

塔里木盆地顺南地区超深白云岩储层地震、地质综合预测

李宗杰¹, 王 鹏¹, 陈绪云¹, 李映涛^{1,2}

(1. 中国石化 西北油田分公司, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 中国石化 石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要:为了查明顺南地区超深白云岩储层特征、地震响应特征及白云岩储层有利发育区,在顺南地区及邻区钻井的岩心、测井、录井与测试等资料的基础上,研究奥陶系鹰山组下段-寒武系上统岩石学特征,明确白云岩储集空间类型主要为微裂缝/裂缝和白云石晶间(溶)孔两类,白云岩储层形成受沉积相与古地貌、深部热液改造作用、断裂及构造破裂作用等多因素共同控制;基于岩心与测井资料,统计分析奥陶系鹰山组下段-寒武系上统灰岩、白云岩、砂屑灰岩、泥晶灰岩和白云质灰岩的岩石物理参数,结合三维地震资料与钻井地质标定,建立该区目的层储层地震地质模型;通过正演模拟结果、实际地震资料与地震地质模型对比分析,明确了低频-中强振幅-强连续的地震相指示白云岩储层有利发育区;利用地震波形的特征分析与能量属性预测相结合,能够有效地识别白云岩储层,从而为顺南地区目标评价与井位部署提供依据。

关键词:超深层;走滑断裂;白云岩;奥陶系;顺南地区;塔里木盆地

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Integrated seismic and geological prediction of ultra-deep dolomite reservoir in Shunnan area, Tarim Basin

Li Zongjie¹, Wang Peng¹, Chen Xuyun¹, Li Yingtao^{1,2}

(1. Northwest Oilfield Branch Company, SINOPEC, Urumqi, Xinjiang 830011, China;

2. Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China)

Abstract: Aiming at understanding the geological characteristics and seismic responses and identifying the play fairway of dolomite reservoirs in Shunnan area, the core, logging and test data of wells in Shunnan and its adjacent areas were integrated to study the petrological characteristics of the Lower Yingshan Formation (Ordovician)-Upper Cambrian. The micro-cracks/fractures and dolomite intercrystalline (dissolved) pores were identified to be the main reservoir space in the dolomite, and the formation of the dolomite reservoir was jointly controlled by various factors, including sedimentary facies and paleogeomorphology, deep hydrothermal modification, faulting and fracturing. The petrophysical parameters of limestone, dolomite, calcarenite, micrite and dolomitic limestone were obtained through a statistical analysis of cores and well logging data in the Lower Yingshan Formation of the Ordovician-Upper Cambrian. A seismic geological model of the target reservoir in the area was established in combination with 3D seismic data and geological calibration to the drilling data. A comparison analysis of the forward modeling results and actual seismic data with seismic geological model revealed that the seismic facies featuring low frequency, medium high amplitude and good continuity are markers of play fairway of dolomite reservoir. The combination of feature analysis of seismic wave forms and energy attribute prediction can be applied to effectively identify dolomite reservoirs, thus providing a basis for target evaluation and exploratory well emplacement in Shunnan area.

Key words: ultra-deep reservoir, strike-slip fault, dolomite, Ordovician, Shunnan area, Tarim Basin

全球白云岩油气藏占比较大,白云岩地层中可发育良好的储集空间,是油气勘探开发的重要领域^[1]。

塔里木盆地寒武系一中-下奥陶统白云岩普遍发育,白云岩储集空间类型、成因与主控因素一直是学者研

收稿日期:2019-08-15;修订日期:2019-10-28。

第一作者简介:李宗杰(1968—),男,博士、教授级高级工程师,油气勘探。E-mail:ljzjie_xbsj@sinopec.com。

基金项目:国家科技重大专项(2017ZX05005-004-007);中国石化科技部项目(P18047-3)。

究重点,不同学者对储集空间类型与成因机制上存在不同认识^[2-7]。顺南地区寒武系白云岩埋藏超深、地温超高,而其上覆的中-下奥陶统蓬莱坝组与鹰山组下段白云岩是目前勘探研究的现实层系。近些年顺北油气田的勘探表明,油气井主要分布在走滑断裂附近,沿走滑断裂带发育的热液对白云化具有重要作用,同时白云岩储层具有溶蚀成因与走滑断裂破碎成因,表明顺南地区中-下奥陶统白云岩成因具有复杂性。

本文将对顺南地区及邻区钻遇中-下奥陶统白云岩的多口井的钻井、录井、测井及测试资料进行分析,研究白云岩产层的储层类型、特征及主控因素,结合三维地震资料解释与属性分析,建立该区白云岩储层地震识别模式与预测技术,预测了白云岩储层的分布,取得了较好地应用效果。

1 地质背景

顺南地区位于塔里木盆地中部,包括顺南1区与顺南2区,工区面积8 141.83 km²。构造单元跨顺托果勒低隆起东南部与古城墟隆起顺南缓坡及古城凸起西部(图1)。顺南地区位于塔中I号断裂带下盘,古生界整体表现为北西倾的斜坡。

顺南地区经历多期沉积-构造演化阶段:①寒武纪一早-中奥陶世,顺南地区为稳定的浅水碳酸盐台地,构造较为平缓,下寒武统发育小型张性正断层;中奥陶世末,南部卡塔克隆起抬升剥蚀强烈,顺南地区抬升剥蚀较小,北东向走滑断裂发育,以压扭作用为主。②晚奥陶世台盆分异,塔中发育良里塔格组镶边碳酸盐岩台地,顺南地区发育却却克群碎屑岩沉积,发育多条北东东向走滑断裂;之后大规模海侵,整体为混积陆棚沉积;晚奥陶世末北东向走滑断裂带强烈继承性活动,以张扭作用为主。③志留纪-泥盆纪,东南缘的强烈挤压,志留系角度不整合于奥陶系之上,北东向走滑断裂带继承性活动,以张扭作用为主。晚泥盆世顺南地区东南持续抬升,顺南2区志留系基本被剥蚀殆尽。④石炭纪-二叠纪,顺南地区整体沉降沉积,石炭系角度不整合于上奥陶统-志留系之上,部分北东东向走滑断裂由左行走滑转变为右行走滑,但断裂活动较弱。⑤中、新生代,顺南地区继续稳定沉降沉积,构造格局基本没有发生大的变化,没有发现走滑活动痕迹。

顺南地区下奥陶统蓬莱坝组与中-下奥陶统鹰山组下段发育白云岩地层,其中蓬莱坝组岩性主要为厚层状白云岩夹薄层灰质白云岩,鹰山组下段岩性主要为白云岩与灰岩互层。



图1 塔里木盆地顺南地区构造位置(a)及构造分区(b)

Fig. 1 A map showing the geographical location(a) and tectonic division of Shunnan area(b), Tarim Basin

2 奥陶系超深白云岩储层特征

顺南地区及邻区白云岩和过渡性岩类(如白云质灰岩或灰质白云岩)的基质孔隙往往优于纯灰岩段,但很多纯白云岩段并未形成优质储层,成因、结构上的差异使得不同类型的白云岩形成了多样化的孔隙结构类型和不同的储集性能,塔里木盆地白云岩储层成因复杂,尤其是中-下奥陶统的白云岩地层由于年代久、埋深大,后生改造作用对储层的形成起到了关键作用。

2.1 超深白云岩储层特征

2.1.1 岩石学特征

顺南地区鹰下段开始逐渐出现云灰岩频繁互层的特征,向下白云石含量逐渐增多,至蓬莱坝组开始逐渐出现大套纯白云岩地层。互层白云岩往往厚度较薄,一般不小于1 m,可见云化残余结构,主要为残余砂屑细晶白云岩和(藻)纹层状微晶白云岩,原岩结构的可识别性因后期交代作用程度的强弱而不同(图2a,b)。镜下特征显示此类白云岩的晶粒级普遍偏小,以粉细晶为主,晶型以半自形为主。厚度较大的白云岩多为晶粒白云岩,该类云岩的原始结构已无法识别,是研究区主要的一类基质白云岩。可分为细晶自形/半自形白云岩和中晶它形白云岩,前者晶面平直,自形程度较高,有时可见环带结构,是晶间孔发育的有利岩石类型;后者颗粒呈镶嵌接触关系,晶面较脏,没有明显的环带结

构,基质孔隙发育不佳,需要后期成岩改造(图2c,d)。

2.1.2 储集空间类型

岩心上主要识别到包括微裂缝/裂缝和白云石晶间(溶)孔两类储集空间。其中,微裂缝/裂缝除了缝壁平直且无充填的构造破裂微裂缝外(图2e),其特点还体现在薄片尺度下,部分孔隙具有一定的定向排列性,与微裂缝延伸具有显著的伴生关系,属于裂缝型孔隙特征,同时,微裂缝发育部位也是晶间孔发生扩容的有利部位(图2f)。晶间(溶)孔则为随机分布发育,无明显规律,通常被方解石半充填,少量孔隙可见黄铁矿和萤石(图2g,h)。

2.1.3 储层类型

顺南地区鹰山组下段白云岩/云灰岩互层段钻井储层均为漏失,未见放空,储层类型以裂缝-孔隙型为主,局部溶蚀孔洞发育。古隆1井在鹰山组下段气测、后效明显,测井解释鹰山组Ⅲ类储层12层/91.3 m,6 252.8~6 419.3 m中途测试折气产量10 067 m³/d。取心显示主要为裂缝,局部弱溶蚀孔;产气段成像测井显示储层类型以裂缝孔洞型为主,溶蚀孔洞有一定程度的发育,大部分溶蚀孔洞顺层分布,表明岩性对溶蚀作用有较大影响,部分溶蚀孔洞有沿裂缝分布趋势。依据裂缝图像特征及定量计算结果,裂缝主要集中发育于相对低阻段地层。对古隆1井鹰山组下段取心段物性测试分析显示,储层基质孔隙不发育,以低孔、低渗为主(69%的样品孔隙度在0.5%~1%),后期改造对储层发育至关重要。地震资料则显示,鹰山组下段

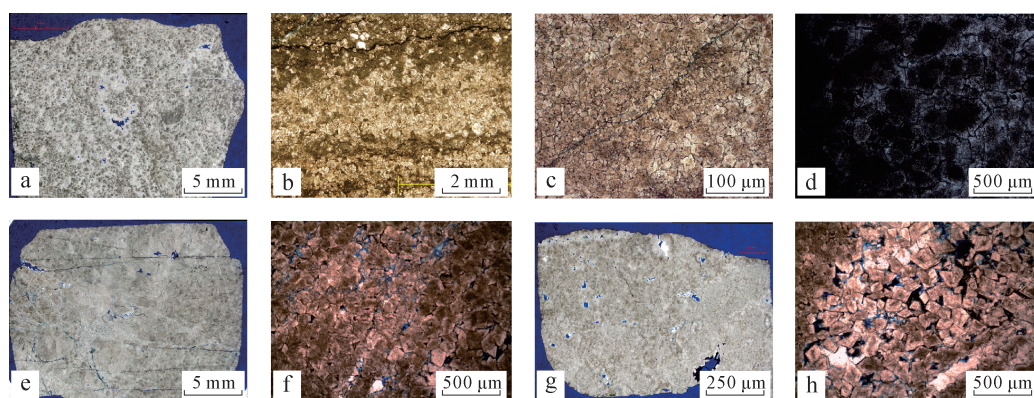


图2 塔里木盆地顺南地区白云岩岩石学与储集空间特征

Fig. 2 The petrology and reservoir space characteristics of dolomite in Shunnan area, Tarim Basin

- a. 顺南蓬1井,埋深7 560.46 m, C_3ql ,残余砂屑细晶白云岩,原岩全部被白云石交代,铸体薄片;b. 顺南5-2井, O_1-2y ,含灰质纹层状细晶白云岩,白云石呈层状分布,以细晶为主,少量中晶,呈自形-半自形,晶间可见少量泥质并吸附褐黑色有机质(-);c. 古隆1井,埋深6 530.98 m, O_1-2y ,细晶白云岩,晶体呈自形半自形,晶间充填有机质(-);d. 顺南蓬1井,埋深7 561.1 m, C_3ql ,中-粗晶白云岩,晶体呈镶嵌接触,岩性致密,孔隙发育受后期溶蚀作用控制(+);e. 顺南蓬1井,埋深7 559.56 m, C_3ql ,不等晶白云岩,微裂缝发育,产状平直无充填,铸体薄片;f. 顺南501井,埋深6 952.06 m, O_1-2y ,孔隙发育具有定向性,微裂缝与扩溶缝,铸体薄片;g. 顺南蓬1井,埋深7 557.45 m, C_3ql ,颗粒幻影白云岩,晶间孔发育,铸体薄片;h. 顺南501井,埋深6 652.06 m, O_1-2y ,细晶自形白云岩,发育云石晶间孔、晶间溶孔,铸体薄片

的白云岩或云灰岩互层横向上具有区域顺层分布趋势,具有包括连续弱反射、杂乱强反射、杂乱弱反射等多种反射特征,从实钻和地震标定情况分析,白云岩裂缝孔隙型储层对应于串珠状、短板状等强反射异常。

2.2 超深白云岩储层成因及主控因素

2.2.1 白云石化机制

中等程度的白云石化形成了以古隆1井为代表的细晶-自形/半自形白云岩,该类白云岩通常以等摩尔交代的形式形成有效的晶间孔。此外,顺南5-2井和顺南蓬1井中可见残余结构白云岩,则可能是早期白云石化的产物,其孔隙发育程度更多受原岩结构的控制。

2.2.2 沉积相带与区域构造对白云石化的共同影响

沉积相对于早期白云石化起到了至关重要的作用,顺南地区在早奥陶世,虽然处于稳定台地相区之内,但受到鹰山组沉积期古地貌和区域性构造活动影响,与中央隆起带其他地区相比,白云石化作用整体较弱。其原因是早奥陶世,研究区处于古城台地西侧地势平缓区域,属于开阔台地相带,水体环境较深且循环通畅,缺少弱蒸发的海水环境,使得顺南地区鹰山组的早期白云石化欠发育,大规模白云石化作用出现的层位更低,埋深更大。

2.2.3 深部流体(热液)对储层的改造

古隆1井及邻区的古城6井鹰山组白云岩的溶蚀孔隙内均见沥青充填,推测存在有机酸溶蚀作用,导致发生晶间孔扩容现象改善孔隙。此外,研究区在顺南501井与古隆1井鹰山组均识别到热液改造的相关证据^[8],其中顺南501井取心段中发现萤石和方解石伴生充填裂缝,且白云石充填物和方解石充填物的FeO和MnO含量较高,萤石包裹体均一温度为165~175℃,超出围岩温度约30℃^[9-10],属于典型热液特征。古隆1井取心段中裂缝孔洞内充填有大量的鞍形白云石,另见黄铁矿和石英伴生。同时还见到与热液破裂作用相关的碎裂化结构。裂缝延伸的规模显著控制了鞍形白云石的分布规律,表明构造热液作用是储层形成的重要成因机制。

2.2.4 断裂及构造破裂作用

顺南地区发育多组的NE向与NNE向走滑断裂,其中NNE向断裂断穿整个鹰山组,NE向断裂则断至石炭系底部,断裂多期活动,早期属于压扭走滑性质,晚期转变为张扭,为上行热液改造储层提供了关键通道^[11-12]。

如顺南5井和古隆2井在鹰山组上段裂缝走向与NE向断裂呈平行/近平行关系,表明其严格受断裂活动控制。又如古隆1井测井解释显示,在鹰山组内幕物性最好的井段之上地层倾向SW,之下倾向NE,推测钻遇了背斜转折端或断层地层破碎,该段裂缝发育,溶蚀孔洞也较为发育。进一步研究表明,裂缝主要走向为NE,倾向SW,与该区NE向断裂的展布特征一致。可见构造断裂与研究区内幕白云岩裂缝-孔隙型储层形成关系密切。

3 地震识别模式

3.1 岩石物理分析

地球物理问题之所以复杂,归根到底是因为岩石组分复杂,而对岩石物理性质的研究是利用地震资料预测油气的物理基础。地震岩石物理研究的主要工作内容为:一方面通过反演方法推断已知岩石和矿物的地质情况,另一方面通过正演方法推测矿物和岩石进行人工改变后对岩石地质和物理性质所造成的影响。所以,岩石物理学为储层特性与地震特性搭建了一架桥梁^[13-16]。

3.1.1 测井资料岩石物理统计分析

基于顺南地区实钻钻遇情况及测井解释成果,统计出各层系不同岩性的岩石物理参数平均值(图3),可以看出,随着地层年代增加及埋藏深度加大,地层的速度、密度及波阻抗逐渐增加;同一地层不同岩性之间岩石物理参数表现出一定的差异,总体来说砂泥岩段平均波阻抗差异不大,火成岩及灰岩波阻抗明显高于砂泥岩段;对于目标层位(鹰山组)不同岩性之间平均波阻抗差异也不大,地震剖面上为弱反射特征,为该奥陶系白云岩储层地震波场特征认识带来一定困难。

3.1.2 岩心实测岩石物理统计分析

针对本区目标奥陶系碳酸盐岩储层,选择具有代表性的岩心样品,提供给实验室进行岩石物理参数测试,获得具有代表性的岩石物理参数。本次测试共采集12口井,典型样品25块,均取自一间房组和鹰山组碳酸盐岩,岩性有灰岩、白云岩、砂屑灰岩、泥晶灰岩和白云质灰岩等,部分岩性为储层或油气层。在实验室25℃,5MPa条件下,开展测试工作(表1)。

顺南地区实际地层条件下中-下奥陶统储层围岩速度分布范围:一类储层未有测井曲线及取心,估算纵波速度低于5400~5600m/s;二类储层纵波速度集中在5600~5800m/s;三类储层纵波速度分布为5800~6000m/s,围岩纵波速度大于6100m/s。

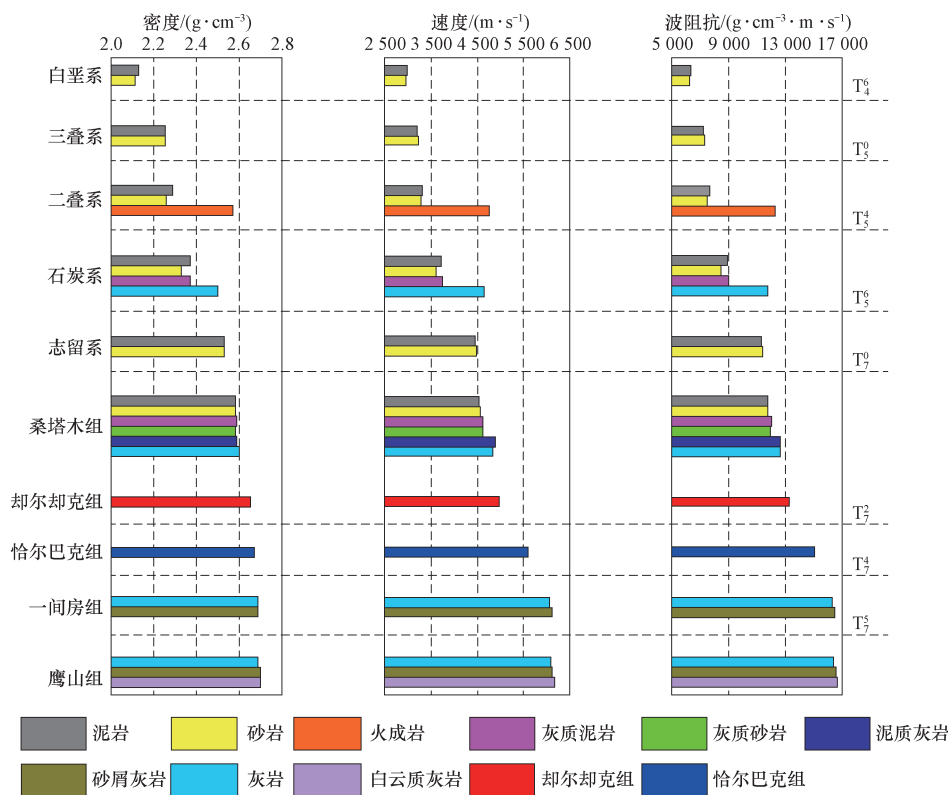


图 3 顺南地区各层系不同岩石物理参数统计

Fig. 3 Statistics on different petrophysical parameters of each sequence in Shunnan area

表 1 顺南地区岩心纵波测试结果(部分数据)
Table 1 Results of P-wave test in the cores from Shunnan area (partial data)

井号	岩心 编号	岩性	地震波纵波速度/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)		
			第 1 次	第 2 次	第 3 次
W1	1	灰质条带泥岩	6 168.4	6 198.6	6 198.6
	2	深灰色灰岩	6 317.9	6 413.1	6 317.9
W2	5	灰色含白云质泥晶灰岩	5 933.2	5 834.2	5 834.2
W3	1	灰色砂屑泥晶灰岩	6 250.2	6 200.7	6 225.3
	3	灰色泥晶灰岩	5 850.8	5 938.3	5 894.2
W4	1	灰色含砂灰岩	6 127.0	6 195.2	6 229.8
	2	灰色泥晶灰岩	6 280.9	6 191.6	6 262.8
W5-2	4	深灰色钙质细晶白云岩	4 874.1	4 891.9	4 891.9
W18	3	黑灰色灰质云岩	6 097.5	5 990.5	6 001.5
W17	1	灰色灰质云岩	5 979.4	6 051.2	5 979.4
W601	2	褐灰色藻白云岩岩	5 135.5	5 095.9	5 095.9

3.2 正演模拟与识别模式

在顺南 2 井三维工区内,蓬莱坝组(深度 >7 000 m)存在一套孔洞型、孔隙型储层,结合邻区钻井标定、地质认识及岩石物理参数分析成果,参考图 4a 中实际地震剖面特征,依据实际深度,建立该区储层地震地质模

型(图 4b)

根据正演模拟结果(图 4c)与实际地震资料(图 4a)、地震地质模型(图 4b)比对,认为:鹰山组内幕缝洞型储层引起“串珠”或“短板状”反射结构;蓬莱坝组上部若有云灰岩互层,在上部引起中强反射结构,无储层表现为弱反射;蓬莱坝组中、下部层状孔洞型、孔隙型储层发育时(T_7^8 和 T_8^0 之间的强反射同向轴,储层厚度为 20 ~ 80 m,距灰岩距离为 100 ~ 150 m),在下部引起中-强连续反射结构,叠加断裂改造的缝洞型储层表现为“串珠”、“短板装”强反射特征,无储层时以弱反射为主。

4 地震预测技术

大多数碳酸盐岩储层,在内幕岩性相对较单一,碳酸盐岩储层为引起地震波场变异的主导因素条件下,在归位后的地震剖面上主要形成的杂乱状和空白状弱反射,这些反射一般呈不规则状局部分布,高度及宽窄不等,反射体形态多样,最为明显的特征就是在普遍的反射背景上叠置有局部的波形特征和动力学参量的局部变化和结构变化^[17-20]。依据古隆 1 井钻探结果,顺南地区鹰山组、蓬莱坝组白云岩/云灰互层段储层类型

为裂缝-孔隙型,溶蚀孔洞有一定的发育。孔洞型储层已经证实可以应用能量类属性预测,而针对白云岩中的裂缝-孔隙型储层,主要引起波形特征的变化,可以应用地震相分析来预测储层分布。以顺南2井三维南部为例(图5),精细预测蓬莱坝组储层,对其内幕精细解释层位,以 T_7^8 作为蓬莱坝组顶界,以 T_7^{8-1} 作为蓬莱坝组上、下段界面, T_7^{8-3} 作为蓬莱坝组底界面。

4.1 能量类属性预测孔洞型储层

瞬时振幅是反射强度的量度,就是解析信号的实部与虚部总能量的平方根,主要反映能量上的变化,可以突出特殊岩层的变化。从碳酸盐岩储层预测经验来看,能量的大小代表了碳酸盐岩内幕储层的发育程度。为消除负值影响,取均方根振幅(图6)。

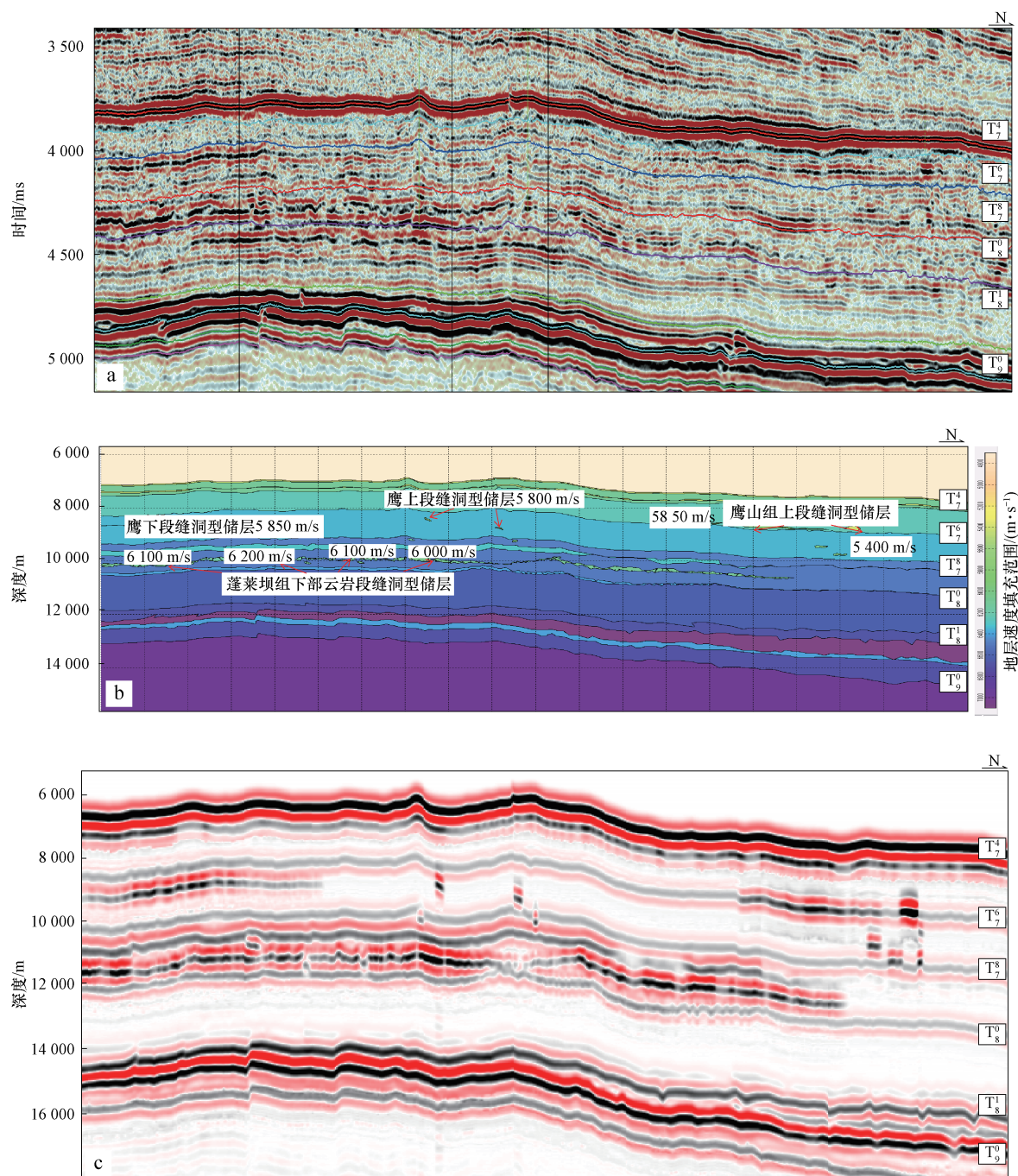


图4 顺南地区实际地震剖面与正演模拟地震剖面

Fig. 4 The actual seismic profile and forward modeling seismic profile in Shunnan area

a. 实际地震剖面; b. 设计的正演地质模型; c. 正演模拟结果

(观测系统:地震主频 20 Hz,零相位雷克子波激发,炮检距 50 m,道间距 25 m,自激自收,波动方程数值模拟。)

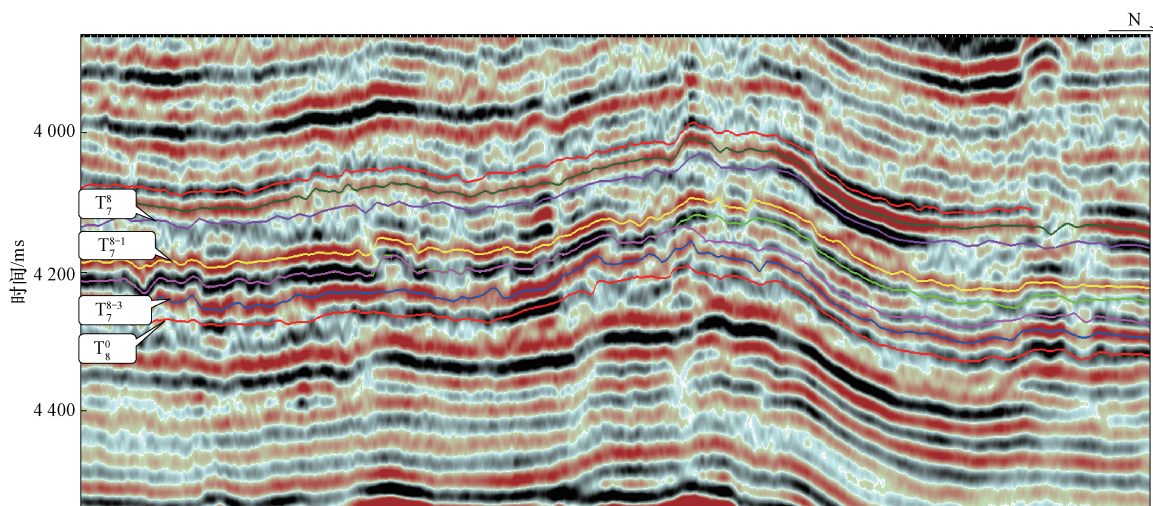


图5 塔里木盆地顺南2井南部三维地震剖面

Fig. 5 The 3D seismic section to the south of Well Shunnan 2, Tarim Basin

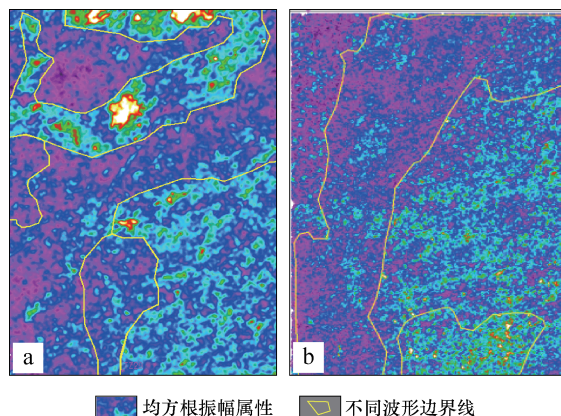


图6 顺南地区奥陶系蓬莱坝组地震属性示意图

Fig. 6 The schematic diagram of seismic attributes in the Ordovician Penglaiba Formation, Shunnan area

a. 蓬莱坝组上层 $T_7^8 - T_7^{8-1}$ 均方根振幅; b. 蓬莱坝组
下层 $T_7^{8-1} - T_7^{8-3}$ 均方根振幅

4.2 波形聚类分析预测裂缝-孔隙型储层

聚类是数据研究中的重要方向之一,其内容就是将物理或抽象对象的集合分成由类似的对象组成的多个类的过程,由聚类所生成的簇是一组数据对象的集合,这些对象与同一个簇中的对象彼此相似,与其他簇中的对象相异。迄今为止,研究人员已经提出许多种波形聚类算法,在地震数据分析中,比较常见的有 K-means 算法、DBSCAN(密度聚类)算法和 FCM(模糊均值)算法等。

K-means 聚类算法,即根据相似性原则,将具有较高相似度的数据对象划分至同一类簇,将具有较高相异度的数据对象划分至不同类簇。用于地震数据体所代表的意义即为地震波形的相似性分类。本文使用此种算法。

DBSCAN 聚类算法,假定类别可以通过样本分布的紧密程度决定,同一类别的样本之间紧密相连,将紧密相连的样本划为一类,就得到了一个类别,即由密度可达关系导出的最大密度相连的样本集合。

FCM 聚类算法,是基于对目标函数的优化基础上的一种数据聚类方法,聚类结果是每一个数据点对聚类中心的隶属程度,思想就是使得被划分到同一簇的对象之间相似度最大,不同簇之间的相似度最小。

基于正演模拟与波形聚类分析结果,利用邻区实钻标定与本区地震资料对比,明确本区蓬莱坝组储层地震相特征为低频-中强振幅-强连续特征,蓬莱坝组上段有利区为图 7a 中的②和④,下段有利区为图 7b 中的⑦和⑧。

依据研究结果,部署钻探顺南蓬 1 井(图 8),在蓬莱坝组低频-强振幅-强连续地震相区域获得良好油气显示,钻探过程中发生溢流并点火成功,验证了储层预测方法的有效性。

5 结论

1) 顺南地区鹰下段开始逐渐出现云灰岩频繁互层的特征,向下白云石含量逐渐增多,至蓬莱坝组开始出现大套纯白云岩地层。基质白云岩可分为细晶自形/半自形白云岩和中晶它形白云岩。储集空间类型主要为微裂缝/裂缝和白云石晶间(溶)孔两类。断裂与研究区内幕白云岩裂缝-孔隙性储层形成关系密切,构造背景下的热液作用可能是储层形成的重要成因机制之一。

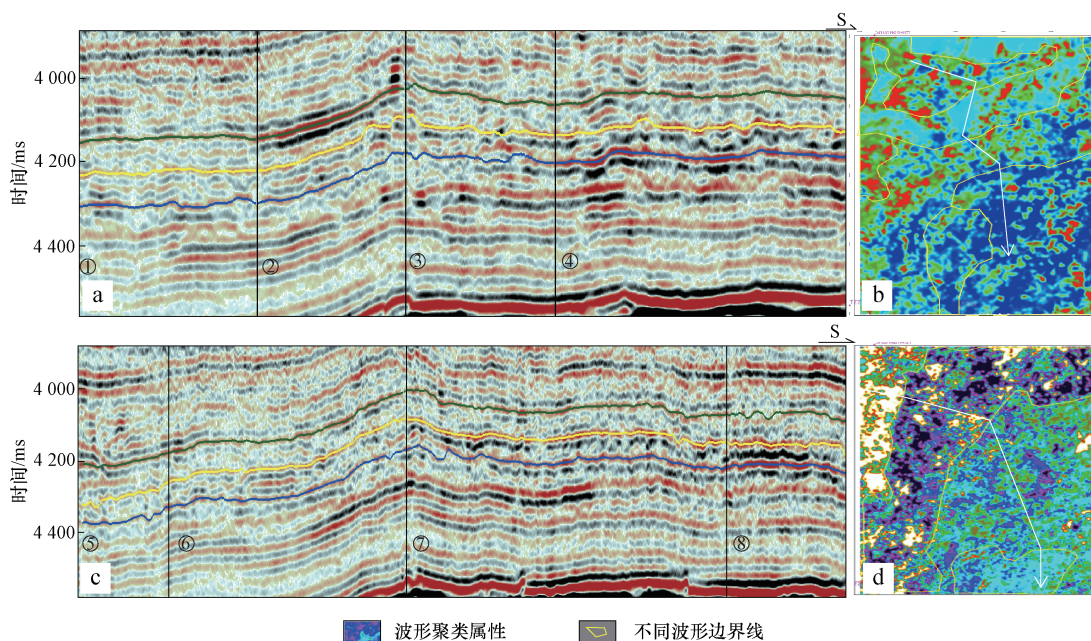


图7 顺南地区奥陶系蓬莱坝组地震剖面与波形聚类属性图

Fig. 7 The seismic profile and wave form clustering attribute map of the Ordovician Penglaiba Formation, Shunnan area

- a. 上层 $T_7^8 - T_7^1$ (剖面上绿线 - 黄线) 地震剖面; b. 上层 $T_7^8 - T_7^1$ 波形聚类结果示意图; c. 下层 $T_7^1 - T_7^3$ (剖面上黄线 - 紫线) 地震剖面; d. 下层 $T_7^1 - T_7^3$ 波形聚类结果示意图

①中频率 - 弱振幅 - 弱连续; ②低频率 - 强振幅 - 强连续; ③中频率 - 弱振幅 - 弱连续; ④低频率 - 中振幅 - 强连续; ⑤低频率 - 弱振幅 - 强连续; ⑥中频率 - 中振幅 - 强连续; ⑦低频率 - 中振幅 - 强连续; ⑧低频率 - 强振幅 - 强连续

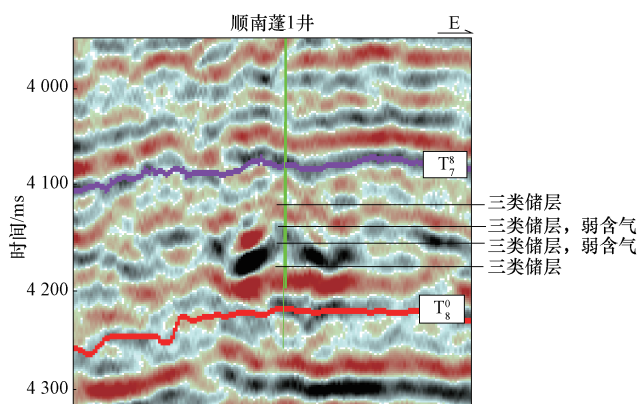


图8 塔里木盆地顺南地区顺南蓬1井地震剖面

Fig. 8 The seismic section across Well Peng 1 in Shunnan area, Tarim Basin

参考文献

- [1] 郑和荣, 吴茂炳, 郭兴威, 等. 塔里木盆地地下古生界白云岩储层油气勘探前景[J]. 石油学报, 2007, 28(2): 1-7.
Zheng Herong, Wu Maobing, Wu Xingwei, et al. Oil-gas exploration prospect of dolomite reservoir in the Lower Paleozoic of Tarim Basin [J]. Acta Petroli Sinica, 2007, 28(2): 1-7.
- [2] 赵文智, 沈安江, 胡素云, 等. 塔里木盆地寒武 - 奥陶系白云岩储层类型与分布特征[J]. 岩石学报, 2012, 28(3): 758-768.
Zhao Wenzhi, Shen Anjiang, Hu Suyun, et al. Types and distributional features of Cambrian-Ordovician dolomite reservoirs in Tarim Basin, northwestern China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(3): 758-768.
- [3] 黄擎宇, 张哨楠, 孟祥豪, 等. 塔里木盆地中央隆起区寒武 - 奥陶系白云岩结构特征及成因探讨[J]. 沉积学报, 2014, 32(3): 537-549.
Huang Qingyu, Zhang Shaonan, Meng Xianghao, et al. Textural types and origin of the Cambrian-Ordovician dolomite in the central Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2014, 32(3): 537-549.
- [4] 杨海军, 李开开, 潘文庆, 等. 塔中地区奥陶系埋藏热液溶蚀流体活动及其对深部储集层的改造作用[J]. 岩石学报, 2012, 28(3): 783-792.
Yang Haijun, Li Kaikai, Pan Wenqing, et al. Burial hydrothermal dissolution fluid activity and its transforming effect on the reservoirs in Ordovician in Central Tarim [J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(3): 783-792.

2) 在超深层 (>7 000 m) 低信噪比资料条件下, 基于正演模拟及实钻标定, 明确了低频 - 中强振幅 - 强连续的地震相为白云岩储层有利发育区, 利用地震波形的特征分析能够较好地预测白云岩储层发育情况。

3) 白云岩储层描述与预测是碳酸盐岩勘探的重要方向之一, 是一个需要长期研究、实践、再研究的反复过程。灰岩、云岩及其互层交替出现, 使得储层在地震资料上反射特征整体偏弱, 描述困难, 深化白云岩储层地球物理特征, 丰富白云岩储层预测技术, 可为塔里木盆地同类型油气藏的勘探开发提供一些借鉴。

- [5] 张文学,王勇. 塔河油田碳酸盐岩油藏能量指示曲线模型建立与应用[J]. 大庆石油地质与开发, 2019, 38(1): 94-99.
Zhang Wenxue, Wang Yong. Modeling and application of the energy indicating curve for the carbonate reservoir in Tahe Oilfield[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2019, 38(1): 94-99.
- [6] 焦存礼,邢秀娟,何碧竹,等. 塔里木盆地古生界白云岩储层特征与成因类型[J]. 中国地质, 2011, 38(4): 1008-1015.
Jiao Cunli, Xing Xiujian, He Bizhu, et al. Characteristics and genetic types of Cambrian-Ordovician dolomite reservoirs in Tarim Basin[J]. Geology in China, 2011, 38(4): 1008-1015.
- [7] 张新华,黄文辉,王安甲,等. 塔里木盆地古生界白云岩储层发育控制因素分析[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2009, 39(2): 288-292.
Zhang Xinhua, Huang Wenhui, Wang Anjia, et al. Analysis of the reservoir development controlling factors of the Cambro-Lower Ordovician dolomite in Tarim Basin[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2009, 39(2): 288-292.
- [8] 李映涛. 塔中北坡中下奥陶统碳酸盐岩储层特征及形成机理研究[D]. 成都理工大学, 2016.
Li Yingtao. Research of carbonate reservoir characterization and formation mechanism in Middle-Lower Ordovician, North Slope of Tazhong area[D]. Chengdu University of Technology, 2016.
- [9] 庄新兵,顾忆,邵志兵,等. 塔里木盆地地温场对油气成藏过程的控制作用——以古城墟隆起为例[J]. 石油学报, 2017, 38(5): 502-511.
Zhuang Xinbing, Gu Yi, Shao Zhibing, et al. Control effect of geothermal field on hydrocarbon accumulation process in Tarim Basin: a case study of Guchengxu uplift[J]. Acta Petrolei Sinica, 2017, 38(5): 502-511.
- [10] 王铁冠,宋到福,李美俊,等. 塔里木盆地顺南-古城地区奥陶系鹰山组天然气气源与深层天然气勘探前景[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(6): 753-762.
Wang Tieguan, Song Daofu, Li Meijun, et al. Natural gas source and deep gas exploration potential of the Ordovician Yingshan Formation in the Shunnan-Gucheng region, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(6): 753-762.
- [11] 张继标,张仲培,汪必峰,等. 塔里木盆地顺南地区走滑断裂派生裂缝发育规律及预测[J]. 石油与天然气地质, 2018, 39(5): 955-963.
Zhang Jibiao, Zhang Zhongpei, Wang Bifeng, et al. Development pattern and prediction of induced fractures from strike-slip faults in Shunnan area, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2018, 39(5): 955-963.
- [12] 李映涛,漆立新,张哨楠,等. 塔里木盆地顺北地区中一下奥陶统断溶体储层特征及发育模式[J]. 石油学报, 2019, 40(11): 1-16.
Li Yingtao, Qi Lixin, Zhang Shaonan, et al. Fault-karst reservoir characteristics and developmental model of the Middle and Lower Ordovician in Shunbei area, Tarim Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2019, 40(11): 1-16.
- [13] 雷涛,顾汉明,李列,等. 面向目标靶区的双程波动方程地震定向照明分析[J]. 石油物探, 2014, 53(4): 437-443.
Lei Tao, Gu Hanming, Li Lie, et al. Target-oriented seismic directional illumination analysis based on two-way acoustic wave equation[J]. Geophysical Prospecting For Petroleum, 2014, 53(4): 437-443.
- [14] 马灵伟,顾汉明,赵迎月,等. 应用随机介质正演模拟刻画深水区长缘礁碳酸盐岩储层[J]. 石油地球物理勘探, 2013, 48(4): 0583-0590.
Ma Lingwei, Gu Hanming, Li Yingyue, et al. The application of stochastic media forward modeling to the description of carbonate reservoir in platform margin reef in deep water area[J]. OGP, 2013, 48(4): 583-590.
- [15] 马灵伟,顾汉明,李宗杰,等. 应用正演模拟分析近地表黏弹性对深层缝洞储层地震波衰减及成像的影响[J]. 石油地球物理勘探, 2014, 49(4): 694-701.
Ma Lingwei, Gu Hanming, Li Zongjie, et al. Using forward modeling to analyze the influence of near surface viscoelasticity on seismic wave attenuation and imaging of deep fracture cavern reservoir[J]. OGP, 2014, 49(4): 694-701.
- [16] 马灵伟,顾汉明,李宗杰,等. 正演模拟碳酸盐岩缝洞型储层反射特征[J]. 石油地球物理勘探, 2015, 50(2): 290-297.
Ma Lingwei, Gu Hanming, Li Zongjie, et al. Reflection characteristics of fracture vuggy carbonate reservoir in forward modeling[J]. OGP, 2015, 50(2): 290-297.
- [17] 冉建斌,张艺山,李海银,等. 吐哈盆地葡北地区“两宽一高”地震勘探技术及应用效果[J]. 石油与天然气地质, 2019, 40(4): 725-737.
Ran Jianbin, Zhang Yishan, Li Haiyin, et al. The “2W1H” seismic exploration technique and its application in Pubei area, Turpan-Hami Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2019, 40(4): 725-737.
- [18] 崔名喆,郭诚,穆朋飞,等. 基于地震波形及属性优选的优势储层预测[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2019, 16(1): 15-20.
Cui Mingzhe, Guo Cheng, Mu Pengfei, et al. Predication of advantaged reservoirs based on seismic waveform and attribute optimization[J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2019, 16(1): 15-20.
- [19] 彭才,郑荣才,陈辉,等. 开江—梁平海槽东侧长兴组生物礁发育主控因素及地震精细预测技术[J]. 石油实验地质, 2019, 41(4): 614-620.
Peng Cai, Zheng Rongcai, Chen Hui, et al. Reef control factors and new seismic prediction techniques of Changxing Formation, east of Kaijiang-Liangping trough, Sichuan Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2019, 41(4): 614-620.
- [20] 徐海,都小芳,高君,等. 基于波形聚类的沉积微相定量解释技术研究——以中东地区X油田为例[J]. 石油物探, 2018, 57(5): 744-755.
Xu Hai, Du Xiaofang, Gao Jun, et al. Quantitative interpretation of sedimentary microfacies based on waveform clustering: a case study of X oilfield, Middle East[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2018, 57(5): 744-755.