

文章编号:0253-9985(2012)01-0061-09

塔里木盆地塔中卡1三维工区碳酸盐岩储层预测技术与应用

杨江峰^{1,2}, 关达², 朱文斌¹, 张学东², 向雪梅², 鄢达理²

(1. 南京大学地球科学与工程学院, 江苏南京 210093; 2. 中国石化石油物探技术研究院, 江苏南京 210014)

摘要:塔里木盆地塔中地区卡1三维工区前期勘探成果表明,奥陶系鹰山组碳酸盐岩储层以“裂缝、溶孔”型为主,但近期重新处理的地震数据中发现了一些“串珠、短轴状”强振幅地震反射异常体。针对这一现象,在新处理地震数据体的基础上,采用地震数字正演模拟、不连续性检测、古地貌恢复和地震多属性分析等技术,重新开展了卡1三维工区奥陶系鹰山组碳酸盐岩储层预测研究。结果表明,平面上呈“折线”状分布的强振幅异常体是火成岩的响应,而平面上呈散点状、剖面上呈“串珠”状的强振幅反射是较大尺度溶洞型碳酸盐岩储层的响应。这一成果已得到近期完钻井W20的证实,为本区下一步勘探部署开拓了新的方向。

关键词:不连续性检测;正演模拟;储层预测;碳酸盐岩;卡1三维工区;塔中地区

中图分类号:TE122.2 **文献标识码:**A

Carbonate reservoir prediction technology and its application in Ka-1 3D acreage in Tazhong area, Tarim Basin

Yang Jiangfeng^{1,2}, Guan Da², Zhu Wenbin¹, Zhang xuedong², Xiang Xuemei² and Wu Dali²

(1. Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093, China;

2. SINOPEC Geophysical Research Institute, Nanjing, Jiangsu 210014, China)

Abstract: Previous exploration and research results show that the carbonate reservoir spaces of the Ordovician Yingshan Formation in Ka-1 3D acreage in Tazhong area are dominated by fractures and dissolution pores. However, recent reprocessed seismic data reveal some bead-shaped and short-axis-shaped high amplitude anomalies in Ka-1 3D seismic data. For this reason, many techniques, such as numeral seismic forward modeling, incoherence detection, palaeogeomorphology restoration and multiple seismic attribute extraction, are integrated to re-predict the Ordovician YingShan Formation carbonate reservoirs in Ka-1 3D acreage. The results show that the zig-shaped strong amplitude anomalies in plane view represent igneous rocks, while strong amplitude anomalies being scattered in plane view and beads-shaped on profile represent carbonate reservoirs with large cavities. These interpretations have been verified by well W20 completed recently.

Key words: incoherence detection, forward modeling, reservoir prediction, carbonate rocks, Ka-1 3D acreage, Tazhong area

研究工区位于塔里木盆地中部(塔中)卡塔克隆起西端的卡1区块(图1)。前期地质研究认为,塔中地区是一个形成时间早且长期继承性发育的古隆起,该区奥陶系碳酸盐岩沉积由于长期出露地

表,具备了古岩溶缝洞型储层形成的优越条件^[1-6]。

目前,卡1区块主要勘探目的层是奥陶系鹰山组。工区内有完钻井9口,其中W1井在奥陶系鹰山组获得低产工业油流,其余几口探井在奥陶

收稿日期:2011-05-02;修订日期:2011-12-20。

第一作者简介:杨江峰(1980—),男,工程师、博士,地震解释和储层预测。

基金项目:国家科技重大专项(2008ZX05005-002-05);中国石化西北油田分公司研究项目(KT2009-067)。

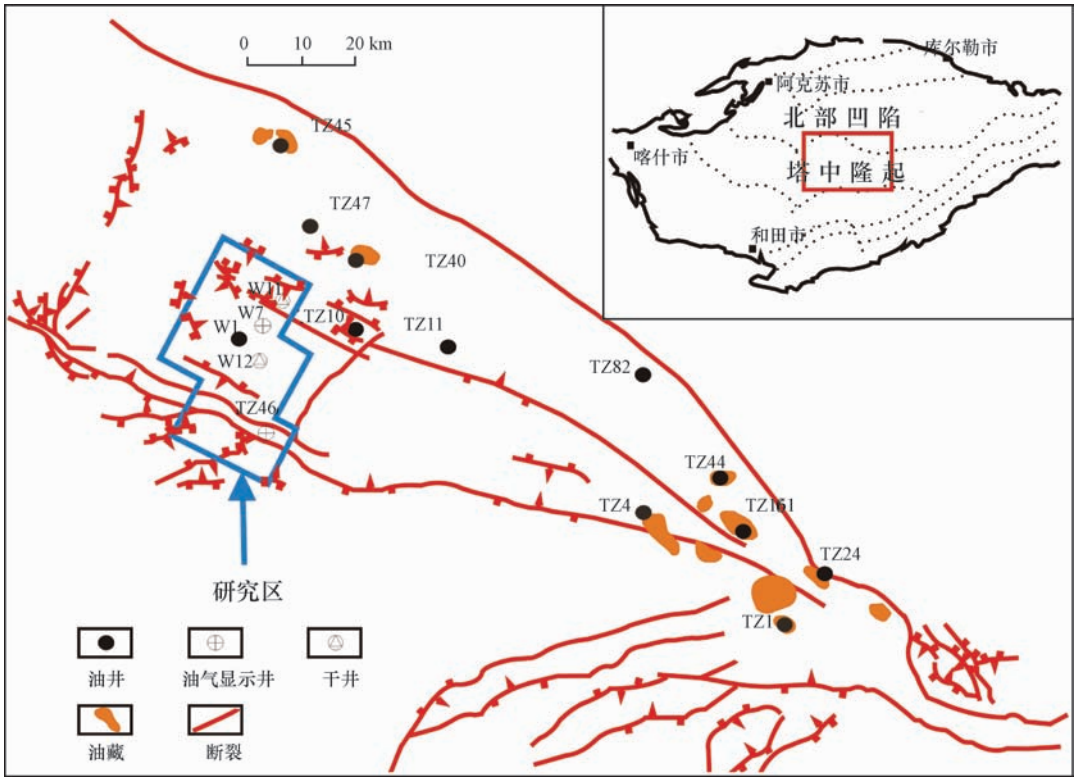


图1 塔中地区卡1三维工区位置

Fig. 1 Location of Ka-1 3D acreage in Tazhong area

系鹰山组均见良好的油气显示。从各井钻遇的储层来看,储层以小型溶孔、裂缝为主,储层的孔渗性较差。这类小尺度“溶孔、裂缝”型储层在地震响应特征方面未见明显异常,如何寻觅优质碳酸盐岩储层是本区勘探的一大难题。2010年对卡1三维工区地震数据进行了针对奥陶系碳酸盐岩储层的目标性处理,发现新处理后的地震数据中存在一些“串珠状、短轴状”的强振幅地震反射异常体。这些异常体是什么地质体的响应呢?为此,本文在新处理地震数据的基础上,利用地震数字模型正演、不连续性检测、地震属性分析和古地貌恢复等技术手段,重新开展了卡1三维工区奥陶系鹰山组碳酸盐岩储层预测研究,旨在探索本区“串珠状、短轴状”强振幅地震反射异常体的地质含义;同时预测了卡1三维工区奥陶系鹰山组有利碳酸盐岩的平面分布,为本区的下一步勘探部署提供依据。

1 地震资料目标处理

地震资料的品质是储层预测的基础,也是储层预测的关键。塔中地区存在两种类型的有利储

集体:古生代薄层砂岩储层(厚度在30 m左右)和中、下奥陶统厚层碳酸盐岩储层(厚度大于100 m)。针对这两大类主要储层,前期地震资料处理和储层预测做了大量的尝试,取得了一定的进展。地震处理主要以提高分辨率和信噪比为目标,处理后的地震剖面整体分辨率较高,但在中、下奥陶统出现了高频噪音、波组连续性较差、不能真正反映奥陶系碳酸盐岩内幕的地层展布特征。

从邻区的勘探成果来看,除孔-缝型储层外,塔中地区高产井也钻遇了一些较大尺度的孔洞,而这些孔洞能够在地震剖面中形成“串珠状、羊排状”强振幅反射^[7-10]。怎样才能保证对“串珠”在地震资料处理中准确成像呢?根据塔河油田的勘探经验,这就要求在整个地震资料处理流程中尽量做到保幅处理,尽可能保留有效信息。Kirchhoff叠前时间偏移处理技术是一种高精度地震资料处理的有效手段。该技术具有很强的观测系统适应性、快捷的速度分析、高运算效率和高精度资料成像等特点,尤其是对由于断层、孔洞体等产生的绕射波可以准确归位,目前此技术已广泛应用于地震资料处理^[11-12]。

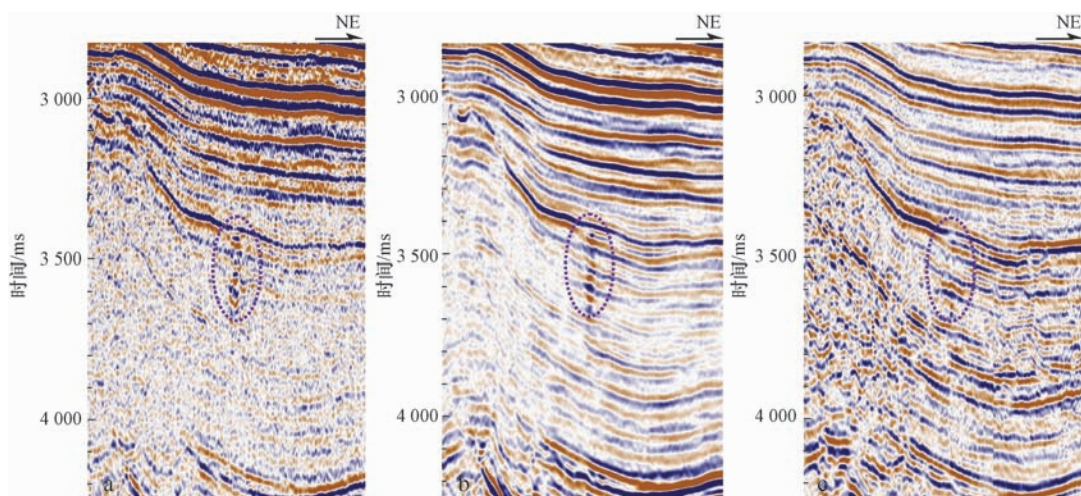


图2 不同技术流程处理结果

Fig.2 Processing results by different technical flow charts

a. DMO 叠加-FX 偏移;b. 叠前时间偏移(纯波);c. 叠前时间偏移(滤波)

由于本区奥陶系内幕地震资料原始单炮信噪比较低,本次目标处理在前期进行了3次地表一致性剩余静校正和精细速度分析的基础上,采用 Kirchhoff 叠前时间偏移处理技术,对卡1三维工区约 1 000 km² 地震资料进行了重新处理。由不同参数处理得到的数据对比表明(图2),图2a“串珠体”得到了成像,但是总体剖面信噪比较低;图2b不但对“串珠体”精确聚焦,剖面信噪比也较高;图2c是后期加了增益叠前时间偏移的数据,“串珠体”刻画不够清晰。由此说明本次地震处理参数选择得当,取得了高品质的地震资料(图2)。后续研究是基于本数据体开展的。

2 储层预测技术

2.1 地震正演模拟技术

针对塔河地区较大尺度的缝洞型储集体的地震波长特征,前人从缝洞的“尺度、形态、充填的流体”等方面做了大量研究,包括物理模拟和数字模拟^[8,13-16]。这些实验模拟进行时缝洞内的充填物一般为低速体,如空气、水或者油,研究表明,在菲涅尔半径内的低速体充填缝洞体均能产生“串珠状”地震反射特征^[8,14]。但是塔中卡1区块有个特殊情况——火成岩发育。2007年根据地震剖面上强振幅反射异常体部署的W7井在奥陶系鹰山组曾钻遇37 m的火成岩。因此,本区的正演

模拟不仅要考虑低速充填物,也得考虑高速充填物。

本次研究采用双层结构模型(图3):上覆介质层速度为2 000 m/s,下伏介质层速度为5 000 m/s(相当于塔中碳酸盐岩层速度)。结合前人研究经验及本区地震资料分辨率,在下层介质中设置大小25 m×25 m的孔洞体,其填充速度从左至右依次为1 000,2 000,⋯,9 000 m/s。采用这样的充填速度,主要试图探索高速孔洞和低速孔洞的地震波场响应特征。

采用点震源激发方式,主频设置为26 Hz,炮间距50 m,检波距20 m,采样率2 ms。从正演模拟的结果来看(图4),在孔洞体填充物和围岩之间速度差大于1 000 m/s的情况下,不论是高速体充填还是低速体充填的孔洞体,均可以产生“串珠”状反射特征;在相同速度差的情况下,低速填充的孔洞产生的“串珠”反射能量强、“串珠”的拖尾长;孔洞体速度和围岩速度差异越大,产生的“串珠体”能量越强、拖尾越长;高速和低速充填的孔洞体产生的“串珠体”存在一定的相位差;低速孔洞体产生的串珠对下伏地层成像有明显下拉,形成“白烟囱”现象。以上特征表明,具有一定速度差的“低速充填的孔洞”和“高速充填的孔洞”均能产生“串珠”状地震响应特征;利用“串珠”特征只能识别孔洞体的空间位置,但对于孔洞体内部充填流体的性质只是一种定性的描述。

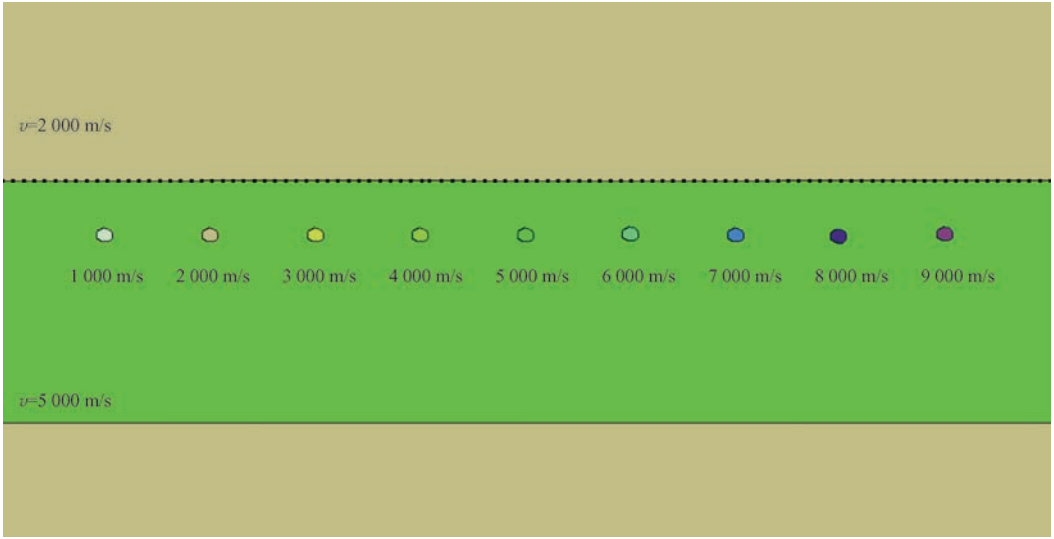


图3 不同速度孔洞体地质模型

Fig. 3 Geological models of vugs with different velocities

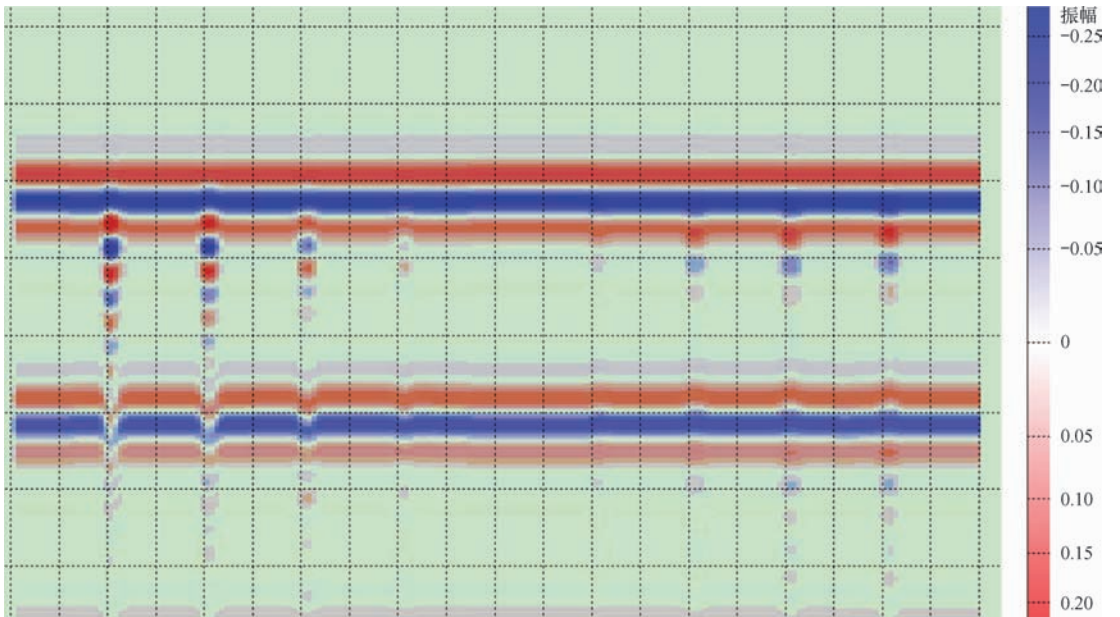


图4 不同速度缝洞体地震响应特征

Fig. 4 Seismic responses of fractures-vugs with different velocities

2.2 不连续性检测技术

统计数据表明,就碳酸盐岩岩溶风化壳储层而言,多数是由孔、洞、缝以不同的方式组成,形成空间展布复杂、体积大小不等的储集体。针对这种特征,常用的不连续性检测手段有相干属性分析、边缘检测、曲率计算及应力和应变变量分析等。这些方法在不同地区的碳酸盐岩储层预测中取得了一定的成功。本次研究采用基于协方差矩阵本

征值相干的第三代高精度相干技术^[17-24]。

在三维地震数据体中,由相邻的 I 道,每道 J 个样点的数据子体构成的矩阵为^[18]:

$$D = |x_{i,j-m}|_{I \times J} \quad (1)$$

式中: D 是地震数据子体矩阵; x 是地震数据; i 是计算时窗内的道号; j 是计算时的样点序号; m 是相邻道时窗的延迟时间,它反映的是该地层沿该测线方向的视倾角; I 是计算相干值时的地震道数; J 是计算时窗内的样点总数。每一列

代表第 I 道地震数据的 J 个样点值,每一行代表每一道同一时间样点的值,则 D 的协方差矩阵为:

$$C_{J \times J} = D_{J \times N}^T D_{N \times J} \quad (2)$$

式中: C 为 D 的协方差矩阵;上标 T 表示矩阵 D 的转置; N 是计算时窗内的样点总数。

方程(2)中协方差矩阵 C 的本征值的数目及大小表示数据子体中有多少个自由度。因此,最大本征值在本征值整体中所占有的份额就是该子体中的相似性,即

$$R_c = \frac{\max(\lambda_i)}{\sum \lambda_i} \quad (3)$$

式中: R_c 表示互相关系数; λ_i 是矩阵的第 i 个本征值。

相干体属性多算子本征值相干算法以多道或多个子体为对象进行道比较和相似性计算,同时进行基于层位的倾角和方位角估计,并从常规数据的纵测线地震显示上估计真倾角最大值来定义离散视倾角范围。此算法最大的优点是抗噪能力和分辨率更高。

2.3 基于古地貌研究的岩溶发育区带预测技术

由于塔中地区经历了多期的不整合,古地貌恢复一直是个难题。目前常用的古地貌恢复方法有:沉降速率法、声波时差法、镜质体反射率法、波动方程法和趋势法等^[25-29]。这些传统的古地貌恢复方法往往需要做大量的测试,所得到的结果依旧存在一定的误差。因此,本文采用了“残余地层厚度法”来预测古地貌。该方法最大的优点就是简单、快捷,直接利用地震资料就能够准确预测古地貌的相对高低。

首先,得根据钻井精细标定在地震数据体中拾取地层的顶、底界面(T_1 和 T_2);然后,利用这两界面间地层的厚度来预测古地貌特征。如果 T_1 和 T_2 之间的地层厚度大,则该区域就是古地貌低洼的部位;反之, T_1 和 T_2 之间地层厚度较小的区域,也就是古地貌高部位,这些区域可能存在地层的剥蚀,是有利的岩溶发育区域。

2.4 强振幅属性检测技术

前面的模型正演以及邻区的勘探成果表明,缝洞体能够产生“串珠”状强振幅地震反射特征。

根据本区新处理的地震资料分析,“串珠”体的振幅值大小是围岩振幅值的 3.5 倍以上,因此可以通过均方根振幅、最大波峰振幅、振幅变化率及强振幅的检测来识别“串珠体”的空间展布特征。强振幅的拾取和检测需要注意两点:一是要选取合理的振幅门限值;二是要注意纵向时窗的大小,要保证横向上具有强振幅特性且纵向上有连贯性^[30-35]。

3 应用效果

本次研究利用卡 1 三维新处理的地震数据体,在地质规律的指导下,结合本区孔洞正演模拟的波场特征,利用古地貌分析、协方差矩阵本征相干分析、强振幅聚类和多属性融合等技术方法,重新对该三维区奥陶系鹰山组碳酸盐岩储层进行了预测(图 5,图 6)。

图 5 是卡 1 三维工区沿鹰山组不整合面向下 150 ms 内的强振幅体和鹰山组沉积时期的古地貌叠合图。图中,蓝色圆点表示强振幅的平面展布特征;背景是中、上奥陶统残余地层厚度图,绿色表示残余地层厚度大即古地貌低,黄、红色表示残余地层厚度小即古地貌高。从强振幅体的平面展布特征来看,强振幅体基本沿着北西向展布,这一规律与古地貌的高部位很好地吻合。地质综合研

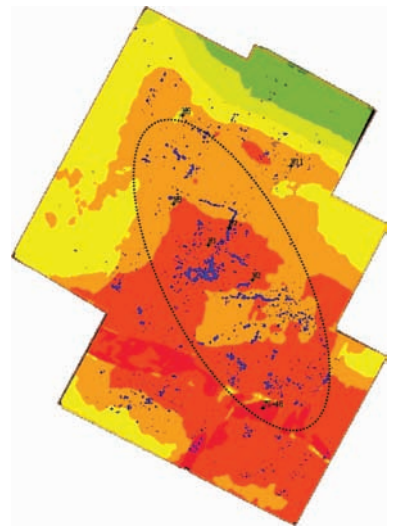


图 5 塔中地区卡 1 工区三维强振幅和古地貌叠合图

Fig. 5 Overlay map of high amplitude and paleogeomorphology in Ka-1 3D acreage in Tazhong area

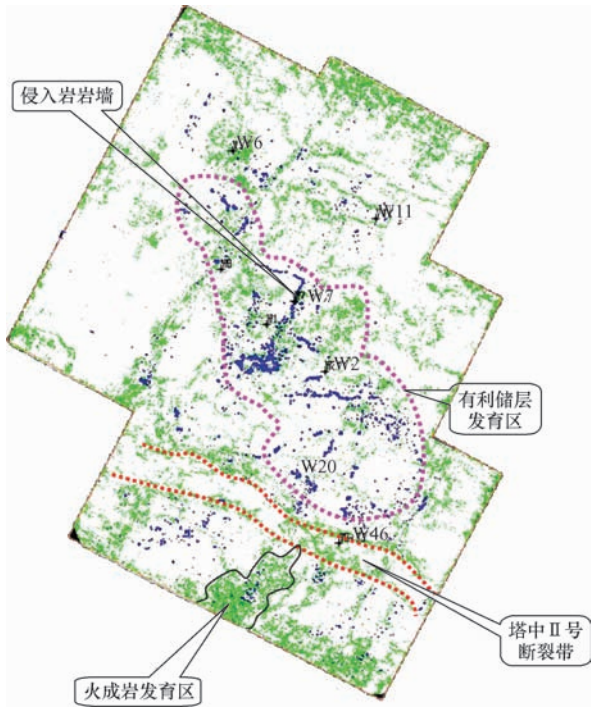


图6 塔中地区卡1三维工区裂缝和孔洞预测叠合图
Fig. 6 Overlay map of predicted fractures and vugs in Ka-1
3D acreage in Tazhong area
(绿色是相干属性强的区域;蓝色的散点是“串珠”
在平面上的展布。)

究认为,塔中地区的岩溶模式有3种:①准同生期的大气淡水岩溶;②构造抬升-台地剥蚀-潜山大气水风化壳岩溶;③层序界面-断裂裂隙-热流流体的内幕埋藏岩溶。这3种岩溶模式的主要发育地貌有:①古隆起-高陡潜山;②斜坡-次级低凸起;③台内洼地-岩溶盆地^①。塔中“岩溶”储集体受不整合(层序)、古地貌和断裂作用等控制^[36]。这充分说明,卡1三维工区古地貌高点上的“串珠”很有可能是岩溶储层的地震响应。

本区前期多数钻井揭示的鹰山组储层以“裂缝、孔缝”型为主,本次研究利用本征值相干技术对裂缝性储层进行了预测。为了对本区裂缝型和孔洞型储层进行综合评价,特将鹰山组强振幅体和不连续性检测属性叠合(图6)。图中,背景颜色表示相干属性,其中白色表示相干值小、绿色部分是相干值大,相干值越大的区域即反映地层中裂缝越发育的区域;图中蓝色的圆点是“串珠体”在平面上的展布,这些“串珠”可能是溶洞的地震响应。

需要注意的是,图5和图6中部的“折线状”强振幅条带。2007年曾在该条带上部署W7井(图7)。该井钻遇的强振幅体在平面上呈“折线状”展布,在东西向地震剖面上呈“串珠状”,但平

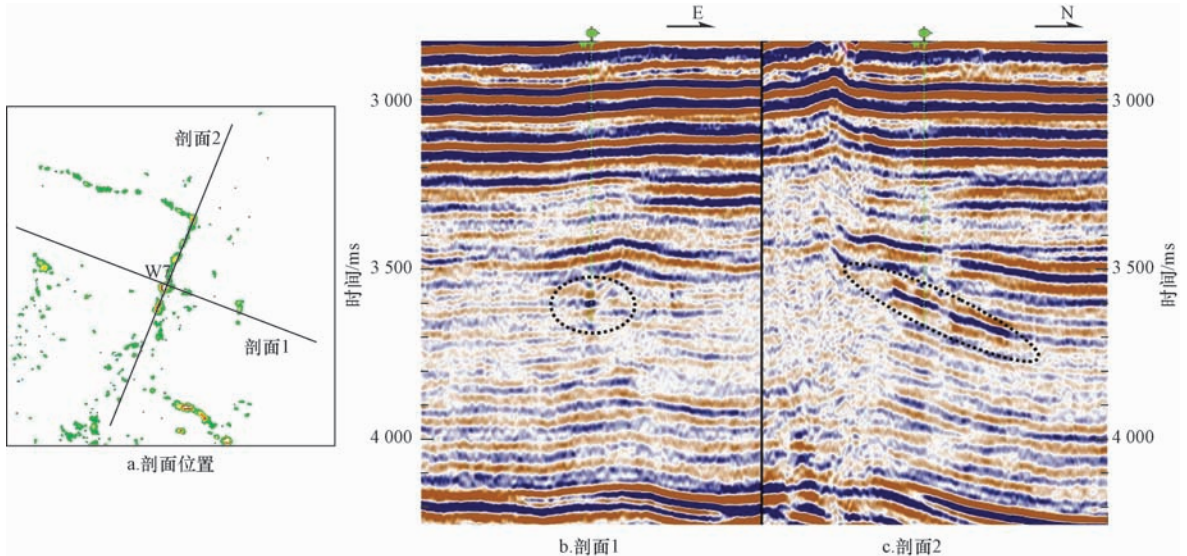


图7 塔中地区卡1三维工区火成岩侵入体地震响应特征
Fig. 7 Seismic responses of igneous intrusions in Ka-13D acreage in Tazhong area
(图7a中绿色是振幅属性;图7b,c为W7井过井剖面,纵轴是时间轴。)

① 钱一雄. 塔中围斜区东河砂岩及志留系勘探前景与目标评价. 中国石化西北油田分公司, 2008.

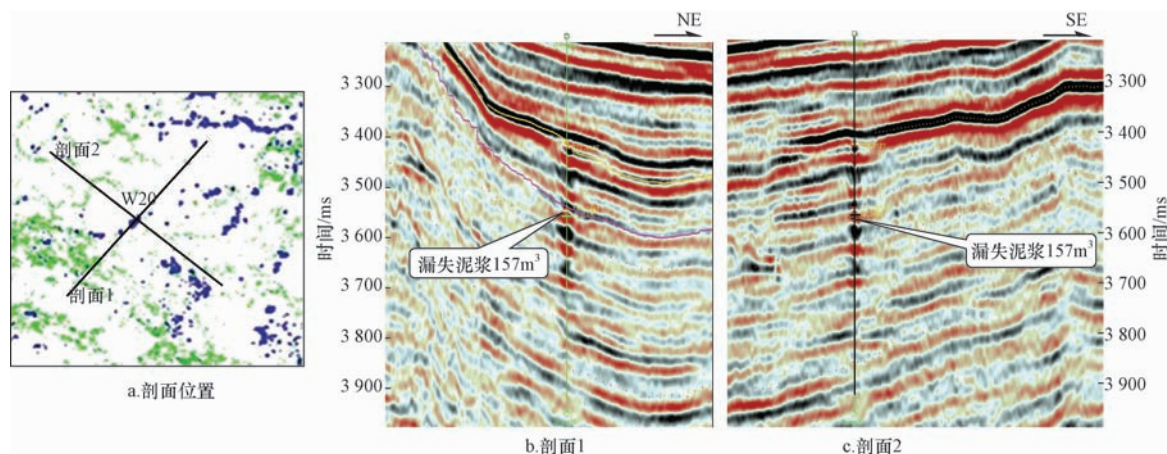


图8 塔中地区卡1三维工区缝洞型储层地震响应特征

Fig. 8 Seismic responses of fractured - vuggy reservoirs in Ka - 1 3D acreage in Tazhong area

(图8a中绿色是振幅属性;图8b,c为W20井过井剖面,纵轴是时间轴。)

行于强振幅走向的剖面却呈“短轴状”强振幅反射且没有“串珠”特征。根据W7井钻后合成记录标定,这一强振幅体是22 m辉绿岩的响应。因此,这一平面上呈“折线状”的强振幅条带是火成岩岩墙。

综上所述,“古地貌高部位、高相干属性区域、地震串珠响应”三者的叠合区很大可能是碳酸盐岩岩溶-缝洞发育区。如图6中的W1井区至塔中Ⅱ号断裂带北斜坡区的北东向条带是该区鹰山组碳酸盐岩有利储层发育区。其中,剖面上呈“串珠”反射、平面上呈“点状”的强振幅体可能是较大尺度孔洞储集体的响应;“串珠”拖尾越长,表示其内部充填物速度越低于围岩。根据这一预测结果,2010年部署的W20井在鹰山组“串珠”位置钻遇优质储层(图8)。该井段泥浆漏失 157 m^3 ,测井解释为溶洞。这充分证明了本次储层预测的有效性。

4 结论与认识

1) 针对塔中地区奥陶碳酸盐岩储层,在地震资料处理中“保幅”处理是关键,尽量避免在叠后过度去噪和滤波。

2) 本区奥陶系储层预测的关键是孔洞和裂缝检测,基于“模型正演、古地貌分析、不连续性检测和多图叠合”的储层预测技术系列能够有效预测本区优质碳酸盐岩储层分布。

3) 综合分析表明,塔中Ⅱ号断裂带北斜坡W1井区“裂缝发育带”和“串珠”叠合部位是有利

储层发育区,工区中部的“折线型”强振幅条带是火成岩岩墙的反映。

致谢:本研究得到了中石化石油勘探开发研究院、中石化西北油田分公司以及项目组等有关专家的大力支持,特别是何治亮、钱一雄、李慧莉、焦存礼等专家在地质认识上给以很大帮助,在此致以衷心的感谢!

参 考 文 献

- [1] 何治亮,陈强路,钱一雄,等.塔里木盆地中央隆起区油气勘探方向[J].石油与天然气地质,2006,27(6):770-777.
He Zhiliang, Chen Qianglu, Qian Yixiong, et al. Hydrocarbon exploration targets in central uplift area of Tarim basin[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(6): 770-777.
- [2] 翟光明,王建君.对塔中地区石油地质条件的认识[J].石油学报,1999,20(4):1-4.
Zhai Guangming, Wang Jianjun. Analysis of petroleum geology in Tazhong region[J]. Acta Petrolei Sinica, 1999, 20(4): 1-4.
- [3] 何治亮,彭守涛,张涛.塔里木盆地塔河地区奥陶系储层形成的控制因素与复合-联合成因机制[J].石油与天然气地质,2011,31(6):743-752.
He Zhiliang, Peng Shoutao, Zhang Tao. Controlling factors and genetic pattern of the Ordovician reservoirs in the Tahe area, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 31(6): 743-752.
- [4] 王世星,曹辉兰,靳文芳,等.碳酸盐岩缝洞系统地震响应特征分析和塔中卡1区缝洞储层预测[J].石油物探,2005,44(5):421-426.
Wang Shixing, Cao Huilan, Jin Wenfang, et al. Seismic response and prediction of fracture-cavity system in carbonate reservoir; a case study in the Ka-1 field[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2005, 44(5): 421-426.

- [5] 张松扬,范宜仁,程相志,等.塔中地区奥陶系碳酸盐岩储层测井评价研究[J].石油物探,2006,45(6):630-637.
Zhang Songyang, Fan Yiren, Cheng Xiangzhi, et al. Well logging evaluation of Ordovician carbonate reservoir in central Tarim basin[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2006, 45(6):630-637.
- [6] 舒志国,朱振道,何希鹏,等.塔中隆起奥陶系古岩溶储层发育特征[J].新疆地质,2008,26(3):274-277.
Shu Zhiguo, Zhu Zhendao, He Xipeng, et al. Reservoir characteristics of palaeokarsts in the Tazhong uplift[J]. Xinjiang Geology, 2008, 26(3):274-277.
- [7] 闫晓芳,陈景阳.塔中地区奥陶系裂缝性碳酸盐岩储集层描述[J].新疆石油天然气,2005,1(3):21-23.
Yan Xiaofang, Chen Jingyang. Description of fracture carbonate reservoir in the Ordovician of Tazhong area[J]. Xinjiang Oil & Gas, 2005, 1(3):21-23.
- [8] 孙东,潘建国,潘文庆,等.塔中地区碳酸盐岩溶洞储层体积量化正演模拟[J].石油与天然气地质,2010,31(6):871-882.
Sun Dong, Pan Jianguo, Pan Wenqing, et al. Quantitative forward modelling of cavity volume in carbonate reservoirs in Tazhong area[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(6):871-882.
- [9] 张宏,郑浚茂,杨道庆,等.塔中卡塔克区块古岩溶储层地震预测技术[J].石油学报,2008,29(1):69-73.
Zhang Hong, Zheng Junmao, Yang Daoqing, et al. Prediction of paleokarst reservoir in the southeastern slope of Tazhong area in Tarim Basin using seismic techniques[J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(1):69-73.
- [10] 邹森林,苏娟,俞益新,等.卡塔克隆起卡1三维区奥陶系特殊地震反射体特征及属性探讨[J].中国西部油气地质,2006,2(3):311-316.
Zou Senlin, Su Juan, Yu Yixin, et al. Study of feature of special seismic reflector in Ka1 3D seismic area of Katake Uplift[J]. West China Petroleum Geosciences, 2006, 2(3):311-316.
- [11] 王者顺,樊佳芳,高鸿,等.塔河油田叠后地震资料高保真处理技术[J].物探与化探,2004,28(5):437-442.
Wang Zheshun, Fan Jiafang, Gao Hong, et al. A study on post-stacked seismic data high fidelity processing in Tahe oilfield[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2004, 28(5):437-442.
- [12] 王汝珍,袁联生,李鹏,等.三维叠前时间偏移技术在塔河地区的应用[J].勘探地球物理进展,2006,29(5):360-369.
Wang Ruzhen, Yuan Liansheng, Li Peng, et al. Application of 3-D prestack time migration in Tahe oilfield[J]. Progress in Exploration Geophysics, 2006, 29(5):360-369.
- [13] 闫相宾,管路平,王世星.塔里木盆地碳酸盐岩缝洞系统的地震响应特征及预测[J].石油与天然气地质,2007,28(6):828-835.
Yan Xiangbin, Guan Luping, Wang Shixing. Seismic response characteristics and prediction of carbonate rock fractured-vuggy systems in the Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(6):828-835.
- [14] 赵群,曲寿利,薛诗桂,等.碳酸盐岩溶洞物理模型地震响应特征研究[J].石油物探,2010,49(4):351-358.
Zhao Qun, Qu Shouli, Xue Shigui, et al. Study on the seismic response characteristics on the physical of carbonate cave[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2010, 49(4):351-358.
- [15] 李剑锋,赵群,郝守玲,等.塔河油田碳酸盐岩储层缝洞系统的物理模拟研究[J].石油物探,2005,44(5):428-432.
Li Jianfeng, Zhao Qun, Hao Shouling, et al. Physical modeling of the fracture-cave systems of carbonate reservoirs in Tahe oilfield[J]. Geophysical Prospecting For Petroleum, 2005, 44(5):428-432.
- [16] 王立华,魏建新,狄帮人.溶洞物理模拟地震响应及其属性分析[J].石油地球物理勘探,2008,34(3):291-296.
Wang Lihua, Wei Jianxin, Di Bangren. Seismic response of karst cave physical model and analysis of its attributes[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2008, 34(3):291-296.
- [17] 袁国芬.塔河油田碳酸盐岩储层地球物理响应特征[J].石油物探,2003,42(3):318-321.
Yuan Guofen. The geophysical characteristics of carbonate reservoirs in Tahe oilfield, Tarim Basin[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2003, 42(3):318-321.
- [18] 王石兴,关 Luping, 朱 Hailong. Prediction of fracture-cavity system in carbonate reservoir: a case study in the Tahe oilfield[J]. Applied Geophysics, 2004, 1(1):56-62.
- [19] 朱成宏,黄国骞,秦瞳.断裂系统精细分析技术[J].石油物探,2002,41(1):42-48.
Zhu Chenghong, Huang Guoqian, Qin Tong. Methods for detailed fracture system description[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2002, 41(1):42-48.
- [20] 王彦君,雍学善,刘应如,等.小断层识别技术研究及应用[J].勘探地球物理进展,2007,30(2):135-140.
Wang Yanjun, Yong Xueshan, Liu Yingru, et al. Identification of minor fault and its applications[J]. Progress in Exploration Geophysics, 2007, 30(2):135-140.
- [21] 王玉学,韩大匡,刘文岭,等.相干体技术在火山岩预测中的应用[J].石油物探,2006,45(2):192-196.
Wang Yuxue, Han Dakuang, Liu Wenling, et al. The application of coherence technology in the volcanic reservoir prediction[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2006, 45(2):192-196.
- [22] 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.
Yuan Shujin. A review of seismic coherence techniques[J]. Progress in Exploration Geophysics, 2007, 30(1):7-15.
- [23] 孙夕平,杜世通.相干体技术算法研究及其在地震资料解释中的应用[J].石油大学学报,2003,27(2):32-35.

- Sun Xiping, Du Shitong. Development and application of algorithm of coherency cub technique to seismic interpretation[J]. Journal of the University of Petroleum, 2003, 27(2): 32-35.
- [24] 余德平, 曹辉, 郭全仕. 断裂系统的解释与储层预测中的三维相干技术[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(1): 101-105.
- She Deping, Cao Hui, Guo Quanshi. 3D coherence technique in fault system interpretation and reservoir prediction[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(1): 101-105.
- [25] 俞益新. 碳酸盐岩岩溶型储层综合预测概述[J]. 中国西部油气地质, 2006, 2(2): 189-193.
- Yu Yixin. Synthetic prediction of carbonate karst reservoirs[J]. West China Petroleum Geosciences, 2006, 2(2): 189-193.
- [26] 龚洪林, 潘建国, 王宏斌, 等. 塔中地区碳酸盐岩裂缝综合预测技术及其应用[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(6): 841-846.
- Gong Honglin, Pan Jianguo, Wang Hongbin, et al. Comprehensive fracture prediction technologies and their application to carbonate rocks in Tazhong area[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(6): 841-846.
- [27] 杨子川. 塔河油田碳酸盐岩储层预测技术与应用[J]. 勘探地球物理学进展, 2004, 27(6): 432-438.
- Yang Zichuan. Carbonate reservoir prediction technology and its application in Tahe Oilfield[J]. Progress in Exploration Geophysics, 2004, 27(6): 432-438.
- [28] 王振卿, 王宏斌, 龚洪林, 等. 塔中地区碳酸盐岩储层预测技术[J]. 天然气技术, 2009, 3(1): 23-26.
- Wang Zhenqin, Wang Hongbin, Gong Honglin, et al. Improvement of the coherency technique and its application in carbonate fracture reservoirs[J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 3(1): 23-26.
- [29] 杨江峰, 洪太元, 许江桥, 等. “趋势分析法”在准噶尔盆地腹部地层剥蚀量恢复中的应用[J]. 中国西部油气地质, 2006, 2(1): 83-86.
- Yang Jiangfeng, Hong Taiyuan, Xu Jiangqiao, et al. Application of trend analysis method in denudation recovery in the inner Junggar Basin[J]. West China Petroleum Geosciences, 2006, 2(1): 83-86.
- [30] 龚洪林, 王振卿, 李录明, 等. 应用地震分频技术预测碳酸盐岩储层[J]. 地球物理学进展, 2008, 23(1): 129-135.
- Gong Honglin, Wang Zhenqing, Li Luming, et al. Predicting carbonate reservoir by applying seismic spectral decomposition technique[J]. Progress in Geophysics, 2008, 23(1): 129-135.
- [31] 杨子川, 李宗杰, 窦慧媛. 储层的地震识别模式分析及定量预测技术初探[J]. 石油物探, 2007, 46(4): 370-377.
- Yang Zichuan, Li Zongjie, Dou Huiyuan. Seismic recognition model analysis and probe of quantitative reservoir prediction technology: case study of carbonate reservoirs in Tahe oilfield[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2007, 46(4): 370-377.
- [32] 张永升. 波形分析方法在碳酸盐岩储层预测中的应用[J]. 石油物探, 2004, 43(2): 135-138.
- Zhang Yongsheng. Prediction for carbonate reservoirs by waveform analysis[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2004, 43(2): 135-138.
- [33] 许杰, 赵永勤, 杨子川. 应用波形分析技术预测塔河油田缝洞型储集体[J]. 新疆石油地质, 2007, 28(6): 756-760.
- Xu Jie, Zhao Yongqin, Yang Zichuan. Waveform analysis technique and fissure-cavity reservoir prediction in Tahe oilfield[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2007, 28(6): 756-760.
- [34] 吕景英. 用波形分析法预测塔河油田碳酸盐岩储层[J]. 勘探地球物理学进展, 2004, 27(2): 112-116.
- Lü Jingying. Prediction of carbonate reservoirs using waveform analysis in Tahe oilfield[J]. Progress in Exploration Geophysics, 2004, 27(2): 112-116.
- [35] 蔡瑞. 碳酸盐岩地层反射结构分析与储层预测[J]. 石油物探, 2006, 45(1): 57-61.
- Cai Rui. Analysis on reflection structure and reservoir forecast in the carbonate stratum[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2006, 45(1): 57-61.
- [36] 高志前, 樊太亮, 刘忠宝, 等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系关键不整合性质论证及其对储层的影响[J]. 石油与天然气学报, 2005, 27(4): 567-569.
- Gao Zhiqian, Fan Tailiang, Liu Zhongbao, et al. Demonstration on key Ordovician unconformity of Tazhong area in Tarim Basin and its influence on reservoirs[J]. Journal of Jiangnan Petroleum Institute, 2005, 27(4): 567-569.

(编辑 李 军)