

元坝气田长兴组超深层缓坡型礁滩相储层精细刻画

龙胜祥,游瑜春,刘国萍,冯琼

(中国石化石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘要:四川盆地元坝气田长兴组气藏埋深达7 000 m左右,生物礁滩规模小、分布分散,储层薄、物性和连通性差,加之气藏具有复杂的气-水关系和高含硫化氢、二氧化碳,其开发属世界级难题。为实现该气藏规模、有效开发,作者创新和集成一系列技术,对生物礁滩储层及其内部结构进行了精细刻画。首先,在该区层序划分、沉积微相研究和现代礁滩相研究、成岩作用研究成果基础上,总结了有利储层发育的主控因素,建立了礁滩储层发育模式。第二,以此发育模型为指导,开展测井储层识别与物性评价,进而井-震结合建立正演地质模型,利用地震敏感属性提取及反演方法,预测了储层平面展布。第三,采用地质约束、地震技术相结合的方法,通过剖面识别、平面约束、三维边界雕刻、礁滩体连通性检测和三维精细雕刻,精细刻画了生物礁滩储层空间展布。最后,分析了生物礁体之间的连通性以及优势储层空间分布情况,总结建立了该区长兴组生物礁滩3种主要结构模型,为元坝长兴组气藏开方案编制与开发井部署提供了技术支持。

关键词:精细刻画;礁滩储层;长兴组;元坝气田;四川盆地

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Fine characterization of ultra-deep reef-shoal reservoirs of ramp-type in Changxing Formation in Yuanba gas field, Sichuan Basin

Long Shengxiang, You Yuchun, Liu Guoping, Feng Qiong

(Petroleum Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China)

Abstract: The burial depth of the Changxing Formation in Yuanba gas field, Sichuan Basin, is nearly 7 000 meters, the biological reef-shoals are small in scale and scattered in distribution, and the reservoirs are small in thickness and poor in poroperm characteristics and connectivity. In addition, the gas field has a complex gas-water contact, and high contents of hydrogen sulfide and carbon dioxide. All of these make the gas development in the study area very difficult. For effective development of the gas reservoir, a series of technologies has been innovatively integrated to finely characterize the reef-shoal reservoirs and their inter architecture. Firstly, the major factors controlling the development of favorable reservoirs are summarized and a reef-shoal development pattern is built based on study of stratigraphy, sedimentary facies, modern reef-shoal deposition and diagenesis. Secondly, under the guidance of the reef-shoal development pattern, logging interpretation and reservoir identification are performed and a forward geological model is established by integration of well-seismic data, and then the reservoir distribution is predicted through sensitive seismic attributes extraction and inversion. Thirdly, the distribution of reef-shoal reservoirs is characterized by integrating geological constraints with seismic techniques, such as profile identification, plane constraint, 3D boundary delineation, and connectivity detection. Finally, the reservoir connectivity and the spatial distribution of favorable reservoirs are analyzed. Via this workflow, three structure models of reef-shoal reservoirs are established to support the production planning and well deployment in the Changxing Formation of Yuanba gas field.

Key words: fine characterization, reef-shoal reservoir, Changxing Formation, Yuanba gas field, Sichuan Basin

四川盆地东北部元坝气田长兴组气藏发现于2007年11月,在2009年启动元坝气田长兴组气藏开发评价时,面临井控低(仅11口/1 000 km²),井资料少,认识程度低,气藏埋藏深度在7 000 m左右,三维

地震主频低(25 Hz左右),分辨率低;储层为礁滩相储层^[1],礁体和滩体个数多而规模小,展布分散,储层单层薄、物性差且与非储层形成多层复杂叠置。因此,该套储层精细刻画属世界级难题。前人对川东北及元坝

的储层预测基本上是勘探阶段的预测,采用的方法主要是反射波特征与地震相分析和多属性反演,能大致控制储层分布^[2-6],但其精度不能满足开发部署的要求。吕其彪等^[7]和赵钊等^[8]采取叠前弹性反演和叠后频谱技术等,提高了预测的精度。朱强等^[9]、蔡希源^[10]、肖秋红等^[11]、杨小江等^[12]根据地震相分析、多属性反演等对礁体内部储层结构进行了精细刻画探索。总体看,他们的成果也不够精细,不能满足元坝长兴组气藏开发的需要。作者在前人探索基础上,通过不断攻关,发展了一套地质与地球物理相结合的技术,成功地对元坝气田长兴组储层进行了精细刻画,明确了Ⅰ类、Ⅱ类储层(主要依据孔隙度来划分,Ⅰ类储层:孔隙度 $\geq 10\%$,Ⅱ类储层: $5\% \leq \text{孔隙度} < 10\%$)空间分布及内部结构,有力地支撑了气藏开发方案编制和开发井部署。

1 储层发育主控因素

钻井岩心系统观察和采样分析发现,长兴组有利储层为礁相和滩相溶孔白云岩、生屑(含生屑)粉细晶白云岩、残余生屑(粒屑)白云岩、生物礁白云岩,一般单层薄,纵向上往往被非储层所分隔,在横向上呈多个狭长带状和块状、点状分布。研究认为,这套有利储层的发育主要受沉积相、成岩作用和构造活动等因素控制。

1.1 有利沉积微相是优质储层发育的基础

长兴组储层为典型的相控储层^[13],据取心资料分析表明,台地边缘生物礁及生屑滩相是最有利储集相带,台内滩相次之,且礁相优于滩相(图1)。由于不同沉积微相的水动力及水介质性质不同,形成岩石的沉积组构、原始矿物成分存在差异,导致孔隙度和渗透率亦存在差异,同时这些差异对后期成岩作用也具有重要影响。台地边缘生物礁相一般形成于浪基面附近,水动力强,形成贫灰泥的沉积体,原始孔隙发育。同时,由于海平面频繁升降,礁体顶部常暴露于水体之

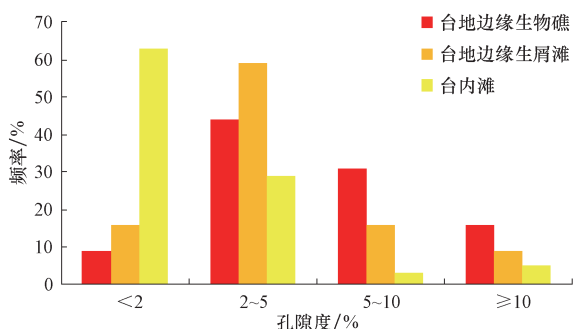


图1 元坝气田长兴组不同相带储层孔隙度直方图

Fig. 1 Porosity histogram of different sedimentary facies in the Changxing Formation in Yuanba gas field

上,为大气淡水选择性溶蚀作用和蒸发浓缩白云岩化作用提供了有利条件。

1.2 成岩作用和构造裂缝对储层的发育起到重要控制作用

1.2.1 建设性成岩作用进一步提高岩石孔隙度

通过大量薄片鉴定认为,元坝气田长兴组成岩作用类型主要包括海底胶结作用、海百合的共轴生长、白云石化作用、压实压溶作用、胶结(充填)作用、溶蚀作用和热液作用等。其中建设性成岩作用包括白云石化作用和溶蚀作用。

本区白云石化作用分3期:①同生期白云石化,在五级层序中、上部沉积期,随着海平面不断降低,生物礁、生屑滩不断长大且可部分出露海水面,海水浓缩并通过毛细管作用向生屑礁滩顶部渗透,在近地表发生低温条件下蒸发泵模式和渗透回流模式的快速白云石化作用,形成微晶白云石、粉-中晶它形脏白云石;②早期白云石化,发生于沉积后浅埋藏过程中,压实作用驱动沉积物中海水渗透运动,发生渗透模式白云石化,由于镁离子的供给有限,白云石化作用往往不完全,作用过程缓慢,形成晶形较好的粉-中晶自形白云石;③晚期白云石化,在深层条件下,深部流体或盆地内部碎屑岩地层流体沿断裂和裂缝通道进入长兴组,再沿着先期孔洞缝系统进行渗透流动,形成异形白云石。分析发现储层物性与白云石化程度密切相关,当白云石含量小于80%时,孔隙度都在4%以下,而孔隙度大于5%的储层,白云石含量大都在90%以上。生屑白云岩、残余生屑白云岩物性最好,结晶白云岩、礁白云岩次之,而海绵礁灰岩物性较差。

本区的溶蚀作用主要有以下几种类型:①准同生期大气水溶蚀作用,主要表现在部分生屑或砂屑颗粒具粒内溶孔、铸模溶孔;②早期溶蚀作用,主要形成白云石晶间孔和晶间溶孔,孔洞中普遍有沥青充填,故应发生于石油形成前;③晚期溶蚀作用,导致孔洞进一步溶蚀、沿裂缝或缝洞方解石溶蚀,明显切割缝洞沥青充填物,或缺乏沥青充填物,具粒状亮晶自形白云石。白云岩中发育两期溶蚀孔隙、孔洞和缝洞,以晚期溶蚀缝、孔和洞为主。生屑灰岩或礁灰岩主要发育少量晚期溶蚀孔洞。

1.2.2 构造裂缝改善了储层的渗透能力和连通性

运用成像测井、岩心描述和薄片鉴定等资料及地震资料综合分析,发现长兴组发育3期构造裂缝,其中第二、第三期缝-孔配置较第一期更好,对储层储渗性能和产能有积极贡献作用^[14]。裂缝有利于油气或有机酸等运移,引起储层中方解石和白云石溶蚀,改善储

集空间和渗透性,同时也沟通形成统一的孔、洞和缝系统,改善渗透性。

2 缓坡型台缘生物礁、生屑滩有利储层发育模式

2.1 礁相有利储层空间分布特征

通过研究认为,长兴组礁相储层纵向上可分为礁基-礁核-礁盖、礁核-礁盖两个成礁旋回。从优质储层发育情况来看,纵向上主要发育于礁盖,其储层平均孔隙度为 5.2%(图 2a;表 1);平面上主要分布于礁顶、其次是礁后(图 2a),在礁前 I+II 类储层平均厚度 11.3 m,礁顶 I+II 类储层平均厚度 44.9 m,礁后 I+II 类储层平均厚度 16.1 m。

2.2 滩相有利储层空间分布特征

沉积时滩体所处的沉积微相(台地边缘滩、开阔台地台内滩、局限台地台内滩)和滩体内部不同部位(滩核、滩缘)控制了滩相储层分布与质量。台地边缘滩储层品质好,开阔台地和局限台地台内滩储层

品质次之。在滩体内部,有利储层纵向上主要发育于滩体上部,平面上滩核部位储层厚度及品质优于滩缘(图 2b)。

3 超深层缓坡型礁滩相储层预测与精细刻画

3.1 台缘礁滩相储层测井识别

3.1.1 礁、滩相储层岩性识别

元坝礁、滩相储层岩性组合复杂,单一常规测井曲线不能有效反映岩性。研究发现不同的岩性成像测井特征不一样,故利用成像资料刻度常规测井的方法来进行岩性识别(表 2),定性划分碳酸盐岩储层。

3.1.2 礁、滩相储层测井定量解释

长兴组部分地层特别是礁间、滩间较深水部位地层中泥质含量较高,因此应解释泥质含量并剔除。自然伽马曲线是地层自然放射性的反映,它与沉积环境和泥质含量的多少有比较密切的关系,可以用来计算泥质含量。具体公式如下:

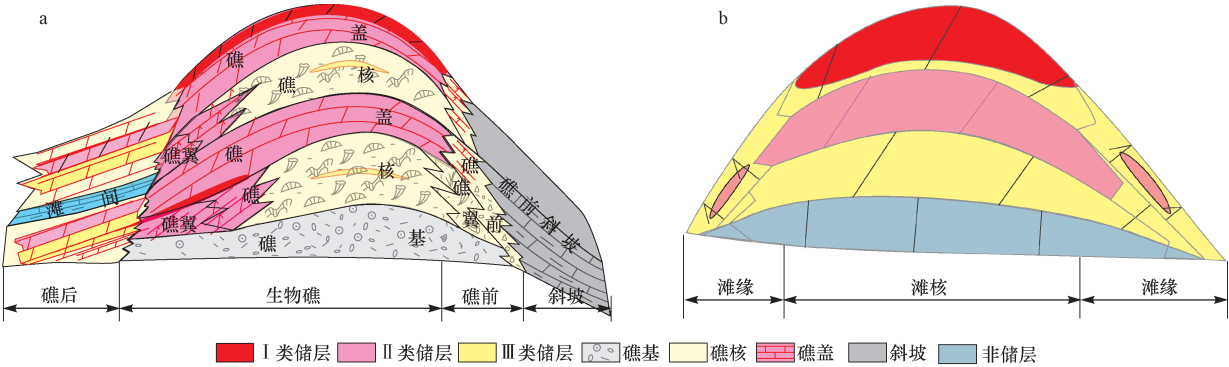


图 2 元坝气田长兴组生物礁(a)和生屑滩(b)储层发育模式

Fig. 2 Development models of the reef(a)and shoal(b)reservoirs in the Changxing Formation, Yuanba gas field

表 1 元坝气田长兴组生物礁储层参数统计

Table 1 Bioherm reservoir parameters of the Changxing Formation, Yuanba gas field

礁体位置	储层厚度/m	储层厚度/m			平均孔隙度/%
		I 类	II 类	III 类	
礁盖	39.9	2.5	18.2	19.3	5.2
礁核	14.8	0	2.0	13.0	3.2
礁基	0.6	0	0.1	0.5	0.5

表 2 元坝气田长兴组测井岩性识别特征

Table 2 Logging identification of lithology of the Changxing Formation, Yuanba gas field

岩石类型	常规测井响应特征	FMI 响应特征
泥质灰岩	自然伽马值较高,中子值大,密度值高,泥质含量较高,电阻率低	动态图像上可见水平层理和波状层理,具层状特征
溶孔白云岩	自然伽马值低,中子值较高,密度值较大,电阻率一般较低	动态图像上可见溶蚀孔隙发育
溶孔生屑灰岩	自然伽马值低,中子值中等,密度值较低,电阻率较低	动态图像上可见溶蚀孔隙发育
致密灰岩	低去铀伽马值,低中子值,低密度值,电阻率极高	动态图像上为致密块状特征

$$SH = \frac{GR - GR_{\min}}{GR_{\max} - GR_{\min}} \quad (1)$$

$$V_{sh} = \frac{2.0^{GCUR \cdot SH} - 1.0}{2.0^{GCUR} - 1.0} \quad (2)$$

式中: SH 为自然伽马相对值; GR 为目的层自然伽马测井值, API; $GR_{\min}$ 为纯岩石自然伽马最小值, API; $GR_{\max}$ 为纯泥岩自然伽马最大值, API; V_{sh} 为泥质含量; $GCUR$ 为经验系数, 老地层为 2, 古近系为 3.7。

通过岩心分析发现长兴组储层溶蚀孔洞等次生孔隙相对发育, 且仅少数样品发育裂缝, 故采用密度-中子交会确定矿物百分含量和孔隙度, 利用孔隙度来求取渗透率, 其响应方程为:

$$\rho_b = V_{sh}\rho_{sh} + \sum_{i=1}^n (V_{ma i}\rho_{ma i}) + \Phi\rho_f \quad (3)$$

$$K = 0.0075e^{0.6139\Phi} \quad (4)$$

$$\Phi_N = V_{sh}N_{sh} + \sum_{i=1}^n (V_{ma i}N_{ma i}) + \Phi N_f \quad (5)$$

$$V_{sh} + \sum_{i=1}^n V_{ma i} + \Phi = 1 \quad (6)$$

式中: Φ , V_{sh} , $V_{ma i}$ 分别为孔隙度、泥质体积含量及第 i 种矿物体积含量; Φ_N , $N_{ma i}$, N_f , N_{sh} 分别为地层、矿物骨架、流体、泥质的补偿中子值, %; ρ_b , $\rho_{ma i}$, ρ_f , ρ_{sh} 分别为地层、矿物骨架、流体、泥质的密度值, g/cm^3 ; K 为渗透率, $10^{-3} \mu m^2$ 。

3.2 台缘礁滩相储层地震预测与精细刻画

3.2.1 礁滩相储层识别模式

利用地质认识和测井解释成果, 建立地质模型, 并运用正演模拟方法, 开展地震响应特征分析, 建立礁滩

相储层识别模式。结果显示:

1) 生物礁识别模式

通过地质模型(图 3a)正演得到的合成地震响应(图 3b)与实际过井地震剖面对比, 表明: ①生物礁与上覆围岩地震响应为中强振幅; ②生物礁外形为丘状、透镜状; ③中上部礁盖与礁核地震响应为弱振幅、低频, 内部杂乱或空白反射, 振幅强弱与储层厚度和物性有关; ④在生物礁体下部, 由于沉积有泥灰岩, 出现较强振幅; ⑤在生物礁体两侧, 由于沉积环境变化, 泥质含量增高, 出现强振幅、低频地震响应特征。

2) 生屑滩识别模式

对生屑滩储层进行正演模拟, 建立生屑滩前积特征地质模型(图 4a)。从模拟结果(图 4b)看, 高能滩体在地震响应上表现为低频-强振幅、断续-叠置、复波反射特征, 随生屑滩储层物性、厚度的增大, 出现强振幅特征, 能量增强, 储层尖灭、消失时变为无反射或弱反射。

3.2.2 储层平面展布预测

1) 优选属性, 定性分析储层平面展布

主要用如下属性对生物礁滩储层进行定性分布。

① 瞬时相位

长兴组上段在西部出现条带状相位反转, 东北部台地边缘与东南部也发生相位反转, 预测在台地边缘发育生物礁。而长兴组下段在元坝 12-元坝 11 井区、台地边缘带及西部, 相位极性发生反转, 是生屑滩储层发育区。

② 均方根振幅

长兴组上段在台地边缘生物礁带出现振幅异常, 与生物礁储层“亮点”分布相符。而长兴组下段在元坝 12-元坝 11 井区为中至强振幅, 是生屑滩储层发

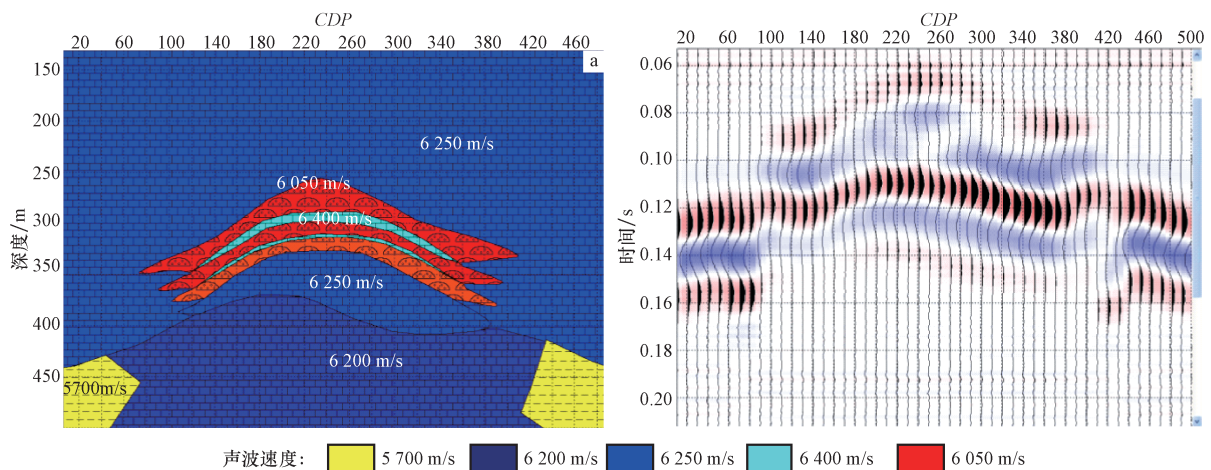


图3 元坝气田长兴组生物礁地质模型(a)及其地震正演结果(b)

Fig. 3 Geological model(a) and the corresponding seismic forward modeling(b) of bioherm reservoirs in the Changxing Formation, Yuanba gas field

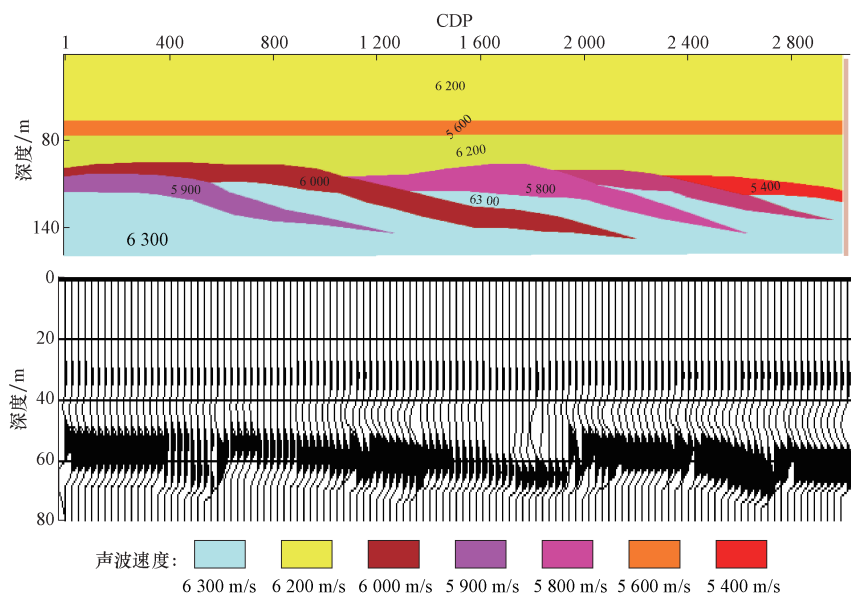


图4 元坝气田长兴组生屑滩前积地质模型(a)和地震正演(b)分析

Fig. 4 Geological model(a) and seismic forward modeling(b) of the bioclastic shoal reservoirs in the Changxing Formation, Yuanba gas field

育所致,在元坝12井以西出现一片较强振幅区,则是岩性变化所造成。

③ 频谱成像

在20 Hz 频谱能量图上看到在台地边缘频谱能量强,是储层有利发育区,特别在台地边缘北边界有明显的分界带,表明沉积相带发生变化,进入斜坡带。在25 Hz 以及30 Hz 频谱能量图上看到,随着频率增大,礁相储层发育范围进一步扩大,但厚度也逐渐减薄。生屑滩储层主要发育在工区中南部,而在东部也出现明显分界,同样地,随着频率的增大,厚度有所减薄。

2) 曲线重构,定量预测储层平面展布

本文以沉积模式作指导,采取多条电测曲线的联合反演来进行礁滩储层定量预测。由于泥质含量高的非储层在地震响应特征上与储层一样也表现为低阻抗,利用伽马曲线重构拟声波曲线来去除泥质的影响。依据拟声波阻抗与孔隙度相关性较好,应用中子拟声波阻抗来进行参数反演得到孔隙度体。根据生物礁滩各类储层波阻抗范围,分别对生物礁及其Ⅰ类、Ⅱ类有利储层、生屑滩及其Ⅰ类、Ⅱ类有利储层进行厚度预测。应用后完钻的20口井进行验证,预测精度达到88%以上,表明结果可靠。图5a显示,长兴组上段储层厚度预测在10~130 m,最厚达到130 m,研究区西北部为储层厚度最为发育的地区。图5b显示,长兴组上段生物礁Ⅰ类、Ⅱ类储层主要发育在元坝27井区、元坝29井区以及元坝9井区附近,其中,元坝205井、29井区Ⅰ类、Ⅱ类储层最为发育,Ⅰ类、Ⅱ类储层厚度达到60 m。

3.2.3 生物礁、滩相储层内部三维可视化精细雕刻

长兴组生物礁滩储层空间分布复杂,非均质较强,

储层精细刻画难度大。针对这一难题,采用地质约束,多种地震技术相结合,按如下顺序进行刻画(以礁为例说明)。

1) 剖面识别

在三维地震数据体和波阻抗数据体基础上,首先针对过井线,对生物礁体进行逐一识别,精细解释顶底界面。单个生物礁在地震反射剖面上,外部形状为丘状,顶界为一强波谷亮点反射,两侧边缘有上超现象,礁内部为空白或杂乱反射,而礁以外的斜坡与潟湖沉积为平行或“U”形连续反射。在波阻抗剖面上,礁内部储层表现为中低阻抗值,外部形态特别是两侧边界更为清楚。

2) 平面约束

利用古地貌分析技术结合沉积相研究,从平面上对生物礁体展布进行约束刻画,从而提高生物礁体分布现状的把握和刻画精度。

3) 三维边界雕刻

应用三维可视化技术和多属性体融合技术,从剖面到平面精确识别生物礁边界,然后在三维空间中对礁盖进行立体雕刻,明确其界面空间分布和岩性、物性空间变化特征。

4) 礁体连通性检测

应用频谱技术,寻找不同频谱中储层与非储层的分界点,逐一剖面刻画小礁体,分析小礁体间连通性。

5) 三维精细雕刻

对每个生物礁滩体,从多个方向切地震剖面 and 波阻抗剖面等,对同一礁滩体的外形和内部结构进行不同方向的信息提取,突出内部储层分布和物性特征变化,如对元坝204井区生物礁,在东西向、南北向和北

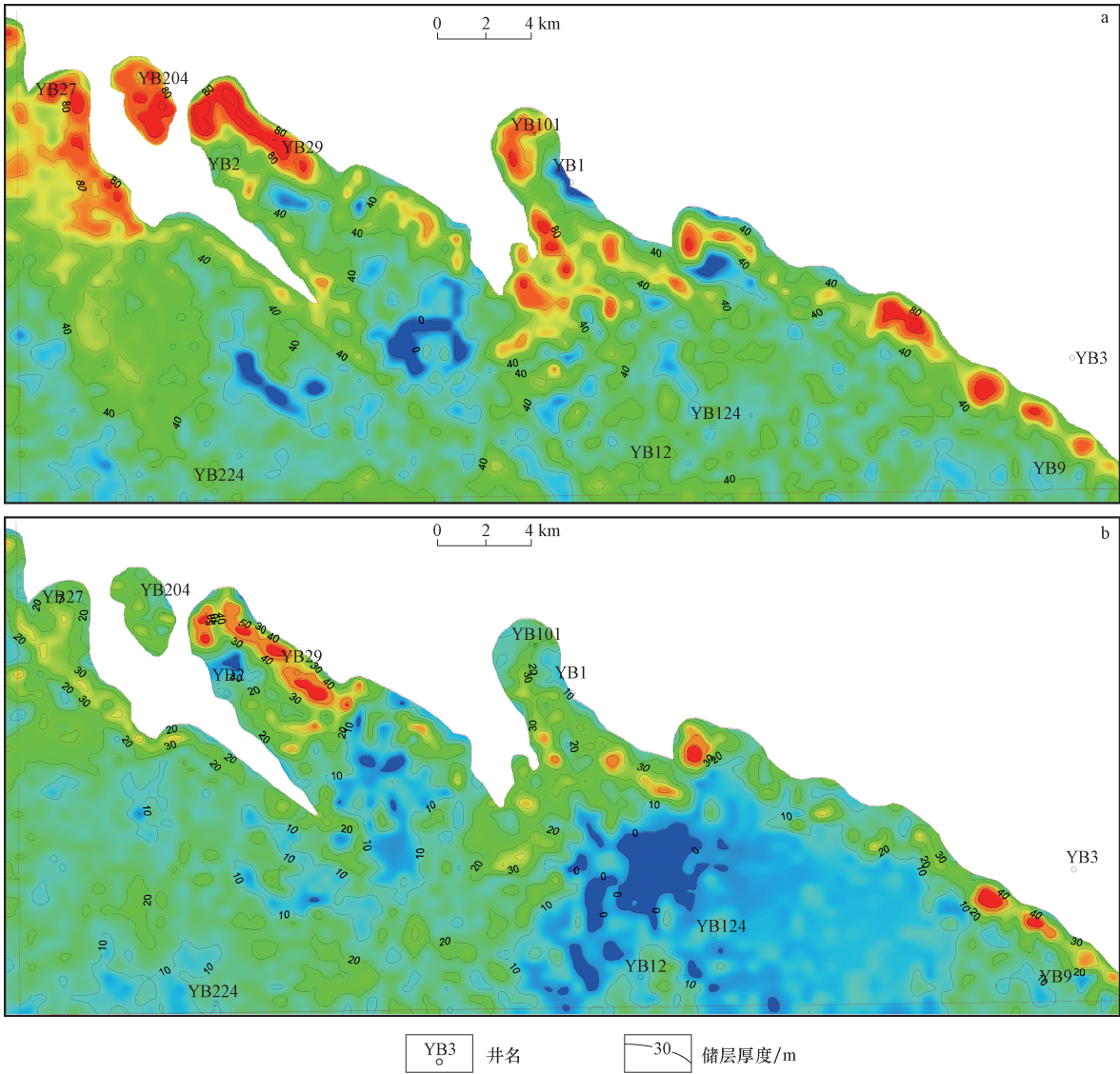


图 5 元坝气田长兴组上段储层预测厚度(a)及 I 类、II 类储层厚度(b)

Fig. 5 Predicted thickness of reservoir(a) and isopach of type I and II reservoirs(b) in the Upper Changxing Formation, Yuanba gas field

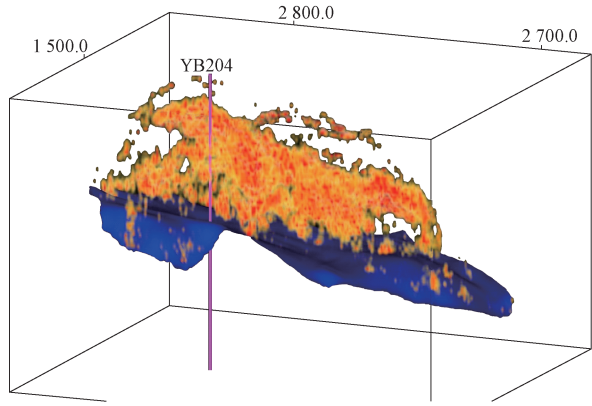


图 6 元坝气田 YB204 井礁体储层空间发育示意图

Fig. 6 3D visualization of reef reservoirs in Well YB204, Yuanba gas field

东东向均表现为多期礁的杂乱叠置,而在北西向却表现为一单层储层。然后综合各方向刻画结果形成立体概念,并应用相关软件对精细刻画生物礁体进行三

维可视化显示,展示生物礁体内部结构的空变化,分析生物礁体之间的连通性以及优势储层空间分布情况(图 6)。针对本区长兴组生物礁储层空间分布,总结建立了垂向加积型、侧向加积型、侧向加积 + 垂向加积型等 3 种主要结构模型。

应用上述方法,我们对元坝气田长兴组 4 个生物礁带和台地内部 8 个点礁分别进行了精细刻画,有利的生物礁储层分布面积 224.41 km²;刻画滩体 17 个,单个面积 1.48 ~ 41.14 km²,有利的生物滩储层分布面积 164.4 km²。为开发方案编制和开发井部署提供了科学依据和资料基础。

4 结论

1) 单个礁体优质储层纵向上主要发育于礁盖,其次是礁核,平面上主要分布于礁顶,其次是礁后;单滩

体有利储层纵向上主要发育于滩体上部,平面上主要分布于滩核。

2) 元坝礁、滩相储层岩性组合复杂,单一常规测井曲线不能有效反映岩性。利用成像资料刻度常规测井的方法来可有效地进行岩性的识别,并定性地划分碳酸盐岩储层。在储层特征测井定量分析时,利用自然伽马曲线能较准确地解释泥质含量并剔除泥质层。

3) 在礁滩相储层发育地质模型指导下,以地质资料和测井解释成果为约束,多种地震技术相结合,形成了相控多参数融合三维交互约束的礁滩相储层精细刻画技术,实现了对元坝大量礁滩体内部储层的精细刻画,为开发方案编制和开发井部署提供了强有力技术支持。

参 考 文 献

- [1] 郭彤楼. 川东北地区碳酸盐岩层系孔隙型与裂缝型气藏成藏差异性[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(3): 311-317.
Guo Tonglou. Differences in reservoir-forming between porous and fractured gas pools in carbonates, the northeastern Sichuan Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(3): 311-317.
- [2] 刘殊, 唐建明, 马永生, 等. 川东北地区长兴组-飞仙关组礁滩相储层预测[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(3): 332-347.
Liu Shu, Tang Jianming, Ma Yongsheng, et al. Prediction of reef and shoal facies reservoirs in Changxing-Feixianuan Formations in northeastern Sichuan basin [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(3): 332-347.
- [3] 刘殊, 范菊芬, 曲国胜, 等. 气烟囱效应——礁滩相岩性气藏的典型地震响应特征[J]. 天然气工业, 2006, 26(11): 52-55.
Liu Shu, Fan Jufen, Qu Guosheng, et al. Gas chimney effect: Typical seismic expression of lithologic shoal and reef gas reservoirs [J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(11): 52-55.
- [4] 陈汉军, 吴亚军. 川北阆中—南部地区茅口组礁滩相储层预测[J]. 天然气工业, 2008, 28(11): 22-25.
Chen Hanjun, Wu Yajun. Prediction on reef flat facies reservoirs in the Maokou Formation, Nanbu area of Langzhong in North Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry 2008, 28(11): 22-25.
- [5] 胡伟光, 蒲勇, 赵卓男, 等. 川东北元坝地区长兴组生物礁的识别[J]. 石油物探, 2010, 49(1): 46-53.
Hu Weiguang, Pu Yong, Zhao Zhuonan, et al. Identification of reef reservoir of Changxing formation in Yuanba area of Northeastern Sichuan Basin [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2010, 49(1): 46-53.
- [6] 郭旭升, 郭彤楼, 黄仁春, 等. 普光—元坝大型气田储层发育特征与预测技术[J]. 中国工程科学, 2010, 12(10): 82-90, 96.
Guo Xusheng, Guo Tonglou, Huang Renchun, et al. Reservoir development characteristics and predication technologies of large Puguang-Yuanba Gas Field [J]. Engineering Sciences, 2010, 12(10): 82-90, 96.
- [7] 吕其彪, 吴清杰, 毕有益. 高分辨率地震解释预测礁滩相储集层[J]. 新疆石油地质, 2012, 33(5): 557-559.
Lü Qibiao, Wu Qingjie, Bi Youyi. Prediction of reef-flat reservoir using high resolution seismic interpretation [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2012, 33(5): 557-559.
- [8] 赵钊, 王身建, 张延充, 等. 川东地区长兴组生物礁有利相带预测技术研究[J]. 海洋石油, 2014, 34(1): 41-45.
Zhao Zhao, Wang Shenjian, Zhang Yanchong, et al. Study on the technology for prediction of the favorable reef facies Belt in Changxing Formation in the East of Sichuan [J]. Offshore Oil, 2014, 34(1): 41-45.
- [9] 朱强, 阎建国, 程谦, 等. 基于多属性数据体的三维地震相体分析技术[J]. 物探化探计算技术, 2010, 32(1): 72-77.
Zhu Qiang, Yan Jianguo, Chen Qian, et al. 3D Seismic facies volume analysis techniques based on multi-attributes volumes [J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2010, 32(1): 72-77.
- [10] 蔡希源. 川东北元坝地区长兴组大型生物礁滩体岩性气藏储层精细刻画技术及勘探实效分析[J]. 中国工程科学, 2011, 13(10): 28-33.
Cai Xiyuan. The subtly method of reservoir and exploration effects on the organic reef-beach body of Changxing Formation, Yuanba Area, Northeastern Sichuan [J]. Engineering Sciences, 2011, 13(10): 28-33.
- [11] 肖秋红, 李雷涛, 屈大鹏, 等. YB地区长兴组礁滩地震相精细刻画[J]. 石油物探, 2012, 51(1): 98-103.
Xiao Qiuhong, Li Leitao, Qu Dapeng, et al. Fine description on the seismic facies of reef-beach reservoir in Changxing formation, YB area [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2012, 51(1): 98-103.
- [12] 杨小江, 文晓涛, 贺振华, 等. 基于波动方程正演的礁体内部结构精细解释[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2013, 15(1): 136-140, 143.
Yang Xiaojiang, Wen Xiaotao, He Zhenhua, et al. Fine interpretation of internal structure of reef based on wave equation forward modeling [J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology (Natural Sciences Edition), 2013, 15(1): 136-140, 143.
- [13] 王明筏, 张汉荣, 厚东琳, 等. 元坝地区长兴组储层特征及主控因素研究[J]. 石油天然气学报, 2012, 34(11): 41-45.
Wang Mingfa, Zhang Hanrong, Hou Donglin, et al. The reservoir characteristics and controlling factors of changxing Formation in Yuanba area [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2012, 34(11): 41-45.
- [14] 范小军, 彭俊, 李吉选, 等. 川东北元坝地区上二叠统长兴组超深层礁滩岩性气藏中裂缝特征[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(4): 511-516.
Fan Xiaojun, Peng Jun, Li Jixuan, et al. Fracture characteristics of ultra-deep reef-bank lithologic gas reservoirs in the Upper Permian Changxing Formation in Yuanba area, Northeastern Sichuan Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(4): 511-516.

(编辑 张亚雄)