

塔中顺南沙漠区碳酸盐岩天然气藏三维地震勘探技术

陈明政,李宗杰,王保才

(中国石化 西北油田分公司,乌鲁木齐 新疆 830011)

摘要:塔中顺南沙漠区地表沙丘起伏大,地震信号吸收衰减剧烈,深层奥陶系碳酸盐岩目的层非均质性强,导致碳酸盐岩缝洞体及小断层成像精度不高、储层预测与圈闭落实难度大。为此,在该区统筹开展三维地震采集、目标处理、综合解释等一体化勘探技术攻关。首先,基于碳酸盐岩缝洞体目标优化采集方案设计,优化激发接收参数的采集技术,提高了采集数据质量;其次,在保幅、保真的前提下,形成了叠前时间偏移和逆时叠前深度偏移(RTM)成像技术等对奥陶系缝洞型储层反映敏感的关键参数及流程组合,提高了缝洞体及小断层的成像精度;再次,依据奥陶系碳酸盐岩储层类型及反射结构特征,分组段建立储层地震识别模式,开展储层敏感属性分析,形成了针对内幕缝洞型储层、一间房组储层及裂缝型储层的一系列储层预测及烃类检测技术;最终,建立了“断裂分区带、属性定边界”的圈闭落实与描述技术及“定类型、定控因、定模型、定技术、定目标”的“五定”目标优选与评价技术。多口钻井在该区实现天然气重大突破,证实了顺南沙漠区碳酸盐岩地层天然气藏的三维地震勘探技术的有效性及适用性。

关键词:碳酸盐岩;三维地震;储层预测;天然气藏;塔里木盆地

中图分类号:P631.4

文献标识码:A

3D seismic exploration technology of carbonate gas reservoir in Shunnan desert area of Central Tarim Basin

Chen Mingzheng, Li Zongjie, Wang Baocai

(Northwest Oilfield Branch Corporation, SINOPEC, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: In Shunnan desert area of central Tarim Basin, large sand-dunes with large relief cause great attenuation and absorption of seismic signals. In addition, the deep Ordovician carbonates have strong heterogeneity. All these unfavorable conditions give rise to poor imaging of the fractured-vuggy reservoirs and small faults, bringing significant difficulties to reservoir prediction and trap identification. Therefore, in this paper, a comprehensive research of 3D seismic acquisition, target-oriented processing and interpretation is carried out to solve the above problems. First, a better acquisition scheme based on fractured-vuggy carbonate reservoir imaging is designed, in which the shooting and receiving parameters are optimized to improve seismic data quality. Then, a series of imaging techniques like pre-stack time migration and RTM migration imaging with suitable key parameters for the Ordovician carbonate reservoirs are established to improve imaging precision of the fractured-vuggy carbonate reservoirs and small faults while preserving true amplitude. In addition, according to the seismic reflection features and types of carbonate reservoirs in the Ordovician, a set of reservoir prediction and hydrocarbon detection techniques for fractured-vuggy reservoirs and fractured traps is developed including seismic pattern recognition of reservoir in different stratigraphic section and sensitive attributes analysis. Finally, special techniques of traps prediction and characterization are developed and they divide different zones by using faults and define borders of traps by using attributes. Techniques featuring in five factors including type, genesis, model and technique are developed for target optimization and evaluation. Several wells discovered natural gas in this area, providing a solid proof for the effectiveness and applicability of 3D seismic exploration technology of carbonate gas reservoir in Shunnan Desert Area.

Key words: carbonate rock, 3D seismic, reservoir prediction, gas reservoir, Tarim Basin

塔中顺南地区位于卡塔克隆起 I 号断裂带以北的顺托果勒低隆起与古城墟隆起的结合部位,邻近满加尔生烃拗陷。顺南地区中、下奥陶统顶面现今构造呈

现为由东南向西北倾的宽缓单斜构造,自西向东依次发育多条近北东和北东东向的高角度走滑断裂带,延伸长度 50 ~ 150 km 不等,呈“X”型共轭关系。

收稿日期:2014-10-15;修订日期:2014-11-02。

第一作者简介:陈明政(1957—),男,高级工程师,油气勘探开发。E-mail:2500298861@qq.com。

基金项目:国家科技重大专项示范工程(2011ZX05049-004)

顺南地区地表被第四系松散沙层所覆盖,沙层厚度变化大。地面海拔约为1 100 m。沙丘相对高差约10~130 m。沙丘分布形态有规则的垄状,不规则的蜂窝状或是二者的复合形态,一般宽约500~4 000 m。表层结构大部分地区主要为三层结构,即低速层、降速层和高速层,低速层速度约为370~650 m/s,厚度为2~6 m。降速层厚度一般在2~70 m,高速层速度一般在1 600~1 800 m/s,地震波传播吸收衰减严重。

本区发育有震旦系、寒武系、志留系-泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系、白垩系、古近系和新近系,基底为前震旦系变质岩。各时代地层岩性和密度差异较大,存在多个明显的波阻抗界面,能获得 $T_3^0, T_4^6, T_5^0, T_5^4, T_5^6, T_7^0, T_7^2, T_7^4, T_8^1, T_9^0$ 等多个反射波组,其中 $T_5^0, T_5^4, T_7^4, T_8^1$ 地震反射波组为工区内标准反射波。前中生界侵蚀面 T_5^0 反射波和中上奥陶统顶面反射波 T_7^0 具有明显的上超下削特征。

顺南地区重点勘探层系为中、下奥陶统,其埋深多超过6 300 m,主要为碳酸盐岩缝洞型圈闭,纵横向非均质性强,地震资料信噪比低,储层预测、圈闭描述、落实及评价难度大。

前期二维地震区部署的多口探井见到良好油气显示,古隆1井、顺南1井获得工业气流,实现了天然气突破,但产量低,稳产时间短,不能满足高效勘探的需求。前期三维地震资料,由于受当时设备及技术条件的限制,奥陶系目的层信噪比偏低,碳酸盐岩储层特征不明显,预测难以满足勘探需求。

因此,根据本区勘探目标的地质特点和地表、地下地震地质条件,总结前期二维、三维地震勘探技术的经验与不足,通过采集、处理、解释一体化联合技术研究,逐步形成了针对塔中顺南沙漠区碳酸盐岩缝洞型天然气藏三维地震勘探技术,为塔中顺南地区的天然气勘探提供了技术支撑和地质科学依据。

1 沙漠区地震采集关键技术

顺南沙漠区中、下奥陶统目的层地震资料存在3个主要特点:一是目的层信噪比低、主频低和有效频带窄,二是干扰波发育且能量强,三是巨大沙丘造成的静校正问题突出。

顺南地区碳酸盐岩缝洞体主要受断裂、准同生期、深埋藏及热液溶蚀作用控制,如何获得较全面的断裂信息和缝洞体产生的绕射信息是该区地震采集的重点和难点。地震采集方法设计从观测系统和激发接收两方面入手,尽可能经济地、完整地采集到地下缝洞地质体的地震信息,重点提高中、下奥陶统的层间弱反射信噪比。

在沙漠地表和奥陶系碳酸盐岩缝洞型储集体的双重复杂地震地质条件下,开展了针对性研究,提出了技术经济的观测系统和激发、接收参数,为三维地震资料的获取奠定了基础。

1.1 基于缝洞体目标的观测系统设计

该区地震资料特点决定了观测系统的高覆盖、宽方位角。①高覆盖是保证奥陶系层间弱反射信号信噪比的前提;②宽方位角观测增加横向采样率、提高横向覆盖次数,为准确刻画和描述储层提供较全面、系统的基础资料;③较小束间滚动距离减弱较大排列片滚动带来的炮检距、方位角周期性变化引起的反射振幅周期性变化(即采集足迹),同时提高静校正耦合效果。

观测系统的设计思路为:根据顺南地区地球物理模型计算理论的观测系统参数,由地震资料的信噪比来计算观测系统覆盖次数,结合前期三维地震资料特点,通过属性分析优选方案,最后依据试验资料分析确定最终采集观测系统。

1) 覆盖次数

通过顺南实际资料分析可知(图1),120~160次剖面的信噪比随着覆盖次数增加而快速提高,160~220次剖面信噪比提高的趋势开始变缓,220~260次剖面信噪比基本相当,220次是覆盖次数与信噪比关系的拐点。古城三维160次地震资料显示目的层信噪比偏低,而顺南地区地表沙丘的相对高差及规模较小,激发接收条件略好,因此覆盖次数选取160~220次比较合适。

2) 面元尺寸

面元尺寸的大小对偏移剖面影响较大,面元越小,可偏移的频率就越高,也可降低偏移噪声。模型正演分析表明,面元越小,较小尺度缝洞体的识别能力就越强,因此,采用较小面元可保证较小尺度缝洞体的成像^[1-3]。

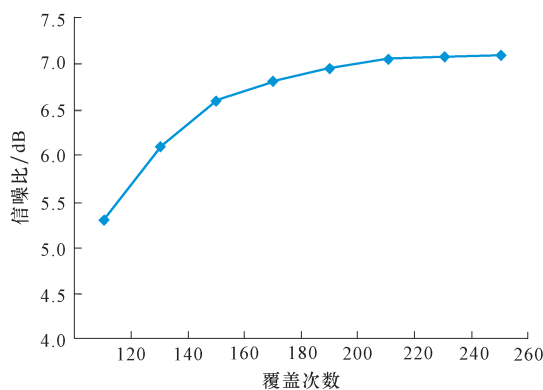


图1 塔里木盆地顺南地区覆盖次数与信噪比关系
Fig. 1 Relation between fold and S/N ratio
in Shunnan area, Tarim Basin

从模型参数的理论计算结果显示,考虑到 T_1^4 的成像要求,面元尺寸不应大于 26 m。结合塔河油田地区高精度三维的采集参数分析^[4],面元确定为 25 m × 25 m。

3) 方位角

本区奥陶系碳酸盐岩缝洞体与断裂、裂缝关系密切,应用较宽的方位角有利于断裂及缝洞成像和储层预测研究。当最大纵向炮检距一定,提高横纵比、拓宽方位角就必须增大最大非纵距。增大最大非纵距有三种途径:增加接收线数、拉大接收线距和增大束线滚动距离。通过对比分析后两者都会引起采集足迹,造成静校正耦合效果变差、面元内偏移距分布不均匀等问题。增加接收线数的优点是提高横向覆盖次数、增加横向采集信息,有利于缝洞型储层的空间成像,但同时也会带来地震采集成本的增加。

通过对正常 24 条接收线的观测系统退化处理成窄方位 12 条排列接收(接收线距 300 m、横纵比 0.283)和较宽方位 12 条排列接收(接收线距 600 m、横纵比 0.57)的信噪比分析,两者的覆盖次数完全一样,但窄方位 12 条排列接收的信噪比明显高于较宽方位 12 条排列接收,所以拉大接收线距来提高横纵比、拓宽方位角是不可取的。因此,本区采用 24 条接收线、接收线距 300 m、横纵比为 0.57 是合适的。

1.2 激发接收技术

精细表层结构调查是确定激发、接收参数的基础,

再结合点、线试验分析,确定了合理的激发、接收参数。

1) 激发技术

塔中沙漠区地震激发技术趋于成熟,潜水面以下高速层内激发是获得高品质地震资料的重要保证。但精细表层结构调查发现高速层顶面附近存在着岩性疏松的薄夹层——称为“低频层”(图 2),在该层激发的地震波能量弱、频率低。通过优化表层结构调查方法将其精确识别、查清其厚度及空间展布规律,并在低频层以下激发,能有效地提高地震波下传能量和资料品质,形成了一套系统的沙漠地区激发参数设计技术,并得到了推广应用。

2) 接收技术

顺南地区近地表的干沙层速度极低,一般在 170 ~ 300 m/s,其厚度在不同沙丘部位存在差异,平坦地区约为 0.1 m,沙丘迎风面约为 0.3 m,沙丘背风面约为 0.6 m。不同检波器埋深(0.4、0.6 和 1 m)的剖面试验对比分析,其信噪比、分辨率没有明显差别,所以检波器埋深不是影响地震资料品质的重要原因^[5]。根据沙丘部位来确定检波器埋置深度,只要检波器埋置在 0.4 ~ 0.6 m 左右避开干沙层就可以削弱表层吸收衰减,提高地震资料的信噪比。

组合检波是根据干扰波与有效波的特征参数来设计的,它是保证沙漠区地震资料品质的一个非常重要的方法。不同方向的干扰波采用不同的手段来压制:来自测线纵向的干扰波通过高覆盖次数的叠加来压制,来自侧向的干扰通过组合检波来削弱。盒子波调

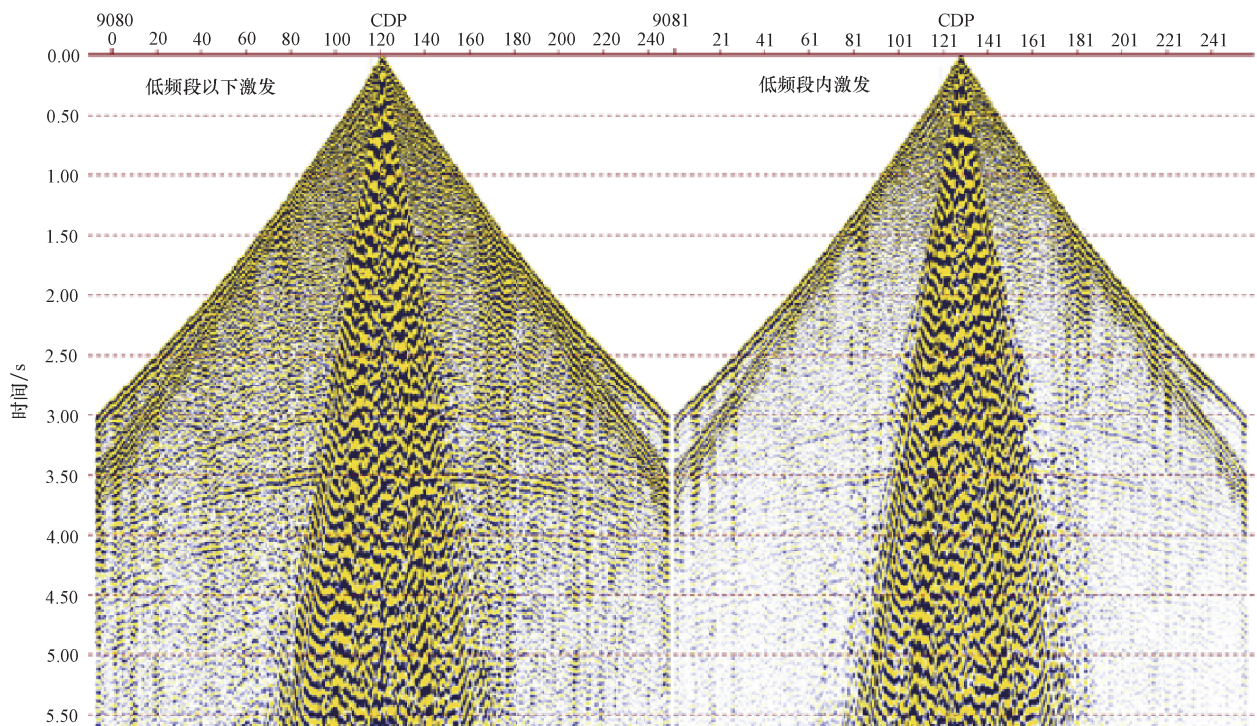


图2 塔里木盆地顺南地区低频段以内及以下位置激发单炮资料品质对比

Fig. 2 Comparison of seismic data quality of single shot within and below low-frequency section in Shunnan area, Tarim Basin

查和剖面试验分析认为,依据环境噪音相干半径来选择3~4 m组内距的、不等灵敏度的“品”字形面积组合对压制该地区的干扰十分有效。

2 缝洞体目标处理关键技术

塔中顺南沙漠区地震信号受起伏沙丘影响衰减强烈,地震资料信噪比整体偏低,品质较差^[6]。该区地震资料处理的核心是在保幅、保真的前提下,努力提高地震资料的信噪比,提高断裂、小断层及内幕不同类型储层的成像精度。通过深入研究对该区奥陶系缝洞型储层反映敏感的成像技术及参数,形成了叠前时间偏移及RTM偏移成像技术的关键参数及流程组合^[7],奥陶系缝洞型储层的成像精度不断提高。

2.1 叠前保真去噪技术

顺南沙漠区地震资料浅层信噪比稍高,奥陶系目的层段的信噪比非常低,存在严重的沙丘散射干扰,目的层碳酸盐岩缝洞型储层地震资料单炮主频在20 Hz以下,低频有效信号与面波重叠,在噪音压制过程中需要保护好低频有效反射信号^[8]。通过系统的去噪流程测试,形成了适合该区的叠前去噪技术思路,即在保幅、保真的前提下,采取差异化的处理方法和手段,应用“五分法”提高低信噪比区域地震资料的信噪比。“五分法”是指:①分步:在不同处理阶段,能量从强到弱,逐步衰减噪音;②分域:共炮、共偏移距、共中心点、十字交叉排列衰减噪音;③分频:分别在不同的频段压制不同的噪音;④分时窗:在不同反射时间采用不同的压噪参数;⑤分区:针对资料特点划分区域,不同区域采用不同去噪参数。

2.2 地表一致性处理技术

顺南沙漠区地震资料的能量、频率等受沙丘影响非常大,高大沙丘产生很强的散射噪音,随深度增加信号能量和频率衰减很快,造成地震资料频率、振幅空间差异很大。针对该区目的层埋深大,吸收衰减严重,有效信号能量弱、信噪比低等特点,通过测试研究形成了分步多次振幅补偿技术思路:首先做好真振幅恢复;其次,进行地表一致性振幅补偿处理,估计炮点、接收点、偏移距和CDP反射点的相对能量级,解决炮间和道间能量不一致性问题,保证处理资料在波组特征、振幅、频率、相位的一致性;最后,应用剩余振幅补偿技术,进一步补偿道集内部能量差异。这样,经过一系列的振幅补偿后,纵横向能量基本一致,剖面浅、中、深层的能量均衡,消除了沙漠区激发、接收能量不一致问题。

针对奥陶系缝洞系统成像,该区目的层地震资料主频不宜过高,研究认为采用地表一致性预测反褶积

较为合适,可以较好地消除地震资料频率的不一致性问题^[9-10]。同时,经过大量试验,利用井资料标定确定合适的反褶积参数,认为顺南沙漠区奥陶系目的层反褶积的预测步长不应太小,当预测步长为28 ms左右时,成像效果较为理想。

2.3 缝洞型储层速度模型建立

顺南沙漠区区域速度总体比较稳定,但奥陶系碳酸盐岩缝洞型储层非均质性强,局部存在速度异常,加上目的层信噪比低,针对缝洞型储层的速度场求取难度大。为了使得到的时间域速度模型取得较好的成像效果,通过对比研究认为,在叠前时间偏移成像阶段需要针对缝洞型储层分别进行线方向和道方向的速度分析调整,速度分析密度不能低于200 m×200 m,在纵向上,通过局部调整显示参数,提高奥陶系目的层速度分析的密度,精细刻画缝洞型储层的速度变化特征。

逆时叠前深度偏移技术(RTM)成像需要高精度的深度域速度模型。深度域速度模型的建立首先是利用Kirchhoff叠前深度偏移方法进行目标线叠前深度偏移,产生目标线CIP道集,进行速度优化迭代;然后采用井控-地质导向的网格层析技术,将测井速度和构造倾角、方位角等地层属性综合利用,进行网格层析速度反演,提高缝洞型储层速度模型的反演精度。

2.4 缝洞体RTM成像技术

逆时叠前深度偏移技术(RTM)是一种精度最高的叠前深度偏移方法,解决了地震波传播过程中的多路径问题,考虑了地震速度场的空间变化,再加上其算法的特殊性,为解决复杂构造、岩性问题的成像提供了一种有效的技术手段^[11-12]。针对塔中顺南沙漠区奥陶系碳酸盐岩缝洞型储层地震资料成像研究,经历了从叠前时间偏移到逆时叠前深度偏移(RTM)的发展,结果表明RTM成像在提高地震资料信噪比、提高断裂系统成像精度、突出奥陶系缝洞型储层地震反射特征方面具有一定优势(图3)。

顺南沙漠区常规的Ricker子波的成像频率偏低,缺乏一些低频和高频信息,经过对影响该区逆时叠前深度偏移(RTM)成像效果的主要因素的系统测试,认为采用Ormsby子波成像较为合适。偏移深度15 000 m,深度步长10 m,偏移频率范围0~80 Hz可以满足该区缝洞型储层成像精度要求。

通过以上关键技术的应用,成果剖面信噪比和分辨率较高,波组特征较好,构造形态可靠,断裂清晰,尤其是主要目的层地震反射特征清楚,缝洞体成像精度提高,为该区奥陶系碳酸盐岩储层预测及圈闭落实提供了可靠的地震资料。

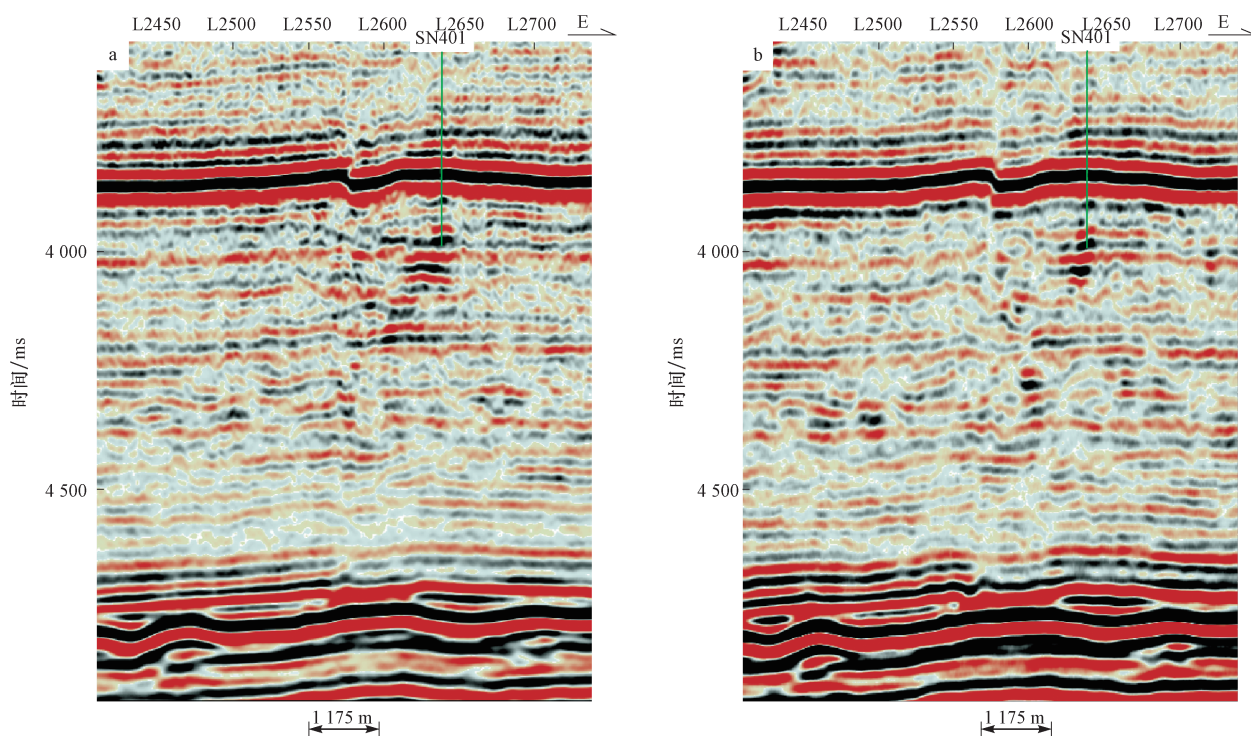


图3 塔里木盆地顺南地区过 SN401 井叠前时间偏移 a) 与逆时叠前深度偏移 b) 纯波剖面对比

Fig. 3 Comparison between PSTM a) and RTM b) section across Well SN401 in Shunnan area, Tarim Basin

3 碳酸盐岩储层预测及圈闭落实技术

3.1 碳酸盐岩储层地震波场特征

3.1.1 碳酸盐岩储层类型

钻井揭示顺南地区奥陶系碳酸盐岩主要发育一间房组、鹰山组和蓬莱坝组等3套储层,由于受断裂及准同生期、埋藏期、热液溶蚀作用等不同因素的影响^[13-16],储集空间类型、储层类型、储层发育规模及储层空间分布特征均存在差异^[17]。一间房组储集空间以裂缝、弱溶蚀孔为主,储层类型为裂缝型、孔缝型,裂缝充填严重;鹰山组储集空间主要以溶蚀孔洞、晶(粒)间孔、裂缝为主,储层类型为缝洞型、孔缝型、裂缝型,缝洞型储层沿顺南4井断裂带分布,与断裂带关系密切;蓬莱坝组储集空间以溶蚀孔洞、裂缝、白云岩晶间(溶)孔为主,储层类型为缝洞型、孔缝型、裂缝型。

3.1.2 碳酸盐岩地层地震反射特征

中、下奥陶统致密碳酸盐岩与上覆泥岩、灰质泥岩地层存在较大的速度差异,引起较大的阻抗差,从而形成中、下奥陶统顶面两谷夹一峰的连续强反射结构,一间房组、鹰山组及蓬莱坝组内幕由于波阻抗差异小,总体呈现弱反射特征。碳酸盐岩储层非均质性强、走滑断裂发育、储层类型多,使中、下奥陶统内幕地震反射

结构复杂,地震异常特征多样,例如:连续强反射、杂乱强反射、杂乱弱反射、连续弱反射、“串珠”、短板状等。

3.1.3 碳酸盐岩储层识别模式

通过顺南地区测井及岩石物理参数测试等资料的统计分析得出:①灰岩的围岩速度主要分布在5 900~6 200 m/s,白云岩速度变化范围在6 100~6 700 m/s;②Ⅰ类储层速度小于5 400 m/s,Ⅱ类储层速度范围为5 400~5 800 m/s,Ⅲ类储层速度范围为5 800~6 050 m/s。

根据顺南地区构造、断裂、地层结构、储层发育类型、围岩特征及岩石物理参数特征,建立符合顺南地区地下实际的地震地质模型,采用与本区三维地震采集相近的观测系统,利用有限差分波动方程算法开展数值正演模拟^[18-20],并结合井震标定,综合分析了各段的地震反射特征,建立了对应的储层识别模式。一间房组-鹰山组顶部储层识别模式:①一间房组顶部缝洞型储层发育使 T_4^1 界面波峰反射强度变弱,相位下拉;②一间房组中下部-鹰山组顶部缝洞型储层发育使 T_5^1 界面表现出中强波峰反射特征(图4)。中、下奥陶统内幕鹰山组、蓬莱坝组储层识别模式:①规模缝洞型储层引起“串珠”状强振幅反射特征(图4),振幅强度受缝洞体的规模和物性影响;②小规模缝洞型、孔缝型储层及裂缝型储层引起杂乱反射特征,信噪比降低,杂乱程度及振幅强度受储层类型、规模、发育程度影响;③断层储层表现为连续小串珠或空白反射。

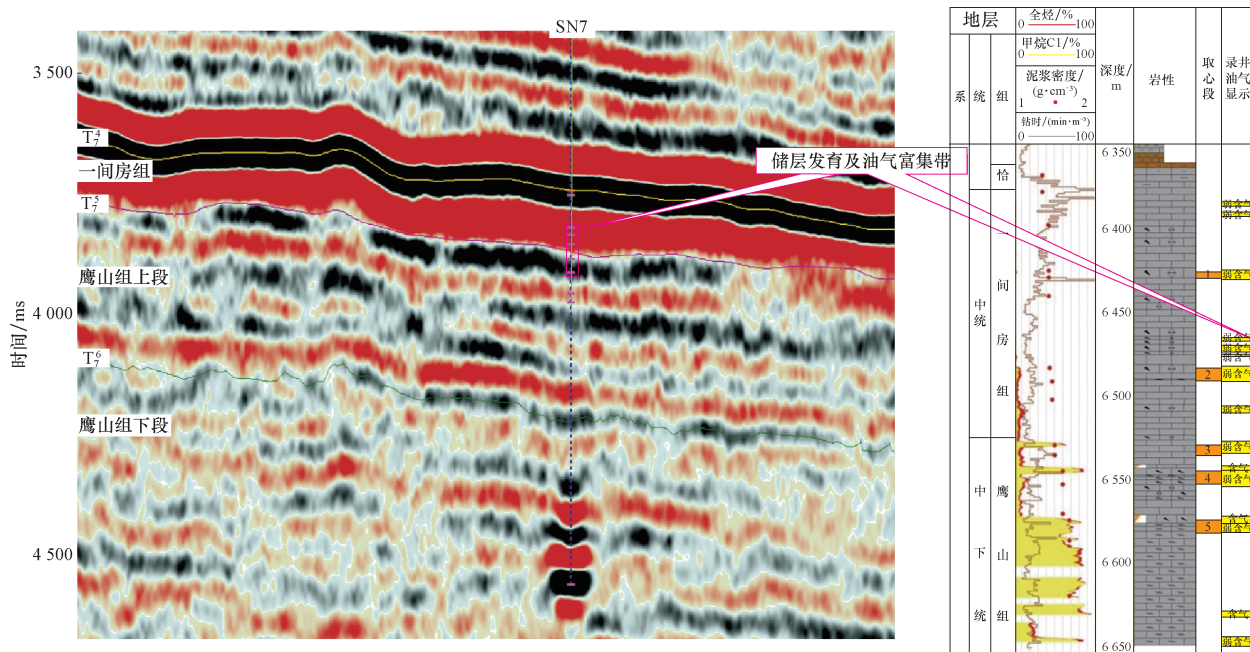


图4 塔里木盆地顺南地区 SN7 井一间房组储层标定

Fig. 4 Calibration of reservoirs in Yijianfang Formation of Well SN7 in Shunnan area, Tarim Basin

3.2 碳酸盐岩储层预测方法

依据顺南地区碳酸盐岩储层识别模式,分组段、分类型开展了储层地震敏感属性分析研究,建立了针对鹰山组、蓬莱坝组内幕缝洞型储层、一间房组储层、裂缝型储层等的预测技术组合,并探索了天然气检测技术。

3.2.1 内幕缝洞型储层预测

根据缝洞型储层地震识别模式,碳酸盐岩内幕规模缝洞型储层表现为振幅的突然增强,小规模储层或裂缝型储层引起杂乱发射,杂乱程度及振幅强度受储层类型、规模、发育程度,碳酸盐岩非均质性及噪音等多因素影响。采用的主要技术为均方根振幅、振幅变化率及波形聚类分析。均方根振幅主要应用于内幕小孔洞型及裂缝储层预测,振幅变化率技术主要应用于鹰山组、蓬莱坝组“串珠状”储层的预测,波形聚类分析,主要应用于小尺度缝洞型储层群的预测^[21]。

3.2.2 一间房组储层预测

钻井标定一间房组储层主要发育在中下部,引起 T_7^5 地震反射波之下波峰由弱变成中强反射特征,利用均方根振幅属性可以初步间接预测出一间房组储层展布范围,但存在一定误差。而利用子波分解技术^[22-24],分析对比子波分解不同分量与储层发育段的对应关系,结果认为子波分解第三分量波谷与瞬时相位属性对钻井储层及显示段反映敏感(图5),可以应用于一间房组储层预测。

3.2.3 裂缝型储层预测

裂缝型储层与断裂体系密切相关,顺南地区断裂级别差异较大,具有多期次叠加的特点,断裂样式多、平面展布特征复杂,靠单一方法技术已不能满足该区断裂精细描述的需求。根据该区断裂特点,形成了倾角-方位角属性刻画断裂走向,倾角曲率、最小曲率划分断裂级别,高精度本征值相干识别断点位置,相干-蚂蚁检测小断层、裂缝展布,多层曲率属性综合分析断裂期次的一系列断裂描述技术,为该区裂缝型储层预测提供了技术支撑^[25]。

3.2.4 天然气检测技术

针对天然气藏的特点,开展了叠前反演及衰减梯度天然气检测技术探索,叠前弹性反演与岩石物理性质具有非常紧密的关系,通过多井储层弹性参数敏感性综合分析表明,密度参数及泊松比参数对储层及其含油气性最为敏感。若储层中孔隙发育且饱含流体,当地震波通过时,高频能量衰减剧烈,当衰减梯度的绝对值越大时,储层含流体的可能性越大。分组段开展频率衰减梯度研究及分析,发现碳酸盐岩主要目的层的衰减梯度属性与叠前泊松比反演属性的含油气性预测结果较吻合,通过钻井验证,预测吻合率达到70%以上。

3.3 圈闭识别及落实技术

1) 圈闭边界划分依据

在顺南地区分层系、分类型开展缝洞型圈闭发现、

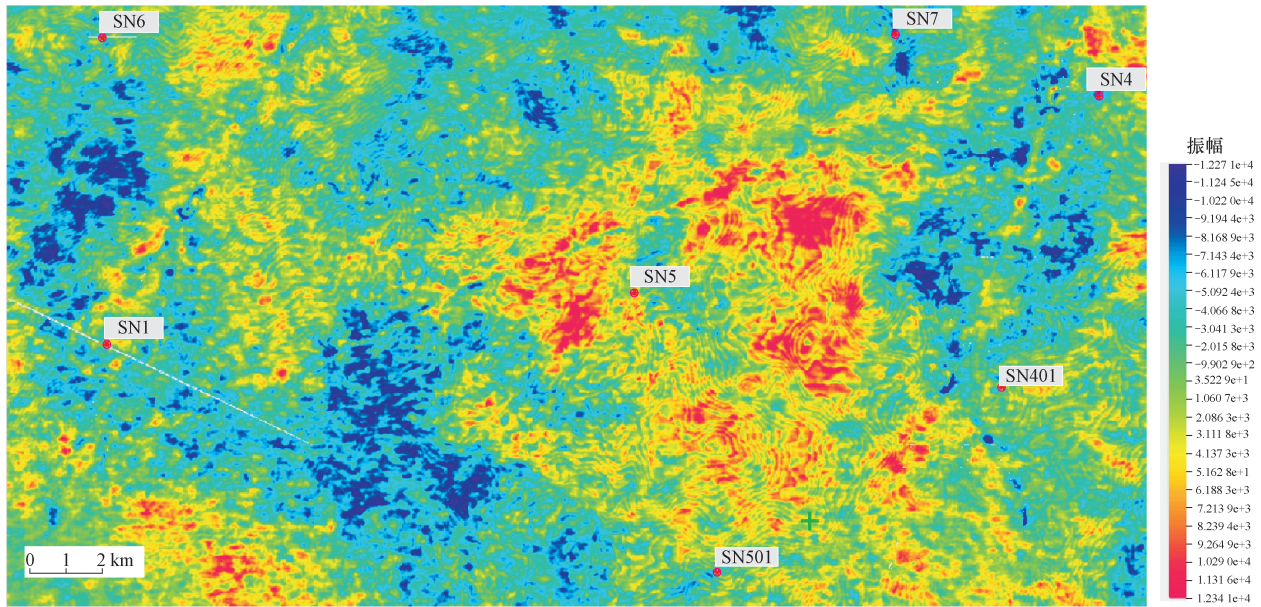


图 5 塔里木盆地顺南地区子波分解第三分量平面最大波谷振幅属性

Fig. 5 Maximum trough amplitude map of the third wavelet decomposition component in Shunnan area, Tarim Basin

落实研究,形成了“断裂定区带、属性定边界”的圈闭识别方法,根据与储层相关的构造特征划分储层有利发育区;结合断裂带展布特征细分储层有利发育条带,综合储层发育及盖层分布范围确定圈闭最终边界(图 6)。

2) 圈闭落实技术

利用已钻井资料标定储层对应敏感属性的门槛

值,进而刻画储层的发育范围;开展碳酸盐岩内幕局部盖层预测及分析评价研究,确定有利盖层分布范围。在圈闭落实的基础上,利用已钻井解释储层和油气的纵向分布规律,确定有利储层的时窗范围,参照储层敏感属性的门槛值,计算门槛内有利储层的 T_0 厚度,结合层速度计算圈闭的储层厚度。

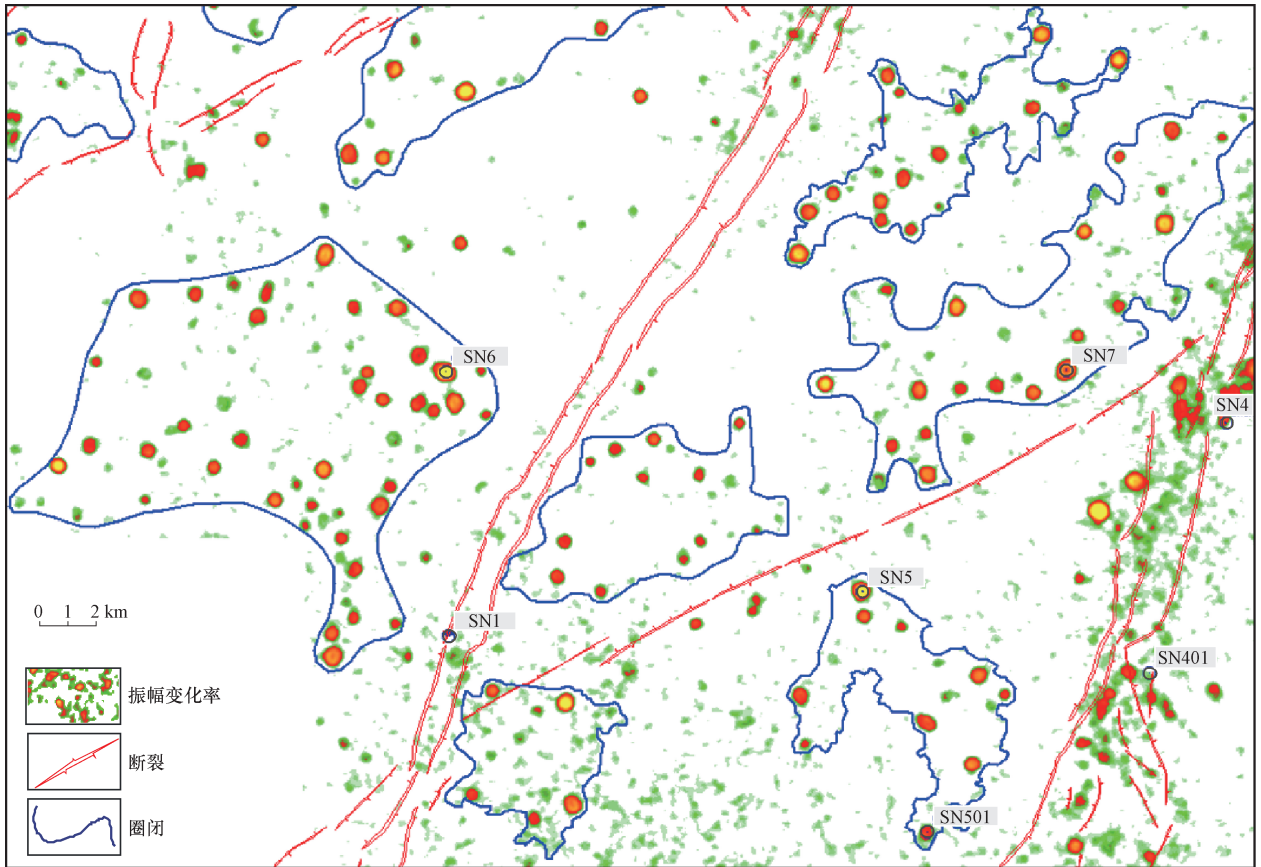


图 6 塔里木盆地顺南地区鹰山组下段圈闭分布

Fig. 6 Distribution of traps in the Lower Yingshan Formation in Shunnan area, Tarim Basin

3.4 综合评价及目标优选

针对顺南地区碳酸盐岩储层及圈闭类型特点,提出了“定类型、定控因、定模型、定技术、定目标”的“五定”目标优选技术,定类型:就是从岩心、钻井、测井、化验分析等第一手资料出发,宏观与微观相结合,确定储集空间类型和储层类型;定控因:就是从沉积、岩性、不整合、古构造、断裂、热液等方面,综合分析碳酸盐岩储层的主控因素;定模型:就是根据储层类型及主控因素,建立碳酸盐岩储层的地质模型;定技术:就是根据地质模型,通过模型正演和井震结合,建立地震识别模式和敏感地震属性参数,从而确定关键预测技术组合;定目标:就是在前面几项研究的基础上,从沉积、构造、储层主控因素及预测有利区带出发,结合油气藏富集规律,优选有利的勘探目标。

1) 综合评价

顺南地区紧邻满加尔坳陷烃源灶,位于油气运移路径上,成藏条件优越。奥陶系缝洞型储层受多期断裂活动、准同生期岩溶、埋藏溶蚀及热液溶蚀等作用,较为发育。巨厚的却尔却克组泥岩地层是该区的良好盖层。走滑断裂向下切入基底,与油气源灶相连,是油气运移的有利通道。对顺南地区一间房组-鹰山组上段、鹰山组下段、蓬莱坝组进行综合评价,划分出储层发育及油气富集有利区带。

2) 目标优选

在顺南地区各目的层段有利区带综合评价的基础上,认为断裂对油气富集影响较大,通过分析断裂性质的分段性,走滑断裂的拉张段更有利于储层发育和油气充注,再结合“五定”目标优选技术,优选了 SN4, SN5, SN6, SN7 等一批钻探目标。

4 应用效果

经过采集、处理、解释一体化三维地震勘探技术攻关研究,形成了适合顺南地区天然气藏地质特点的系列技术,取得了可靠的三维地震采集数据,获得了能够反映碳酸盐岩缝洞型储层特征的三维地震数据体,预测了有利的碳酸盐岩储层发育带,落实了一批圈闭,并优选了勘探目标。其中 SN4 和 SN5 井控制的成藏区带得到了钻井的证实,实现了重大突破。最新部署的 SN7 井和 SN401 井在一间房组及鹰山组顶部也获得了良好的油气显示,点火成功,其中 SN7 井中途测试获得了工业油气流,该区钻井成功率不断提高,证实了顺南沙漠区天然气藏三维地震勘探技术的有效性,展现了顺南地区具有广阔的天然气勘探前景。

5 结论

1) 针对塔中顺南沙漠区的地表及地下地震地质特点,采用小面元、较高叠次、较宽方位角的观测系统,利用精细地表调查优选激发岩性及检波器组合图形,优化埋置深度的采集技术,为获得可靠地震基础数据奠定了基础。

2) 针对顺南沙漠区地震资料主频及信噪比较低的特点,建立了适合该区的处理流程,采用的叠前保幅去噪、地表一致性、精细速度模型、RTM 参数优化等系列关键技术,提高了碳酸盐岩缝洞体的成像精度,为储层预测打下了坚实基础。

3) 根据顺南地区天然气藏的地质特点,建立了碳酸盐岩缝洞型储层的识别模式,优选了振幅变化率、子波分解、蚂蚁追踪等系列储层预测方法,提出了“五定”目标优选技术,识别描述评价了一批圈闭目标,并通过钻井验证,取得了良好效果。

4) 裂缝及小尺度储层的预测结果尚存在多解性,因此,三维地震勘探技术仍需根据高效勘探的需求,不断进行参数优选及方法试验。

参 考 文 献

- [1] 刘群,李宗杰,禹金营,等.高精度三维地震技术应用效果分析—以塔河油田 S48 井区为例[J].石油物探,2010,49(6):573-583.
Liu Qun, Li Zongjie, Yu Jinying, et al. Application analysis on high-precision 3D seismic technique: case study on S48 well area in Tahe Oilfield [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2010, 49(6): 573-583.
- [2] 陈学强,杨举勇,简先知,等.塔中碳酸盐岩勘探小面元三维地震采集设计方法及应用效果[J].天然气工业,2007,27(增刊A):37-39.
Chen Xueqiang, Yang Juyong, Jian Xianzhi, et al. The design method and application effect of carbonate exploration small patches 3D seismic acquisition in Tazhong area [J]. Natural Gas Industry, 2007, 27(S): 37-39.
- [3] 郭恺,全兆岐,滕厚华.地震采集面元尺度与成像横向分辨率能力分析[J].石油与天然气地质,2012,33(1):141-147.
Guo Kai, Tong Zhaoqi, Teng Houhua. Analysis on bin size of seismic survey and lateral resolution of imaging [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 141-147.
- [4] 徐颖.塔河油田高精度三维地震采集参数优化研究[J].石油物探,2014,53(1):68-76.
Xu Ying. Optimization on the high-precision 3D seismic acquisition parameters in Tahe Oilfield [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2014, 53(1): 68-76.
- [5] 陈学强,白文杰,黄有晖,等.高精度三维地震采集技术在塔中沙漠区碳酸盐岩勘探中的应用[J].石油物探,2011,50(1):76-81.
Chen Xueqiang, Bai Wenjie, Huang Youhui, et al. Application of 3D high precision seismic acquisition technology for carbonate exploration in the Central Tarim Basin [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2011, 50(1): 76-81.
- [6] 孔剑冰,庄道川,高雁,等.塔里木盆地沙漠区低信噪比地震资料

- 静校正和去噪方法[J].物探与化探,2005,29(3):257-260.
- Kong Jianbing, Zhuang Daochuan, Gao Yan, et al. A study of static correction and de-noising method for low signal-to-noise ratio seismic data from the desert area of Tarim Basin and its application [J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2005, 29(3): 257-260.
- [7] 马学军, 费建博, 王建斌, 等. 塔中奥陶系缝洞系统成像的配套处理技术研究[J]. 石油物探, 2011, 60(6): 583-588.
- Ma Xuejun, Fei Jianbo, Wang Jianbin, et al. Study on the supporting processing techniques for the imaging of Ordovician fracture-cavity system in Tazhong area [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2011, 60(6): 583-588.
- [8] 袁燎, 黄广建, 李道善, 等. 塔中地区沙漠地震资料处理技术[J]. 新疆石油地质, 2011, 32(3): 298-300.
- Yang Liao, Huang Guangjian, Li Daoshan, et al. Desert seismic data processing technology in Tazhong area, Tarim Basin [J]. Xinjiang Geology, 2011, 32(3): 298-300.
- [9] 李继光, 芮拥军, 周纳. 沙漠地区高精度地震资料处理技术[J]. 油气地球物理, 2003, 1(2): 21-24.
- Li Jiguang, Rui Yongjun, Zhou Na. Desert high precision seismic data processing technology [J]. Petroleum Geophysics, 2003, 1(2): 21-24.
- [10] 邱天林. 沙漠地区地震资料处理方法研究[J]. 石油物探, 2004, 43(2): 458-461.
- Qiu Tianlin. Study on the method of seismic data processing technology [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2004, 43(2): 458-461.
- [11] 杨威, 王建斌, 胡鹏飞. 逆时偏移法在复杂地区成像中的应用[J]. 新疆地质, 2013, 33(增刊): 82-85.
- Yang Wei, Wang Jianbin, Hu Pengfei. The application of reverse-time migration imaging in complicated area [J]. Xinjiang Geology, 2013, 33(S): 82-85.
- [12] 杨勤勇, 段心标. 逆时偏移技术发展现状与趋势[J]. 石油物探, 2010, 49(1): 92-98.
- Yang Qinyong, Duan Xinbiao. Development status and trend of reverse time migration [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2010, 49(1): 92-98.
- [13] 杨圣彬, 刘军, 李慧莉, 等. 塔中北围斜区北东向走滑断裂特征及其控油作用[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(6): 797-802.
- Yang Shengbin, Liu Jun, Li Huili, et al. Characteristics of the NE-trending strike-slip fault system and its control on oil accumulation in north peri-cline area of the Tazhong paleo-uplift [J]. Oil & Geology, 2013, 34(6): 797-802.
- [14] 李凌, 谭秀成, 陈景山. 塔中北部中下奥陶统鹰山组白云岩特征及成因[J]. 西南石油大学学报, 2007, 29(1): 34-36.
- Li Ling, Tan Xiucheng, Chen Jingshan. Characteristics and origin of dolostones in Yingshan formation, lower and middle Ordovician, north of central Tarim Basin [J]. Journal of Southwest Petroleum University, 2007, 29(1): 34-36.
- [15] 王嗣敏, 金之钧, 解启来. 塔里木盆地塔中45井区碳酸盐岩储层的深部流体改造作用[J]. 地质论评, 2004, 50(5): 543-547.
- Wang Simin, Jin Zhijun, Xie Qilai. Transforming effect of deep fluids on carbonate reservoirs in the well TZ45 region [J]. Geology Review, 2004, 50(5): 543-547.
- [16] 金之钧, 朱东亚, 胡文瑄. 塔里木盆地热液活动地质地球化学特征及其对储层影响[J]. 地质学报, 2006, 80(2): 245-254.
- Jin Zhijun, Zhu Dongya, Hu Wenxuan. Geological and geochemical signatures of hydrothermal activity and their influence on carbonate reservoir beds in the Tarim Basin [J]. Acta Geological Sinica, 2006, 80(2): 245-254.
- [17] 焦伟伟, 吕修祥, 周园园, 等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系碳酸盐岩储层主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(2): 199-206.
- Jiao Weiwei, Lü Xiuxiang, Zhou Yuanyuan, et al. Main controlling factors of the Ordovician carbonate reservoirs in Tazhong area, the Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(2): 199-206.
- [18] 赵迎月, 顾汉明, 李宗杰, 等. 塔中地区奥陶系典型震体地震识别模式[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2010, 40(6): 1262-1270.
- Zhao Yingyue, Gu Hanming, Li Zongjie, et al. The seismic wave field recognition mode of typical geological bodies in the Ordovician in Tazhong area [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2010, 40(6): 1262-1270.
- [19] 宋桂桥, 马灵伟, 李宗杰. 基于随机介质正演模拟的塔中顺南地区风化壳储层地震响应特征分析[J]. 石油物探, 2013, 52(3): 307-312.
- Song Guiqiao, Ma Lingwei, Li Zongjie. The weathering crust reservoir seismic response characteristics analysis in Shunnan area of central Tarim Basin based on random medium forward modeling [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2013, 52(3): 307-312.
- [20] 王保才, 刘军, 马灵伟, 等. 塔中顺南地区奥陶系缝洞型储层地震响应特征正演模拟分析[J]. 石油物探, 2014, 53(3): 344-350.
- Wang Baocai, Liu Jun, Ma Lingwei, et al. Forward modeling for seismic response characteristics of the fracture-cavity Ordovician reservoir in Shunnan area of central Tarim Basin [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2014, 53(3): 344-350.
- [21] 杨江峰, 关达, 朱文斌, 等. 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[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(1): 61-69.
- Yang Jiangfeng, Guan Da, Zhu Wenbin, et al. Carbonate reservoir prediction technology and its application in Ka-1 3D acreage in Tazhong area, Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 61-69.
- [22] 王昕, 魏刚, 刘歆, 等. 子波地震道分解与重构技术在复杂出储预测中的应用[J]. 断块油气田, 2010, 17(3): 289-292.
- Wang Xin, Wei Gang, Liu Xin, et al. Application of seismic trace-wavelet decomposition and reconfiguration technology in complex reservoir prediction [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2010, 17(3): 289-292.
- [23] 黄跃, 许多, 文雪康. 多子波分解与重构中子波的优选[J]. 石油物探, 2013, 52(1): 17-22.
- Huang Yue, Xu Duo, Wen Xuekang. Optimization of wavelets in multi-wavelet decomposition and reconstruction method [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2013, 52(1): 17-22.
- [24] 陈人杰, 童思友, 刘怀山, 等. 基于子波分解与重构的储层预测技术[J]. 海洋地质前沿, 2014, 30(1): 55-61.
- Chen Renjie, Tong Siyou, Liu Huaishan, et al. Reservoir prediction technology based on wavelet decomposition and reconstruction [J]. Marine Geology Frontiers, 2014, 30(1): 55-61.
- [25] 刘群, 李海英, 邓光校. 地震断裂检测技术在塔河油田南部碳酸盐岩储层及油藏预测中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(2): 202-206.
- Liu Qun, Li Haiying, Deng Guangxiao. Application of seismic fault detection to carbonate reservoir prediction in southern Tahe oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(2): 202-206.