠东,等.东营凹陷营11北地区沙三中亚段重力流触发机制[J].中国石油大学学报(自然科学版),2021,45(4):1-11.
- [4] 杨有星,金振奎.黄骅拗陷港中地区古近系沙三段湖底扇沉积相特征[J].现代地质,2012,26(2):355-362.
- [5] 彭文绪,辛仁臣,孙和风,等.渤海海域莱州湾凹陷的形成和演化[J].石油学报,2009,30(5):654-660.
- [6] 杨海风,涂翔,赵弟江,等.渤海湾盆地莱州湾凹陷沙河街组第三、第四段烃源岩有机相特征[J].成都理工大学学报(自然科学版),2021,48(1):72-81.
- [7] 张建民,秦祎,郭诚,等.莱州湾凹陷垦利油区沙三上亚段辫状河三角洲沉积特征表征[J].高校地质学报,2021,27(5):515-

- 525.
- [8] 秦祎, 朱筱敏, 王彤, 等. 陆相断陷湖盆强制湖退及沉积响应: 以莱州湾凹陷沙三段为例[J]. 古地理学报, 2020, 22(3): 457-468.
- [9] 辛云路, 任建业, 李建平, 等. 构造-古地貌对沉积的控制作用: 以渤海南部莱州湾凹陷沙三段为例[J]. 石油勘探与开发, 2013, 40(3): 302-308.
- [10] 牛成民. 渤海南部海域莱州湾凹陷构造演化与油气成藏[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(3): 424-431.
- [11] 苑书金. 地震相干体技术的研究综述[J]. 勘探地球物理进展, 2007, 30(1): 7-15.
- [12] 尹川, 杜向东, 赵汝敏, 等. 小波分频倾角相干在复杂断裂解释中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2015, 50(2): 346-350.
- [13] 胡英, 陈辉, 贺振华, 等. 基于地震纹理属性和模糊聚类划分地震相[J]. 石油地球物理勘探, 2013, 48(1): 114-120.
- [14] 朱石磊, 段林娣, 林畅松, 等. 基于灰度共生矩阵的地震数据空间结构属性分析技术[J]. 石油地球物理勘探, 2012, 47(6): 951-957.
- [15] 逮宇佳, 曹俊兴, 刘哲智, 等. 波形分类技术在缝洞型储层流体识别中的应用[J]. 石油学报, 2019, 40(2): 182-189.
- [16] 程彦, 赵锴, 林建东, 等. 地震波形分类技术在地质异常体解释中的应用[J]. 煤田地质与勘探, 2020, 48(6): 87-92.

Reservoir prediction of channel sublacustrine fan in faulted lacustrine basin: take the middle sub-member of the Third Member of Shahejie Formation in Laizhouwan Sag as an example

WANG Zhiping, GUAN Dayong, ZHENG Jinggui, FU Xin, WANG Qiming

(Tianjin Branch of CNOOC (China) Ltd., Tianjin 300452, China)

Abstract: Large channel sublacustrine fan lithologic traps are in the Third Member of Shahejie Formation in Laizhouwan Sag, Bohai Bay Basin, with good reservoir forming background and great exploration potential. However, the sedimentary characteristics of sublacustrine fan are not clear, and the reservoir distribution is difficult to be delineated, which restrict the exploration process. Therefore, under the guidance of seismic sedimentology and sedimentology theory, a method of optimizing attributes based on seismic facies analysis of different gravity flow channel types was proposed, and the distribution of sublustrine fan was described in detail with plane section, and favorable reservoir development area was finally established. This study will provide favorable support for the exploration and deployment of sublacustrine fan lithologic reservoirs in the study area. It is recognized that the sublacustrine fan channel has the chaotic characteristics of medium and weak amplitude, which is obviously different from the parallel and continuous strong amplitude reflection of lacustrine mudstone. Based on this, the coherence attribute of frequency-divided dip coherency, seismic structure attribute based on gray level co-occurrence matrix and waveform classification technique of neural network were selected to characterize the boundary of sublustrine fan and the inner channel. The sandstone thickness of restricted channel complex and superimposed channel complex is large, and the two channel development areas are favorable reservoir areas in the study area. The restricted channel complex is distributed under the slope break zone of F1 fault, and the channel thickness and width are large. Superimposed channel complexes are distributed under the slope break zone of F2 fault.

Key words: channel sublacustrine fan; deposition and reservoir prediction; faulted lacustrine basin; the middle sub-member of the Third Member of Shahejie Formation; Laizhouwan Sag