

· 地震地质 ·

# 川西 DY 地区三叠系须家河组二段地震相分析与沉积相预测

赵爽\*<sup>①</sup> 高倩<sup>②</sup> 谯树容<sup>①</sup>

(①中国石化西南分公司勘探开发研究院德阳分院,四川德阳 618000;②成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室,四川成都 610059)

赵爽,高倩,谯述容.川西 DY 地区三叠系须家河组二段地震相分析与沉积相预测.石油地球物理勘探,2009,44(3):341~346

**摘要** DY地区是一个构造相对复杂的勘探新区,现仅有DY1井钻遇目的层须家河组二段。以往针对该层的沉积相研究还停留在区域认识的基础上,无法为勘探开发提供可靠的沉积相带及有利储集区。为此针对该区目的层段,运用地震地层学和层序地层学原理,结合地表露头资料、区域沉积背景和前人研究成果,以三维叠前时间偏移地震数据为基础,采用地震相典型剖面人工解释与地震工作站软件平面预测相结合的手段,对其进行地震相平面展布预测,同时结合DY1井钻井资料和测井相解释结果,对沉积相带划分提出了新的认识。结果证实研究区须家河组二段地层属于三角洲沉积,主要的沉积亚相为三角洲平原和三角洲前缘,有利储层为位于后期构造变形轴部的叠置分流河道及河口坝砂体,储层致密,但裂缝发育。预测结果与DY地区正在钻探井十分吻合。

**关键词** 地震相 沉积相 层序地层学 DY地区

## 1 地质概况

DY油气勘探区位于龙门山冲断带的前缘隐伏构造带内,是龙门山前缘断褶带内的重点局部构造勘探区。该区构造虽然复杂,但构造变形程度适度,有利于油气的运聚和保存。邻近的雾中山露头剖面资料揭示,DY地区须家河组二段(须二段)主要岩性为浅灰至灰白色中细粒长石石英砂岩,局部夹粉砂岩及泥岩透镜体。整套砂岩由底部具有冲刷面的多个正粒序韵律组成,冲刷面上常见扁平泥砾、菱铁矿砾和少量石英砾石,韵律顶部偶夹冲刷残留的泥岩透镜体或扁豆体,厚约300m。前期研究认为,DY地区须家河组沉积时期主要处于以网状河为主的沉积环境,主要微相为网状河道、堤岸、决口扇和泛滥平原沼泽等。

## 2 地震相特征及平面展布预测

地震相是指有一定分布面积且与相邻区域地震

波场特征不同的三维地震反射单元,它是在某种沉积环境下形成的岩性组合及沉积建造特征在地震剖面上的综合反映<sup>[1]</sup>。

### 2.1 DY须家河组二段层序内部地震反射特征

依据地震勘探基本原理,地震反射波的不同参数特征代表不同的地质含义。反射波特征结构能揭示沉积过程、沉积物源及特定的沉积相带。DY地区须二段内部地震反射结构主要为代表陆相三角洲沉积的前积以及丘状反射结构。

(1) S形斜交前积 分布于研究区目的层段的构造主体部位,由许多相互平行的倾斜反射层组成,其上倾方向顶超于上界面,下倾方向下超于下界面之上(下超点比较模糊),后续地层的新的前积段几乎完全是在沉积的下倾方向上建造的,水平的S形顶积层反射与具有顶超的斜交结构共同存在,地震反射连续性较差,振幅变化大,向盆地和向陆地方向沉积厚度都变薄。S型斜交前积代表沉积物供应速度快、水流复杂交替的高能沉积环境。该反射结构是DY地区须二段地震反射的主要结构(图1)。

(2) 丘状反射结构 剖面上分布于研究区目的

\* 四川省成都市成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室,610059  
本文于2008年2月28日收到,修改稿于同年11月10日收到。

层段中的优质储层时窗内,平面上也分布于构造轴部,由不规则的、不连续亚平行反射组成,常有许多非系统性的反射终止和同相轴分裂现象,波动起伏

幅度小,侧向变为比较大的丘状反射结构,这可能是三角洲平原和前缘上分流河道砂体内部的主要反射结构<sup>[2]</sup>(图2)。

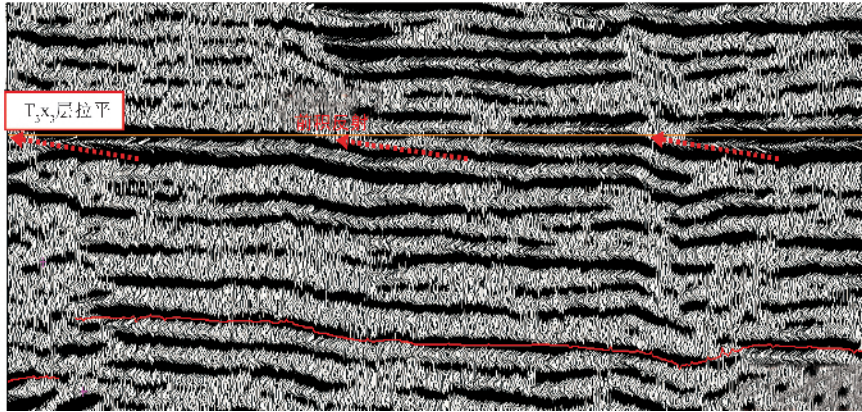


图1 须二段内部典型的前积反射特征

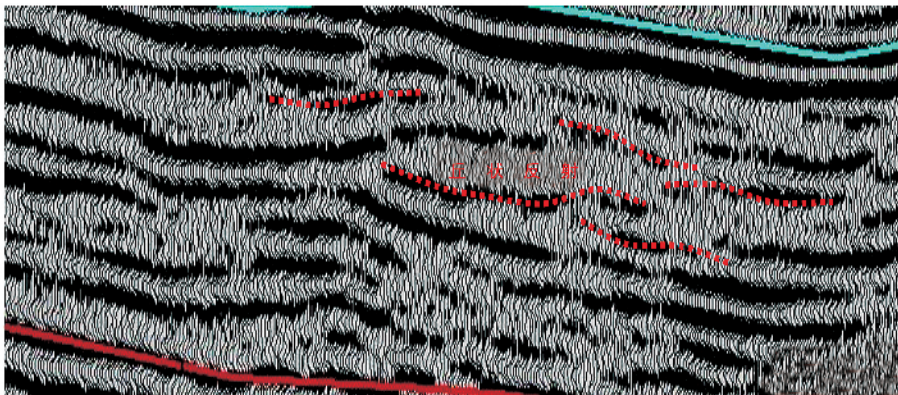


图2 须二段内部典型的丘状反射特征

## 2.2 基于波形分类的地震相平面预测

地震道波形是地震振幅、相位、频率的综合反映。波形分析能客观地反映岩层的横向变化。基于波形分类的地震相分析原理,即运用人工神经网络分析、统计聚类分级分类以及层位尖灭识别等技术和方法对地震道波形进行分类,把代表同一类沉积相的地震反射波分为一类,并以此来揭示同一沉积相带<sup>[3]</sup>。

笔者利用工作站上的解释处理软件(为了相互验证,研究中同时运用EPOS(Stratimagic)和Landmark的波形分类模块(前者可以得到分类的具体地震波形,易于用井标定;后者看不到波形,但分类平面规律性更强,易于相带识别和划分),在储层精细标定基础上,沿目标反射层的时窗内进行地震波形分类处理预测。

由DY地区须家河组二段地层单剖面上主要地

震反射特征可知,地震相预测的目标主要是预测代表三角洲沉积的前积及丘状反射结构分布。从DY1井的井旁道对Stratimagic得到的波形分类标定来看(图3),地震道与井合成道具有较好的匹配性,波形分类图中的7类波形中的前三类主要代表以砂质沉积为主的分流河道和河口坝的响应波形,后四类主要代表以泥质沉积为主的分流间湾和沼泽平原的响应波形。分析Landmark波形分类(与Stratimagic分类图基本一致)的平面特征不难发现(图4b),第5类中等强度地震反射波形与三角洲叠置河道及河口坝(砂岩)沉积相对应,其他主要是与非河道类高频弱振幅的反射波形与泛滥平原沼泽(泥岩)相对应,这与检测前积反射的半波时间能量属性图<sup>[6]</sup>预测的三角洲前积反射结构分布区域吻合很好(图4a),也与DY1井钻井结果一致,故上述分类预测是可靠的。

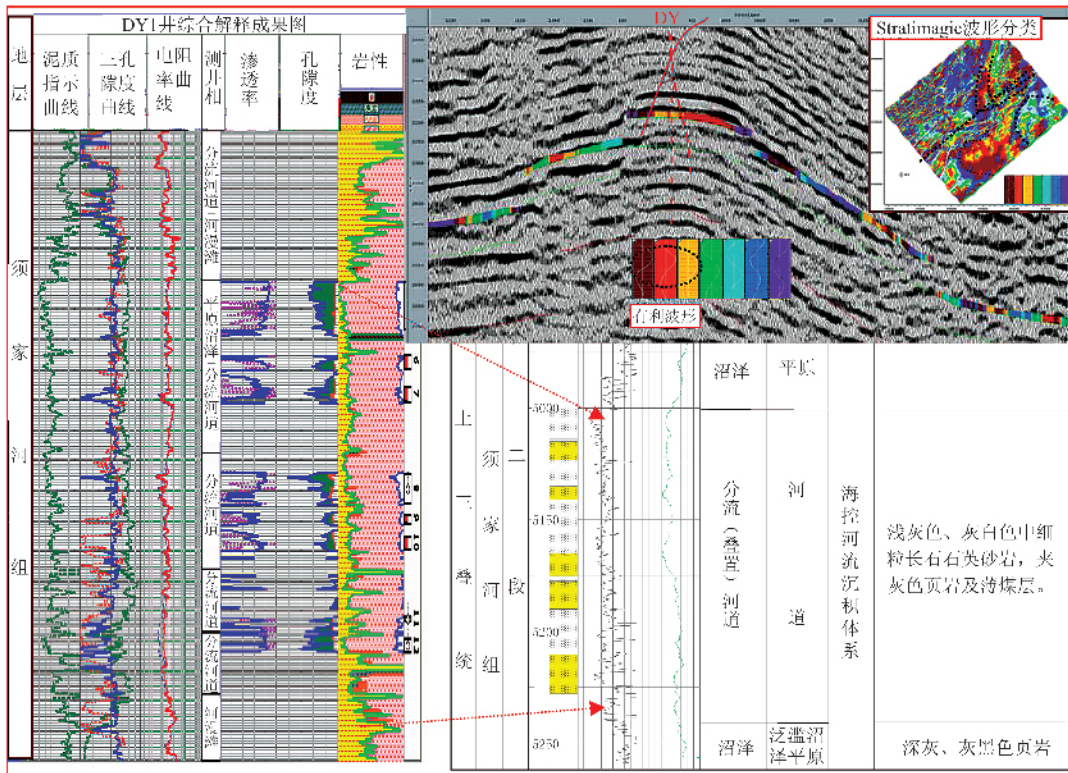


图 3 DY1 井须家河组二段测井相(左)、地震相(右上)和沉积相(右下)

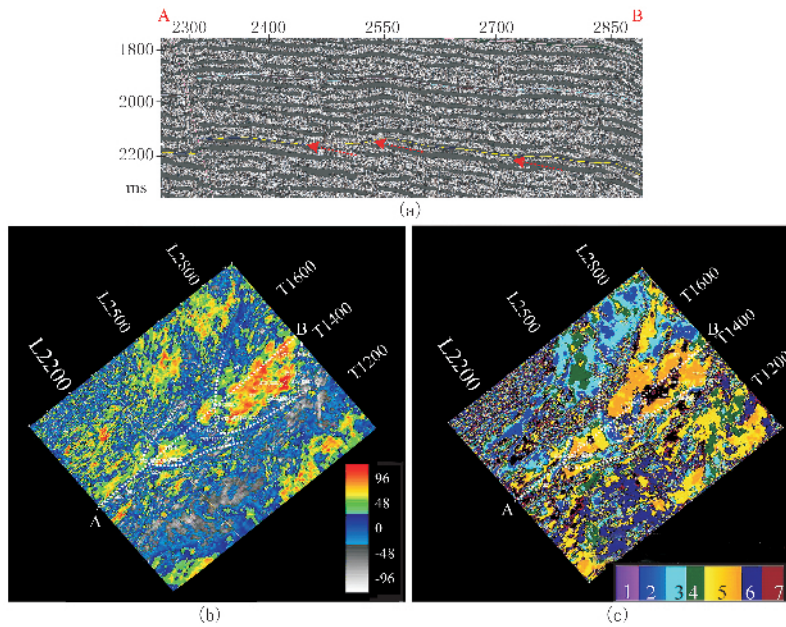


图 4 DY 地区须家河组二段地震相平面预测图

(a) 典型地震剖面; (b) 半波时间能量属性图; (c) Landmark 波形分类图

### 3 DY 地区须家河组二段层序地层划分

Hamilton 等关于煤层作为划分非海相盆地成

因地层层序边界的理论认为,只有在保持适当的水平面和大范围的植物生长而且缺乏碎屑沉积的时候,丰富的泥炭才能以煤的形式聚集和保存<sup>[5]</sup>。当然煤层的规模取决于控制的过程,而控制的过程又反过来决定了产生煤层的厚度和延伸的范围。在

陆相沉积盆地中,煤层、煤线的形成是陆源碎屑沉积物供给中断导致的,这种中断可以是盆地构造运动和气候变化引起的异旋回,也可以是由于河道变迁、水体摆动引起的自旋回。但不论怎么样它们的形成总是代表着碎屑沉积间断形成的不同级别的层序界面,再加之煤层、煤线以及碳质泥页岩中煤素质的成分又是原始泥炭形成植物以及泥炭沼泽环境的物理化学条件函数,故在测井资料上容易识别和对比,所以它们可以很好地用来识别和划分层序界面。

本次研究的主要目的层须家河组二段主要属于LSC3长期层序,该段地层煤层、煤线以及碳质泥页岩

发育,故在对其进行中期旋回和短期对比划分时,主要参考D. S. Hamilton等的利用煤层、煤线识别层序方法原理,结合层序划分中的异旋回和自旋回理论,以DY1井钻、测井资料为基础,以须家河组二段中的煤层、煤线和富碳质泥页岩为中期旋回和短期旋回划分标志,把DY地区须家河组二段长期层序(LSC3)划分为由其异旋回形成的两个中期旋回和自旋回形成的四个短期旋回,划分情况见图5、图6。

从图5、图6中可以看出,须家河组二段长期旋回主要是一个进积式准层序,代表水位不断升高、物源供给量大于可容纳空间增加量(相对水位下降)的沉积特征。而中期旋回可以分为一个进积式准层序

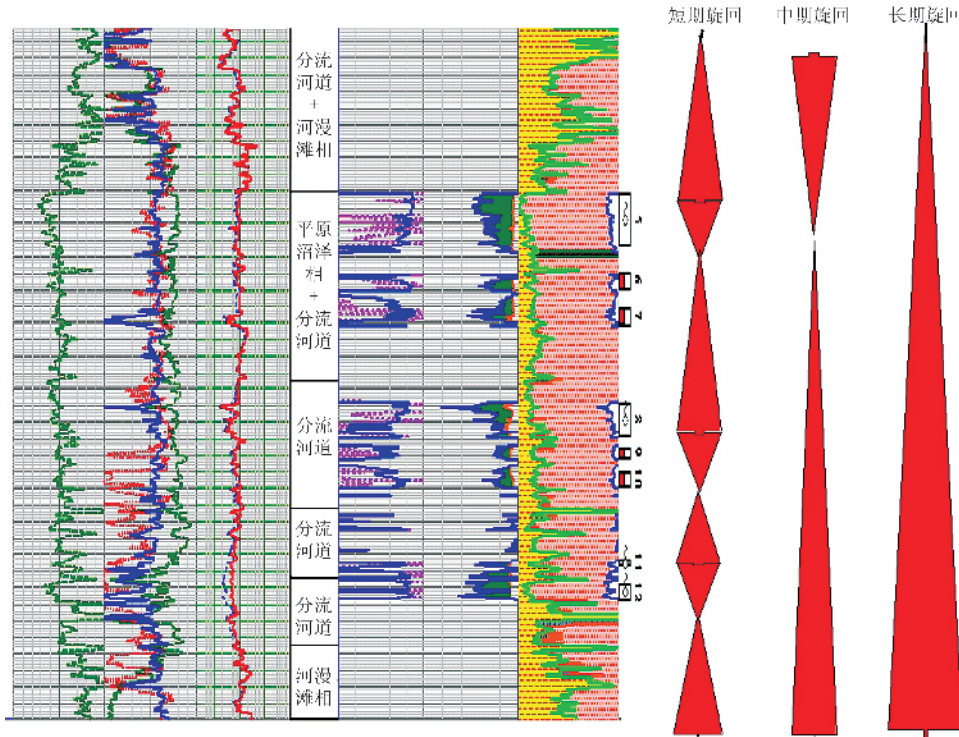


图5 DY1井须家河组二段高分辨层序划分

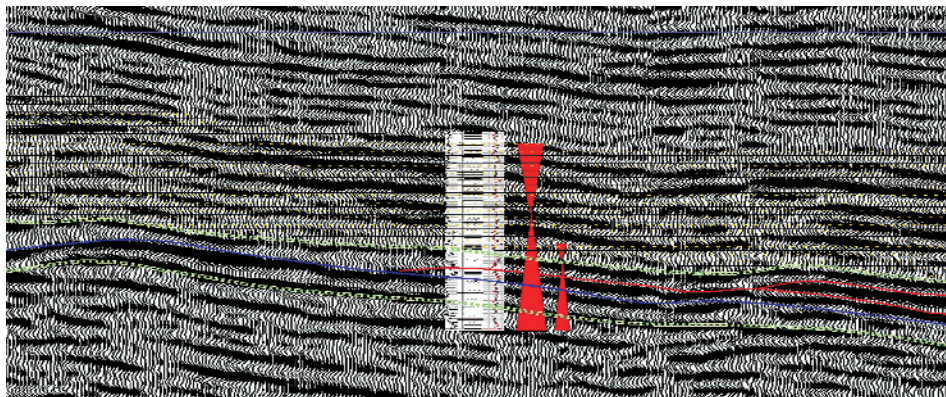


图6 DY地区须家河组二段层序划分地震剖面特征

和一个退积式准层序。进积式准层序是沉积物沉积速率大于可容空间增长速率的结果,从地震剖面的特征上可以看出较新的准层序依次向着盆地中央推进。尽管进积准层序组中的每个准层序都是向上粒度变粗、水体变浅的沉积序列,但是对于整个进积式层序组来说,在盆地的某个位置,自下而上砂岩厚度不断增大,泥岩厚度不断减薄,砂泥比值增大,总体构成一个向上水体变浅的准层序堆砌样式。该沉积序列在自然伽马曲线、自然电位曲线上的响应为厚层高振幅箱形、漏斗形特征。退积式准层序是沉积物沉积速率小于可容空间增长速率的结果,整个退积式层序组自下而上砂岩厚度不断减小,泥岩厚度不断增大,砂泥比值降低,总体构成一个向上水体变深的准层序堆砌样式,是海侵体系域的沉积响应。

## 4 沉积相平面分布预测

### 4.1 前期研究认识

前期研究认为,川西地区须家河组主要为网状河体系沉积,发育的主要微相有网状河道沉积、堤岸沉积、决口扇、泛滥平原沼泽。在须二段沉积时期,松潘—甘孜三角形海槽发生褶皱变形,导致川西地区产生被动沉降,形成大陆边缘残余前陆盆地沉积,因龙门山此时还未大面积隆升成陆,物源主要来自东侧的隆升剥蚀区,川西拗陷从东到西依次分布有辫状河平原→曲流河平原→网状河平原,推测现今的龙门山推覆带上分布的三角洲沉积已被剥蚀,DY地区处于网状河相带。

### 4.2 沉积相研究的新认识

利用从DY新处理的高精度三维叠前时间偏移数据体得到的地震相预测结果和重新处理解释的DY1井信息,结合前人的认识和区域地质研究成果,对DY地区须家河组二段沉积相研究提出了新的认识: DY地区须家河组二段处在被动沉降的中心位置,盆地沉降与沉积相对均衡、气候温暖潮湿、地理位置处于入湖的关键位置,沉积厚度大于凹陷其他地区,其沉积相属于受河、湖控制的三角洲相,主要沉积亚相为三角洲平原和三角洲前缘,其上分流河道具有快速充填、稳定、多河道、相互连接、低梯度和低弯度以及侧向上受限制等特征<sup>[4]</sup>。单从研究区看,沉积物源主要来自工区南部和东南部(与前人研究的区域认识存在差异,可能为河道局部改道的

结果),从工区最南端一直到DY1井附近主要为三角洲平原亚相(或者是平原亚相与前缘亚相的过渡带,可能有河口坝沉积),其后区域主要为三角洲前缘亚相。

### 4.3 沉积相新认识的主要依据

通过分析三维叠前时间偏移地震资料和已钻井DY1井资料,可以得到两条主要的沉积亚相划分依据:

(1)测井解释、录井结果和取心资料都揭示,DY1井在须二段存在煤线及高碳质的泥页岩夹层,故应该属于水上泛滥平原沼泽沉积<sup>[6]</sup>;钻井、测井相研究表明,DY地区须家河组二段厚层砂体内冲刷现象十分明显、河道沉积特征清楚,主要砂岩储层均为分支河道砂,同时在叠前时间偏移地震剖面上DY1井处的地震反射波特征也缺乏三角洲前缘的反射结构特征(前积反射),而前积反射大量出现在DY1井以北,故推断DY1井附近应该属于水上的三角洲平原亚相(至少是平原与前缘过渡地带,可能有河口坝的沉积)。

(2)叠前时间偏移地震资料在DY1井以北地区须家河组二段的主要地震反射结构为具有代表意义的前积反射结构。众所周知,在三角洲沉积环境中,前积反射结构是三角洲沉积相中三角洲前缘的代表性地震反射结构<sup>[7]</sup>,故推断DY1井以北区域为水下的三角洲前缘亚相(没有钻井资料证明,仅利用地震反射特征推断)。

### 4.4 沉积相综合预测

区域资料表明,川西前陆和内陆湖盆的雏形期大体上代表了须二段早、中期沉积相组合。通过露头剖面沉积相分析、测井相研究,发现川西地区须家河组主要为暗色的含煤碎屑岩建造,其中须二段在盆地东西两侧沉积厚度差异大(龙门山前可达700~900m,川中地区100~150m左右),主要为以粗碎屑砾岩沉积为主的冲积河流和三角洲(主要为三角洲平原)环境,说明该时期川西龙门山一带已有陆岛隆起,具有前陆盆地雏形。研究认为三角洲平原亚相不仅分布在前龙门山一带须家河组二段沉积时期,而且在本次研究的DY地区须家河组二段沉积时期亦为三角洲平原亚相(其主要发育于工区东南部),但从地震反射剖面结构分析,该区的沉积亚相是以三角洲前缘为主。

参考DY1井钻井资料,结合该区三维地震资料

的反射特征及地震相分析预测,认为该区主要是沉积物输入量超过新增长可容纳空间的“正常”湖退下的三角洲建造,主要沉积微相有三角洲平原上的水

上分支河道沉积、堤岸沉积、泛滥平原沼泽与三角洲前缘的水下分支河道、河口坝、分流间湾、天然堤、决口扇等<sup>[8]</sup>,其平面展布如图7所示。

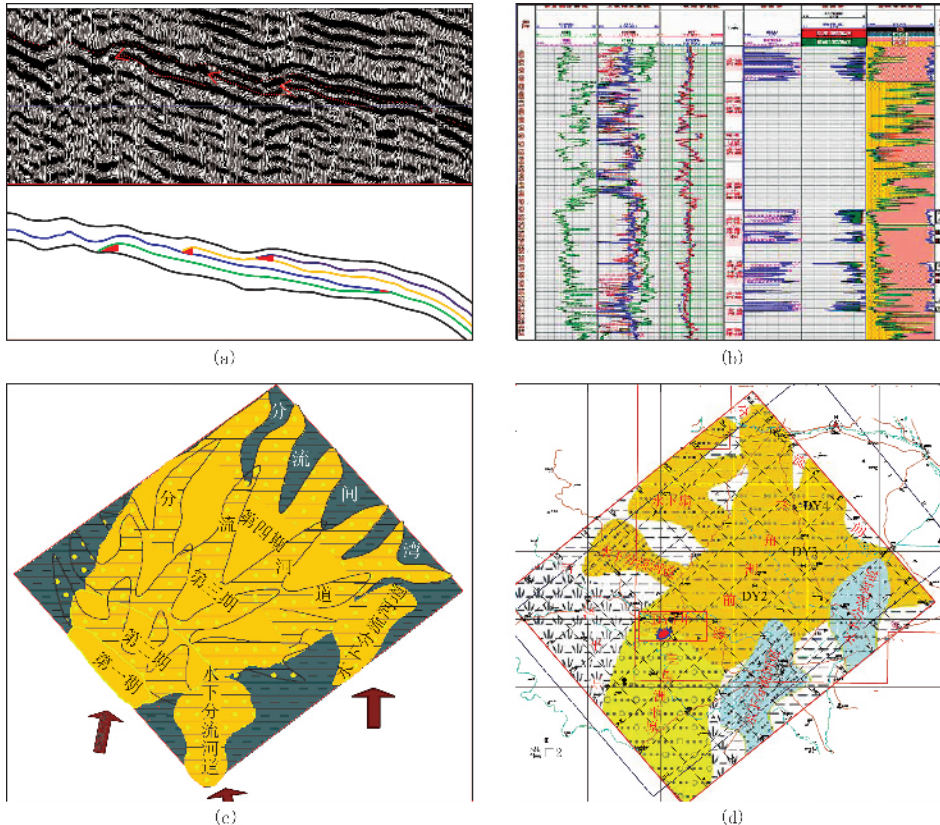


图7 DY须家河二段沉积相预测组图

(a)前积反射结构示意图;(b)沉积相模式图;(c)测井成果分析;(d)沉积相预测平面图

## 5 结论与认识

(1)研究区三维叠前时间偏移地震资料品质较好,通过地震单剖面人工分析和工作站联合解释得到的地震相反射特征清楚,分布规律明显且已知钻井吻合程度高,结果可靠,可为勘探开发提供重要的支持。

(2)由于研究区仅有一口井揭开目的层须家河组二段,而且还未钻穿该层,故该区地震相到沉积相的转换可能存在边界不够精确、沉积微相划分不够详尽的局限。

(3)该区主要的有利沉积相区为三角洲分流河道叠置区(可能有河口坝砂体的叠入),结合其构造特征可推测,虽然DY须家河组二段储层埋深大,致密程度高,但主要砂体发育的沉积相带分布于构造轴部,后期构造变形作用影响大,裂缝可能发育,储集条件可能较好。

## 参考文献

- [1] 陆基孟等.地震勘探原理.北京:石油工业出版社,1982
- [2] 尹兵祥,王尚旭,杨国全等.渤海湾盆地东营—惠民凹陷古近系孔店组孔二段地震相与沉积相.古地理学报,2004,6(1):51~54
- [3] 赵力民.波形分类技术在隐蔽油藏预测中的应用.石油勘探与开发,2001,28(6):53~55
- [4] 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.矿物岩石,2006,26(2):106~110
- [5] 邱荣华等译.层序地层学译文集.北京:石油工业出版社,1996
- [6] 赵爽,李仲东,许红梅,李显贵.多子波分解技术检测含煤砂岩地层.天然气工业,2007,27(9)
- [7] 张翠兰译.用于储层预测和监测的地震属性技术.国外油气勘探,1998,10(2):220~231
- [8] 张延章.地震微相分析技术在大港滩海探区的应用.石油勘探与开发,2003,30(4):58~60
- [9] G M 弗里德曼, J E 桑德斯.沉积学原理.北京:科学出版社,1987,252~76

(本文编辑:冯小球)