

珠江口盆地西部文昌A油田钙质隔夹层研究

甘永年, 晁彩霞, 曹阳, 王猛, 代百祥

中海石油(中国)有限公司湛江分公司

摘要 利用岩心、测井、铸体薄片等资料,采用SMI软件地震波形指示反演技术,分析珠江口盆地西部文昌A油田钙质隔夹层的空间结构特征,在此基础上结合开发井构造位置、储层物性及产能探讨钙质隔夹层对油藏开发效果的影响。研究表明:波阻抗对钙质隔夹层预测效果明显,基于波阻抗的地震波形指示反演精度高(可识别0.5 m的钙质隔夹层);研究区目的层段ZJ₂I-1砂组发育3套钙质隔夹层,按其垂向位置分为顶钙层、中钙层与底钙层,顶、底钙层的岩性以生物碎屑灰岩为主,形成于海平面高频振荡的超短期反旋回顶部的临滨沙坝中,平面延伸规模大;中钙层的岩性以钙质砂岩为主,形成于基准面上升的超短期正旋回的中部和顶部,中钙层的形成与差异性成岩作用有关,其横向连续性差、分布局限。钙质隔夹层通过影响含水率而间接影响开发效果。研究认为:当底钙层缺失或存在天窗时,若储层物性较好,可以采取提液措施来提高产能;若储层物性较差,则开发效果差。该新认识突破了传统的“底钙层存在天窗就产能低”的观点,可为油田挖潜提供依据。

关键词 地震波形指示反演; 钙质隔夹层; 临滨; 沙坝; 文昌A油田; 珠江口盆地

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

0 前言

钙质隔夹层是在后期成岩作用过程中因胶结作用而形成的一类使储集性能变差的地层^[1],它往往发育于早期物性较好的中、粗砂岩及砂砾岩中^[2]。隔夹层是影响油藏开发效果的重要因素,正确认识隔夹层的分布可提高油田产量和采收率^[3-5]。

珠江口盆地西部是南海北部大陆架重要的产区^[6-7],文昌A油田是珠江口盆地西部主力油田之一,已投产十余年,现今生产方式仍为自然能量驱替,剩余储量规模大,是主要挖潜目标。新近系下中新统珠江组二段I油组(简称ZJ₂I油组)是文昌A油田主力油组之一,其中ZJ₂I-1砂组是其主要产油层,目前已进入开发中后期,表现出含水率高、采出程度高、储量动用率高的“三高”特征。在现今老油田产量递减快、稳产难度大的背景下,提高老油田挖潜效率成为南海西部油田稳产的关键。ZJ₂I油组储层内部非均质性强,隔夹层十分发育,隔夹层类型以钙质隔夹层为主,已有的钙质隔夹层连片、连续分布的认识与油田挖潜生产之间的矛盾越来越突出,特别是新钻调整井的钻探结果表明已有的研究成果与目前水驱模式及剩余油分布之间有矛盾。

为了解决上述问题,找到下一步的调整挖潜目标,并降低调整井实施风险,有效动用剩余储量,有必要进一步深入开展隔夹层的空间分布及成因研究。现今常用的隔夹层预测方法主要为三维地质建模法^[8],该方法随机性强,井间控制性差,难以在海上稀井区推广应用。本次研究采用了地震波形指示反演法,地震资料良好的横向分辨率解决了井控稀疏问题,且其纵向预测精度高,可识别0.5 m厚度的钙质隔夹层。地震波形指示反演结果可有效揭示储层的非均质性,有助于重新认识隔夹层对含水上升的影响以及隔夹层对开发效果的影响,可以为油田进行挖潜调整提供依据,同时也为其他类似油田开展隔夹层分布研究提供经验借鉴。

1 地质概况

文昌A油田位于南海北部大陆架珠江口盆地西部珠三坳陷的文昌B凹陷中部东侧,珠三南大断裂带西侧(图1a)。研究区从下至上主要发育有始新统文昌组,渐新统恩平组、珠海组,中新统珠江组、韩江组等地层。本次研究的珠江组二段I油组为水平井开发的层状边、底水低伏背斜构造油藏(图1b),区内断层不发育,以边界断层为主,构

收稿日期:2020-07-03; 改回日期:2020-12-11; 网络出版日期:2020-06-09

第一作者: 甘永年,工程师,硕士,现主要从事储层地质研究工作。通信地址:524057 广东省湛江市坡头区南油二区南调路802号 南海西部石油研究院;E-mail:ganyongnian@163.com

造简单,含油范围内具有统一的油水系统,为一整装油藏。目的层段ZJ₂I-1砂组主要为北东向展布的临滨浅滩和砂坝(图1c)。ZJ₂I-1砂组厚约40 m,从

上到下可进一步细分为4个小层(图2),含油层位主要为ZJ₂I-1-1小层、ZJ₂I-1-2小层及部分高部位的ZJ₂I-1-3小层。

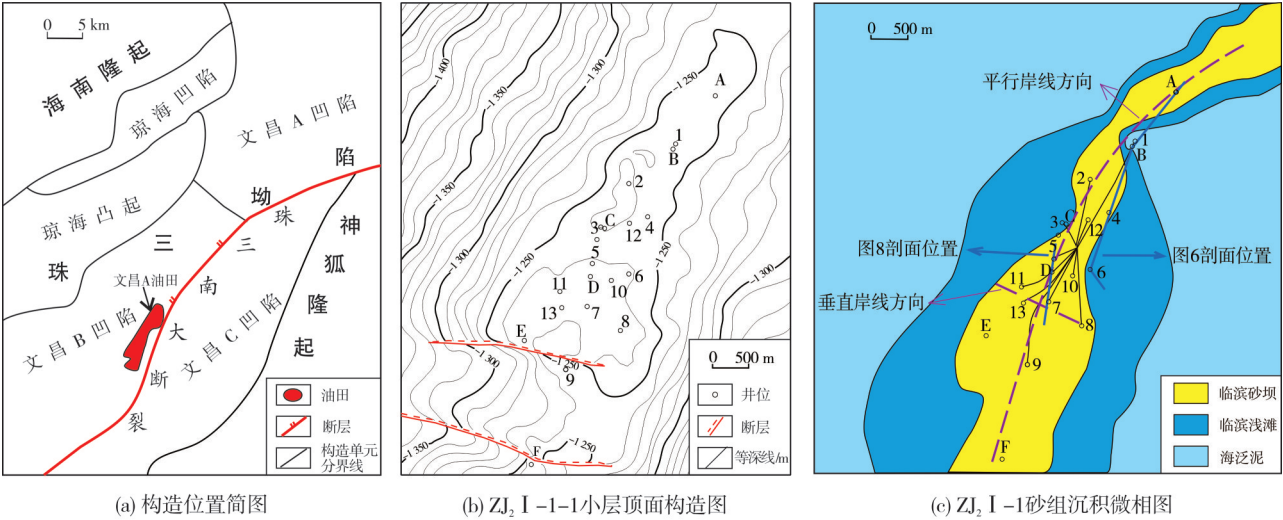


图1 研究区构造位置及目的层构造图、沉积微相图

Fig. 1 Structural location and structural map and sedimentary microfacies of the target layer of study area

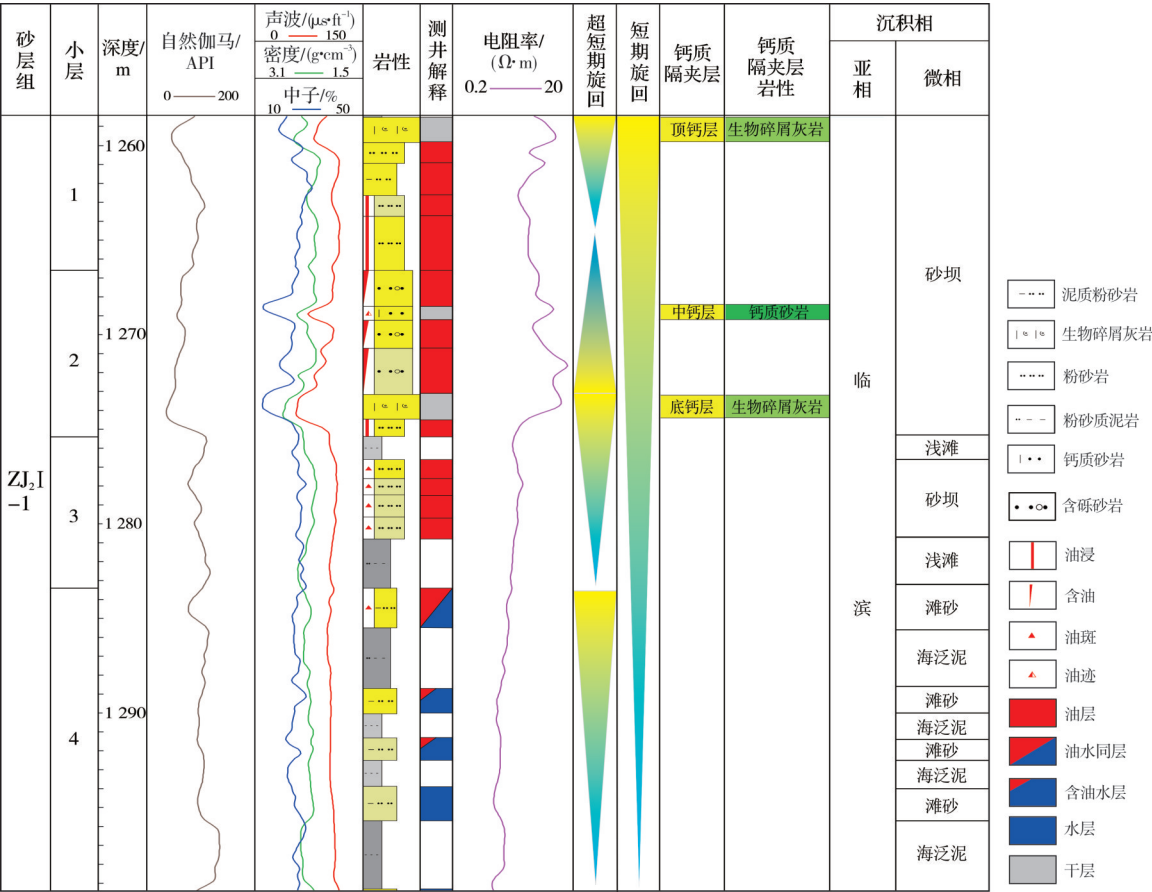


Fig. 2 Comprehensive column of ZJ₂I-1 sand group in Wenchang A Oilfield, western Pearl River Mouth Basin

依据油田的岩心、测井、录井、地震资料分析认为: ZJ_2 I 油组为滨岸相沉积, ZJ_2 I-1 砂组的1、2、3小层发育临滨砂坝、临滨浅滩沉积微相, ZJ_2 I-1-4小层主要以海泛泥沉积微相为主, 局部发育临滨滩砂沉积。由 ZJ_2 I-1-4小层至 ZJ_2 I-1-1小层, 海平面逐渐下降, 水体变浅, 受波浪作用影响, 在构造高点部位临滨发育沙坝(图1c)。 ZJ_2 I 油组岩性为石英砂岩和生物碎屑灰岩, 储层平均孔隙度为27.3%, 平均渗透率为 $1\,279.80 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 为中—高孔、中—高渗储层。

2 钙质隔夹层地震波形指示反演

文昌A油田珠江组二段为滨岸相沉积, 自下而上发育2套反旋回, 下部为厚层砂体叠置, 上部为砂泥岩互层, 顶部发育海侵背景下的“龟背泥岩”。 ZJ_2 I-1 砂组为临滨沉积, 富含钙质生物碎屑, 因此, 钙源丰富, 这是研究区钙质隔夹层发育的主要原因。

2.1 钙质隔夹层测井识别

综合利用文昌A油田岩心、测井、录井和分析化验资料, 首先对取心井段中的钙质隔夹层进行岩性识别, 并总结钙质隔夹层的电性特征, 建立岩—电关

系, 建立钙质隔夹层测井识别标准, 从而明确未取心井或未取心井段的钙质隔夹层分布。岩心可以直观地识别钙质隔夹层: 图3a为白色—灰白色局部显青绿色生物碎屑灰岩, 属典型的钙质隔夹层; 图3b的顶、底部为略含钙质的灰褐色含油砂岩, 中部为灰白色—白色油斑—油迹钙质砂岩。由此可见研究区钙质隔夹层岩性主要为生物碎屑灰岩与钙质砂岩, 这在显微镜下也有良好的印证(图3c—3g): 图3c中的生物类型为有孔虫、腹足类、瓣鳃类、棘皮类和介形虫等; 图3d中的钙质主要为方解石。研究区钙质隔夹层测井响应表现为“三低两高”, 即低伽马、低中子、低声波, 高密度、高电阻率特征, 其测井解释主要为干层(图2)。钙质隔夹层测井识别标准为: 自然伽马值为30~50 API, 中子值为5%~14%, 密度值为 $2.4 \sim 2.6 \text{ g/cm}^3$, 声波时差值为50~70 us/ft, 电阻率大于 $5 \Omega \cdot \text{m}$ 。据此, 在大部分单井上按垂向位置识别出了3套钙质隔夹层: 顶钙层、中钙层、底钙层。顶钙层分布在 ZJ_2 I-1-1小层的顶部, 钻遇率达100%, 实钻厚度为1.2~2.9 m; 中钙层分布在 ZJ_2 I-1-2小层的中上部, 实钻厚度为0.3~1 m; 底钙层分布在 ZJ_2 I-1-2小层的底部, 实钻厚度为1.4~4 m。除构造高部位外, 底钙层之下以水层为主。

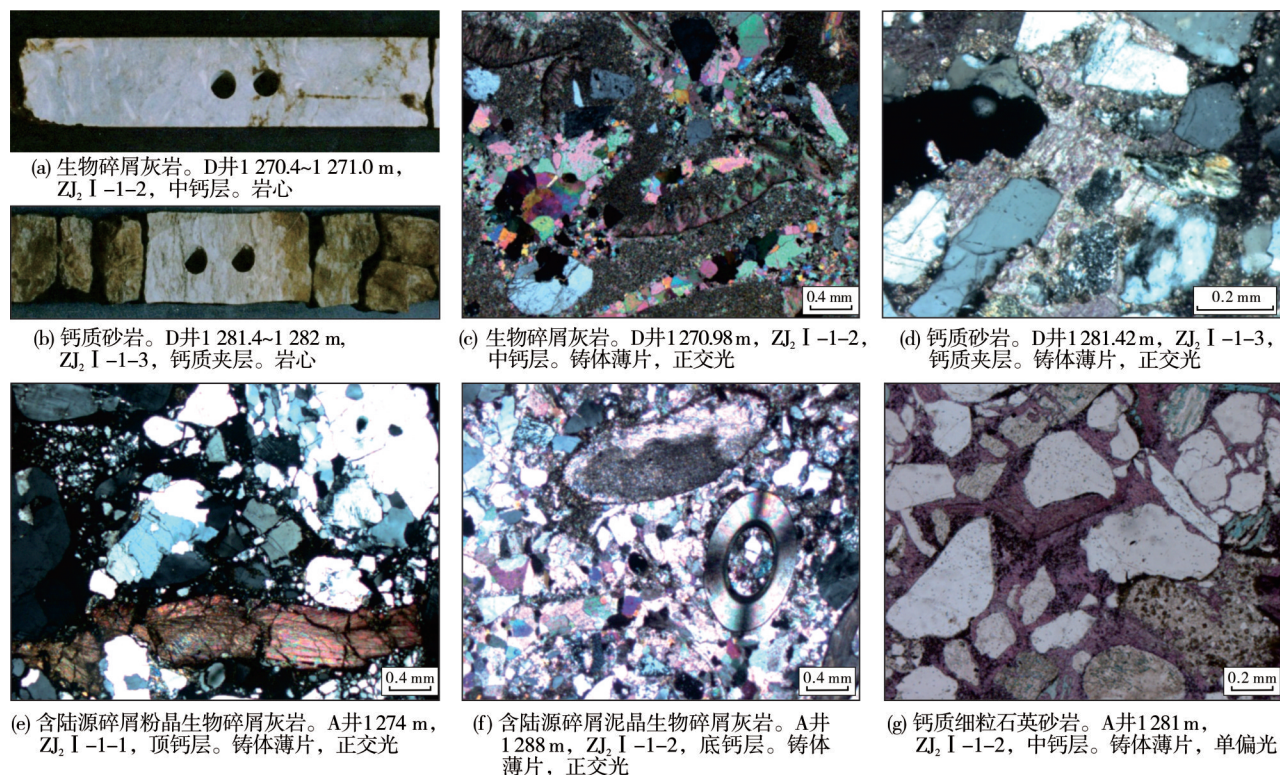


图3 珠江口盆地西部文昌A油田钙质隔夹层岩心与显微镜照片

Fig. 3 Photographs of core and petrographic thin section of calcareous interlayer in Wenchang A Oilfield, western Pearl River Mouth Basin

2.2 钙质隔夹层井间预测

传统的稀疏脉冲反演和地质统计学反演等常规反演无法满足高精度隔夹层预测的要求^[9],因此应用SMI软件地震波形指示反演技术来进行钙质隔夹层的预测。地震波形指示反演是在传统地质统计学基础上发展起来的新的统计学方法^[10],SMI软件地震波形指示反演具有精度高、受模型控制程度低、反演结果随机性小的特点^[11]。研究区地震资料主频为40 Hz,频宽为8~65 Hz,层速度主要在2 600~3 400 m/s之间,垂向分辨率为16~22 m,地震资料品质好,这为波形指示反演提供了较好的资料基础。

2.2.1 岩性敏感性分析

在做好测井曲线预处理、精细井-震标定的基础上,首先要进行岩性敏感性分析,以确定对于钙质隔夹层最为敏感的地震反演属性体或弹性参数体。本次研究通过建立对钙质隔夹层有显著响应的声波、密度、中子、自然伽马及波阻抗等5种测井数据直方图,优选波阻抗为敏感属性,波阻抗值大于7 730 g/(cm²·s)(图4)指示钙质隔夹层。前人研究^[13]也指出声波与密度乘积的波阻抗曲线不改变井-震关系,但其对岩性的敏感性、差异性会有所提高。因此,本文对研究区的波阻抗参数进行了反演运算,得到了全工区的波阻抗属性体。

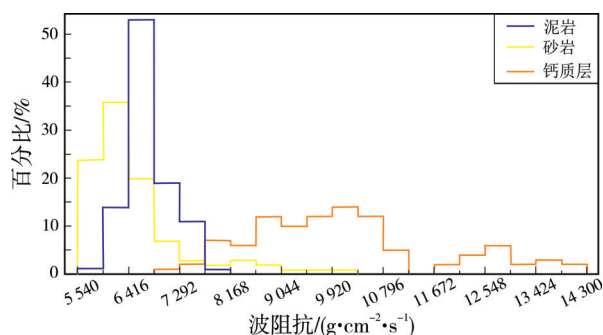


图4 珠江口盆地西部文昌A油田钙质层、砂岩、泥岩波阻抗直方图

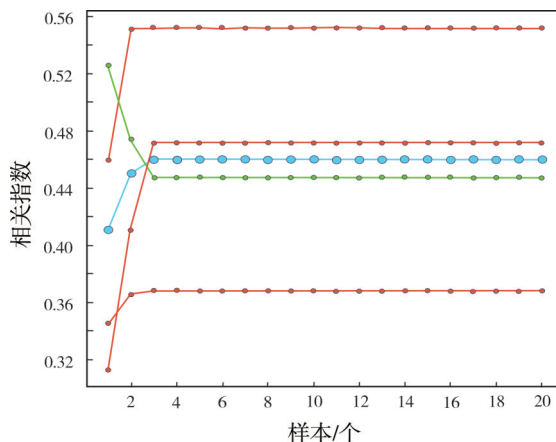
Fig. 4 P-impedance histogram of calcium layer, sandstone and mudstone in Wenchang A Oilfield, western Pearl River Mouth Basin

2.2.2 关键参数设置

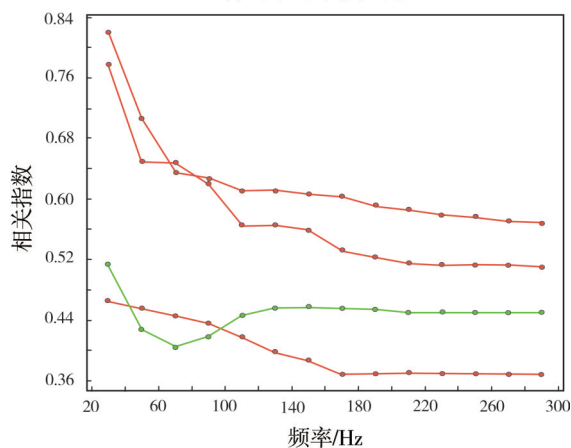
(1)有效样本数

SMI反演与传统反演技术的主要区别是其应用沉积学基本原理,充分利用地震波形的横向变化来

反映储层空间的相变特征,进而分析储层垂向岩性组合的高频结构特征。SMI选取样本的方式是在研究区优选地震波形相似的井作为有效样本,更好地体现了相控的思想。有效样本数主要表征波形空间变化对储层的影响程度,样本数越小,非均质性越强,反之非均质性越弱。本次研究中当样本数为3时,地震与样本数的相关指数最大、曲线趋于水平,增加样本数相关性基本不变,该数值即为最佳样本数(图5a)。



(a)有效样本数分析图



(b)最佳截止频率分析图

注: a图中蓝色点线为平均线, a图和b图中其他颜色的点线为4口井的曲线。

图5 波形指示反演关键参数设置图

Fig. 5 Key parameter setting diagram of seismic waveform indication inversion

(2)最佳截止频率

当最佳截止频率设置在拐点值附近时,反演结果是唯一的、确定的。本次研究中当频率大于220 Hz时,相关指数曲线趋于水平(图5b),因此选用220 Hz作为最佳截止频率,该值既能保证反演具有高的分辨率,又能保证结果的确定性。

2.3 地震波形指示反演可靠性分析

从图6的反演剖面上看,钙质隔夹层(橙色)在纵向上间断分布,在横向上具有一定的连续性,基本反映了正常的钙质隔夹层沉积规律。反演结果

与单井岩性吻合良好,即井点数据与地震数据吻合良好,说明反演结果可靠。由A井—B井—6井连井时间域剖面可看出,未参与反演的A井单井钙质隔夹层分布与反演预测的钙质隔夹层完全吻合(图6),也说明了反演结果可靠。

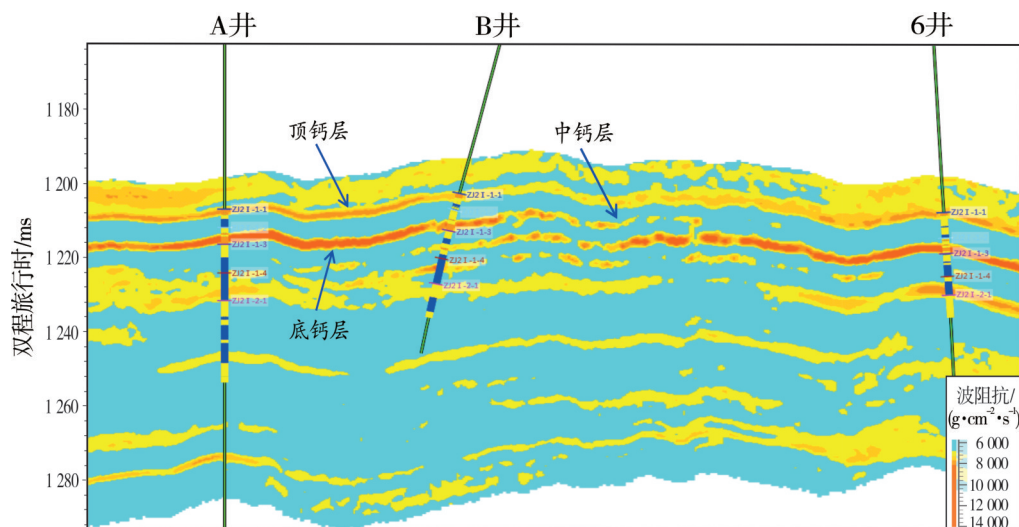


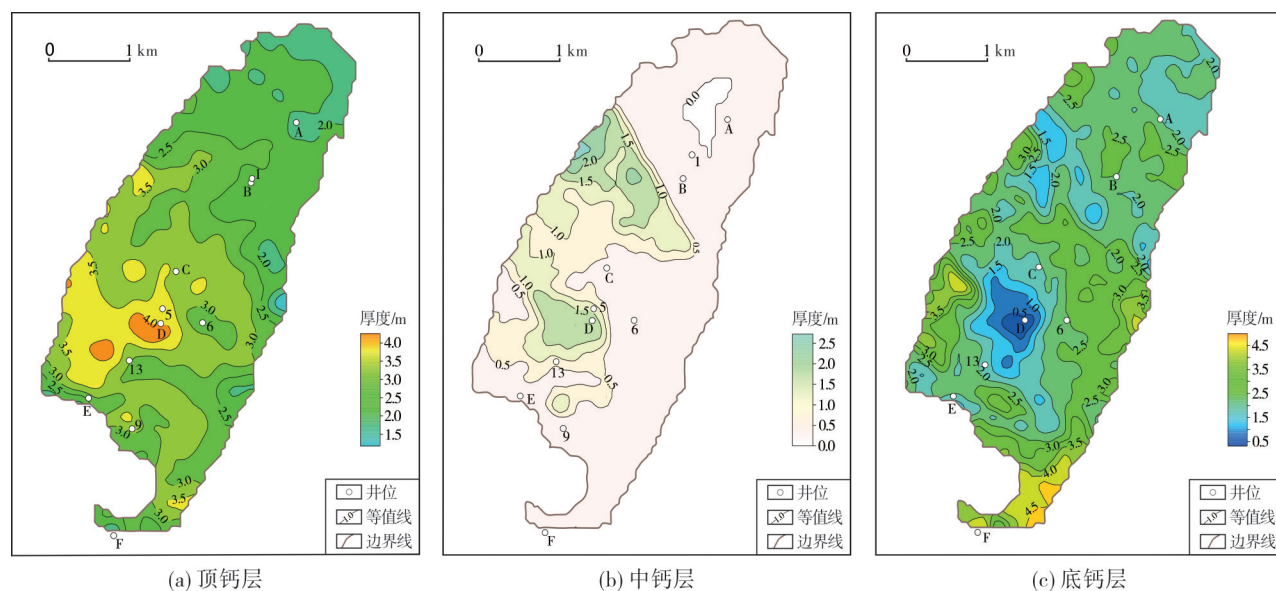
图6 珠江口盆地文昌A油田过A井—B井—6井地震波形指示反演连井剖面图

Fig. 6 Seismic waveform indication inversion section crossing Well A—Well B—Well 6 in Wenchang A Oilfield, western Pearl River Mouth Basin

2.4 钙质隔夹层展布特征及成因

本次研究以波形指示反演结果为依据,进行了10×10网格的钙质隔夹层的顶、底面层位解释,然后

应用层段切片和层段转换为层位的方法提取了顶钙层、中钙层与底钙层的时间厚度,再经时深转换得到深度域的钙质隔夹层厚度,最后应用Petrel软件得到了3个钙质隔夹层的平面等值线分布图(图7)。



注: 探井或观测井的井名以字母表示, 开发井的井名以数字表示。

图7 珠江口盆地西部文昌A油田钙质隔夹层分布平面图

Fig. 7 Distribution of calcareous interlayers in Wenchang A Oilfield, western Pearl River Mouth Basin

由顶钙层平面分布图(图7a)可看出,顶钙层分布广泛,在研究区范围内均有分布。南部厚度为2.5~4 m,在D井区附近厚度可达4 m;北部厚度为1.5~3 m。钙质隔夹层厚度与构造的高低密切相关,在南部构造高部位钙质隔夹层厚,在北部构造低部位钙质隔夹层变薄,这与构造高部位间歇性暴露于海水之上的时间较长有关。中钙层仅在工区的西南部发育(图7b),厚度小于2.5 m,例如8井的最小预测厚度达0.5 m,且与井点吻合较好,反映反演预测精度高。底钙层厚度为1.5~4 m(图7c),分布特征与顶钙层大体类似,但局部存在异常,如在D井区附近厚度减薄,甚至消失,这与该井区附近生物碎屑含量的变化有关,生物碎屑的差异性富集导致了平面上钙质隔夹层分布厚度的变化。D井区新钻开发井13井的水淹特征与这一底钙层存在“天窗”相吻合。

总的来看,平行于海岸线方向,顶、底钙层的连续较好,平均延伸长度为3 km,中钙层零星发育。垂直于海岸线,顶、底钙层延伸距离短,约为1.5 km,中钙层零星发育。这可能是由于顶、底钙层沉积的延伸方向平行于海岸线方向,因此造成平行于海岸线方向的钙质隔夹层较垂直海岸线方向连续性好(海岸线方向见图1c)。

钙质隔夹层主体发育于临滨沙坝环境,在海平面高频震荡升降背景下,富含生物碎屑的临滨沙坝间歇性暴露于海水之上,受大气淡水作用,容易发生钙质胶结,碳酸盐胶结物含量高(图3)。顶钙层与底钙层的碳酸盐含量达50%以上,岩性以生物碎屑灰岩为主。临滨沙坝环境下极浅水生物发育,薄片常见有孔虫、腹足类、瓣鳃类、棘皮类、介形虫等极浅水生物碎屑(图3e,图3f),因此中钙层同时发育生物碎屑灰岩与钙质砂岩(图3c,图3g)。

顶、底钙层均发育于反旋回的顶部,沉积期为海平面下降的沉积环境,发育大量不同生态环境的生物,形成了含大量生物的生物碎屑灰岩,这属于区域性沉积事件,因此,顶、底钙层分布的连续性相对较好。而中钙层既有生物碎屑灰岩,也有几乎不含生物碎屑的致密钙质砂岩,其发育于正旋回的中部或顶部,主体是由于海平面缓慢上升、古地貌差异等引起碳酸盐胶结作用而形成,其分布的规模与厚度受成岩作用强弱的影响^[14-16],故中钙层分布局限,横向连续性较差。

3 应用效果

由研究区开发井的单井开发效果可总结出,储层物性与含水率是决定产能的主控因素,进而影响开发效果。对含水率有影响的钙质隔夹层主要是底钙层。顶钙层与上部“龟背泥岩”构成了区域盖层,中钙层可暂时抑制底水的锥进,底钙层可在较长时间内有效减缓含水率的上升。按累产高低将研究区开发井分为3类:高产井(累产大于 $100\times 10^4\text{ m}^3$)、常规井(累产介于 $50\times 10^4\text{ m}^3$ 与 $100\times 10^4\text{ m}^3$ 之间)、低产井(累产小于 $50\times 10^4\text{ m}^3$)。7井为研究区唯一的高产井,累产 $101.46\times 10^4\text{ m}^3$;1井、2井、5井、8井为常规井;其余井为低产井。7井位于构造高部位纯油区,水平段位于油层上部,储层物性为中孔高渗,下部发育一定范围分布的中钙层和较稳定的底钙层,底钙层之下还发育一套较为稳定的钙质隔夹层(图8),因此其含水上升慢,累产高(图9)。常规井以2井开发效果最好,水平段下部发育中钙层和稳定的底钙层,储层物性为特高孔特高渗,累产 $67.00\times 10^4\text{ m}^3$,现今日产油 105 m^3 ,是产能相对较好的生产井;5井与1井底钙层存在天窗,含水上升快,储层物性为中孔中渗,由于外部水体能量的补给及采取多次提液措施,累产达 $(50\sim 60)\times 10^4\text{ m}^3$;8井下部发育稳定底钙层,物性为中孔中渗,累产 $54.97\times 10^4\text{ m}^3$ 。低产井产能低的原因主要有两种情况:一是储层为低渗型储层;二是调整井投产时含水较高。经以上分析发现,钙质隔夹层并不能直接影响产能的高低,而是通过影响含水率而间接影响产能及开发效果,尤其是底钙层影响更明显。当底钙层分布稳定时,含水上升慢,在储层物性较好的条件下,开发效果会较好;当底钙层缺失或存在天窗时,若储层物性较好,可以采取提液措施来提高产能,若储层物性较差,则开发效果差。这一新认识突破了传统的“底钙层缺失或存在天窗产能就低”的观点。

由以上研究可总结出:位于构造高部位、水平段位于油层的上部、水平段下部有一定规模的中钙层和稳定分布的底钙层、物性为中孔中渗或中孔高渗、投产时含水率较低的区域是下一步调整井部署的有利区域;D井区、E井区、B井西南部等底钙层缺失或存在天窗的区域为风险区域,需结合物性预测结果来开发。

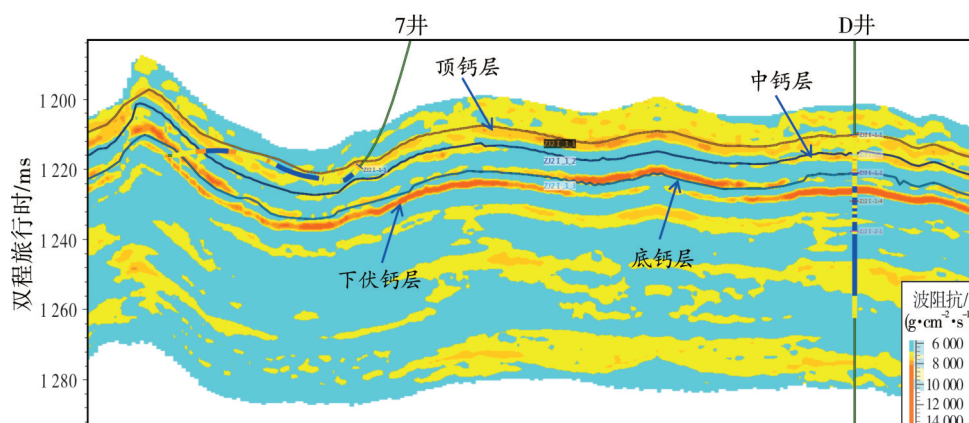


图8 珠江口盆地西部文昌A油田过7井—D井波形指示反演连井剖面图

Fig. 8 Seismic waveform indication inversion section crossing Well 7—Well D in Wenchang A Oilfield, western Pearl River Mouth Basin

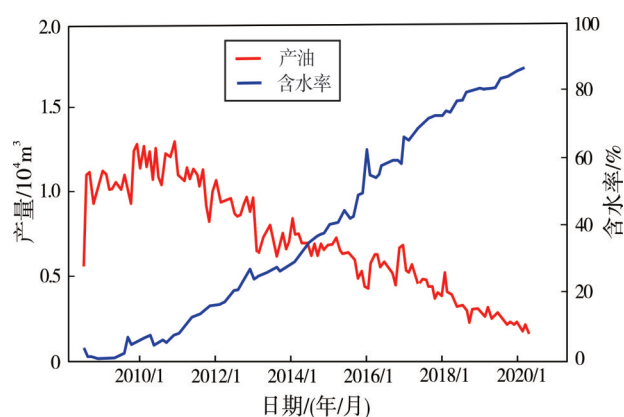


图9 珠江口盆地西部文昌A油田7井月产油量与含水率曲线

Fig. 9 Profiles of monthly oil production and water cut of Well 7 in Wenchang A Oilfield, western Pearl River Mouth Basin

4 结论与认识

(1)通过岩心识别、岩心-测井标定,在ZJ₂I-1砂组中共识别出顶钙层、中钙层与底钙层3套钙质隔夹层,它们分别发育于ZJ₂I-1-1小层的顶部、ZJ₂I-1-2小层中上部、ZJ₂I-1-2小层底部,且均分布于砂坝沉积微相。除构造高部位外,底钙层之下以水层为主,底钙层对底水的锥进起控制作用。

(2)通过岩性敏感性分析,优选波阻抗为参数,应用地震波形指示反演技术预测了钙质隔夹层的空间分布。顶、底钙层在顺物源和垂直物源方向的最大延伸距离分别为3 km、1.5 km,分布较为连续,而中钙层则零星发育,这与其差异性成岩作用有关。平面上,钙质隔夹层在南部比北部更发育,底钙层在南部局部存在天窗。

(3)依据累产高低将研究区开发井分为了3类:

高产井、常规井、低产井。根据不同类型井的构造特征、钙质隔夹层分布、物性特征及产能特征综合分析认为:位于构造高部位、底钙层分布稳定、且物性分布好的区域是下一步调整挖潜的有利区域;当底钙层缺失或存在天窗时,若储层物性较好,可以采取提液措施来提高产能,若储层物性较差,则开发效果差。这一新认识突破了传统的“底钙层缺失或存在天窗产能就低”的观点。

参考文献

- [1] 邹明亮,黄思静,胡作维,等. 西湖凹陷平湖组砂岩中碳酸盐胶结物形成机制及其对储层质量的影响[J]. 岩性油气藏, 2008, 20(1): 47-52.
- [2] 邹志文,斯春松,杨梦云. 隔夹层成因、分布及其对油水分布的影响:以准噶尔盆地腹部莫索湾莫北地区为例[J]. 岩性油气藏, 2010, 22(3): 66-99.
- [3] 陈程,孙义梅. 厚油层内部夹层分布模式及对开发效果的影响[J]. 大庆石油地质与开发, 2003, 22(2): 24-27.
- [4] 邹信波,罗东红,刘永杰,等. 海陆过渡相块状砂岩油藏“内嵌”夹层对开发效果的影响及开发技术对策[J]. 中国海上油气, 2010, 22(5): 309-313.
- [5] 尹楠鑫,李存贵,李中超,等. 塔中16含砾砂岩段隔夹层对油水分布的影响[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2016, 38(6): 25-34.
- [6] 龚再升,李思田,等. 南海北部大陆边缘盆地分析与油气聚集[M]. 北京:科学出版社, 1997.
- [7] 龚再升,等. 中国近海大油气田[M]. 北京:石油工业出版社, 1997.
- [8] 孙天建,穆龙新,赵国良. 砂质辫状河储集层隔夹层类型及其表征方法:以苏丹穆格莱特盆地 Hegli 油田为例[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(1): 112-120.
- [9] 成琥,赵宪生,王红霞,等. 基于BP网络和遗传算法的波阻

- 抗混合反演[J]. 石油物探, 2006, 45(6): 574-579.
- [10] 严建文, 杨绍国. 基于遗传算法的叠前地震波形反演构建虚拟井曲线[J]. 石油地球物理勘探, 2007, 42(6): 678-681.
- [11] 高君, 毕建军, 赵海山, 等. 地震波形指示反演薄储层预测技术及其应用[J]. 地球物理学进展, 2017, 32(1): 142-145.
- [12] 郭翔, 李付雷, 张旭峰, 等. 地震波形相控反演在天草凹陷白垩系薄储层预测中的应用[J]. 特种油气藏, 2019, 26(5): 38-43.
- [13] 刘淑华, 张宗和. 储层特征曲线重构反演技术: 以冀东油田南堡凹陷为例[J]. 勘探地球物理进展, 2008, 30(1): 53-58.
- [14] 张吉, 张烈辉, 胡书勇, 等. 陆相碎屑岩储层隔夹层成因、特征及其识别[J]. 测井技术, 2003, 27(3): 221-224.
- [15] 严耀祖, 段天向. 厚油层中隔夹层识别及井间预测技术[J]. 岩性油气藏, 2008, 20(2): 127-131.
- [16] 王延章, 林承焰, 董春梅, 等. 夹层及物性遮挡带的成因及其对油藏的控制作用: 以准噶尔盆地莫西庄地区三工河组为例[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(3): 319-321, 325.

编辑: 黄革萍

Study on calcareous interlayer of Wenchang A Oilfield in western Pearl River Mouth Basin

GAN Yongnian, CHAO Caixia, CAO Yang, WANG Meng, DAI Baixiang

Abstract: Based on the data of cores, well logging and casting thin sections, the spatial structure of calcareous interlayer in Wenchang A Oilfield, western Pearl River Mouth Basin, are analyzed by using seismic waveform indication inversion of SMI software. On this basis, the influence of calcareous interlayer on reservoir development effect is discussed in combination with structural location of development wells, reservoir physical properties and productivity. It is shown that the P-impedance can distinguish the calcareous layer obviously. The accuracy of seismic waveform indication inversion based on the P-impedance is so high that the 0.5m calcareous interlayer can be identified. Three sets of calcareous layers are developed in ZJ₂ I-1 sand group of the study area, which are divided into top, middle and bottom calcareous layer according to their vertical position. The top and bottom calcareous layer are dominated by bioclastic limestone, it is formed in the foreshore sand bar at the top of ultra-short term reverse cycle with high frequency oscillation of sea level, and their plane extension scale is large. The middle calcareous layer is dominated by calcareous sandstone, which is formed in the middle and top of the ultra-short term positive cycle with rising base level. The formation of medium calcium layer is related to differential diagenesis with limited distribution and poor lateral continuity. Calcareous interlayer indirectly affects the development effect by affecting the water content. However, when the bottom calcareous layer is missing or there is a skylight, if the physical property is good, the production capacity can be improved by liquid extraction measures, and if the physical property is poor, the development effect is poor. The new understanding breaks through the traditional view of "if there is a skylight in the bottom calcium layer, the productivity is low", and can provide a basis for tapping the potential of the oilfield.

Key words: seismic waveform indication inversion; calcareous interlayer; foreshore; sand bar; Wenchang A Oilfield; Pearl River Mouth Basin

GAN Yongnian, First author: Engineer, MSc, major in sedimentary and reservoir geology. Add: West South China Sea Petroleum Research Institute, No. 802 Nandiao Rd., Potou District, Zhanjiang, Guangdong 524057, China