

高分辨率层序地层学在桩52块近岸浊积扇前积油层对比中的应用

蒲仁海¹ 孙卫¹ 陈振新² 吴清雅¹ 何娟¹ 刘冬芝¹

¹(西北大学地质系 西安 710069) ²(胜利油田桩西采油厂 东营 257237)

摘要 前积油层的相域划分和小层对比极大地影响着油藏的注水效果和采收率,尤其象那些低角度薄前积油层由于规模小在 seismic 剖面上无明显的前积反射,因而几乎还没有有效的方法来搞清每个前积叶砂体的空间展布。桩52块近岸浊积扇油藏就是一例。应用基准面旋回高分辨率层序地层学原理,结合三维地震解释,对桩52块油藏小层重新对比可发现它是由堆积在“三沟两梁一面坡”的深~半深湖地理背景上的20个叠瓦状排列的前积叶砂层所形成,而不是以前对比所认为的由全区分布的4个平行的浊积砂层组成。

关键词 前积油层 基准面旋回 相域 三维地震 采收率

第一作者简介 蒲仁海 男 36岁 副教授 地震地层学

1 前言

基准面旋回高分辨率层序地层学是 T. A. Cross (1994) 创立的一个新的层序地层学流派。它把影响层序及沉积构架的构造、气候、湖(海)平面升降、物源等因素的影响全部归结为基准面,并提出了许多新概念,如基准面旋回原理、沉积物体积划分原理、相分异原理、前积层自相似原理、相域等^[1,2]。当我们把这些原理用于桩52块前积油层对比时,得出了与以前油层小层划分对比完全不同的结果。桩52块沙三段近岸浊积扇油藏原划分了四个小层,开采初期,某些井单井日产油可达200吨。开发10年后的今天全区约70口井的总产量也只有200吨左右,其主要原因是高含水,许多井含水已高达90%。而4个小层的平均采收率仅18%左右,其中第二小层采收率约25%,第1小层14%,第3、4小层低于8%。各小层渗透性和采出程度相差很大。由于非均质性严重和层间矛盾突出,注水效果很不理想,目前仍有约20%储量难以采出。究其原因,多怀疑小层对比可能出了问题。因而开展了综合测井和三维地震资料、利用高分辨率层序地层学等新理论新方法重新对比小层的工作。

该区三维地震主频25Hz,油层速度3700m/s,由此计算的调谐厚度约38m,即地震剖面上难以识别出小于38m的油层顶底界位置。桩52块沙三下

I油组砂体总厚度50m,其顶底界在地震剖面上有明显的响应。但其内部的四个小层一般只有10—15m厚,在地震剖面上难以分辨。依靠地震资料确定厚度(油组)的前积对比关系,测井高分辨率基准面旋回划分油组内部的短期旋回(小层),二者相结合即可确定各小层的前积关系。

2 地质背景

桩52块油藏位于济阳拗陷沾化凹陷的东北斜坡带上,储层为下第三系沙三段下部一套近岸浊积扇砂体,因而称沙三下I油组。该砂体厚50m左右,夹于大套深一半深湖泥岩之中,以含砾砂岩和砂岩为主,碎屑来自南南东方向的孤北隆起。由于后期的断裂作用和北升南降的反向构造运动,使今构造表现为南北界均被东西向断层切割的南倾单斜,而且单斜上叠加一小型南倾低缓鼻突,倾角 $2^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 。桩52块油藏实际上是以发育在近岸浊积扇中扇位置之上的断鼻油藏为主、前积砂体上倾尖灭油藏为辅的多类型复合油藏。

3 基准面旋回对比方法和步骤

3.1 单井基准面旋回划分

首先根据桩52块自然伽玛、电阻率曲线特征,确定出油层组顶底界标志层,其顶界标志层取在自然伽玛值由浊积砂平均较低值向深湖泥高值过渡变

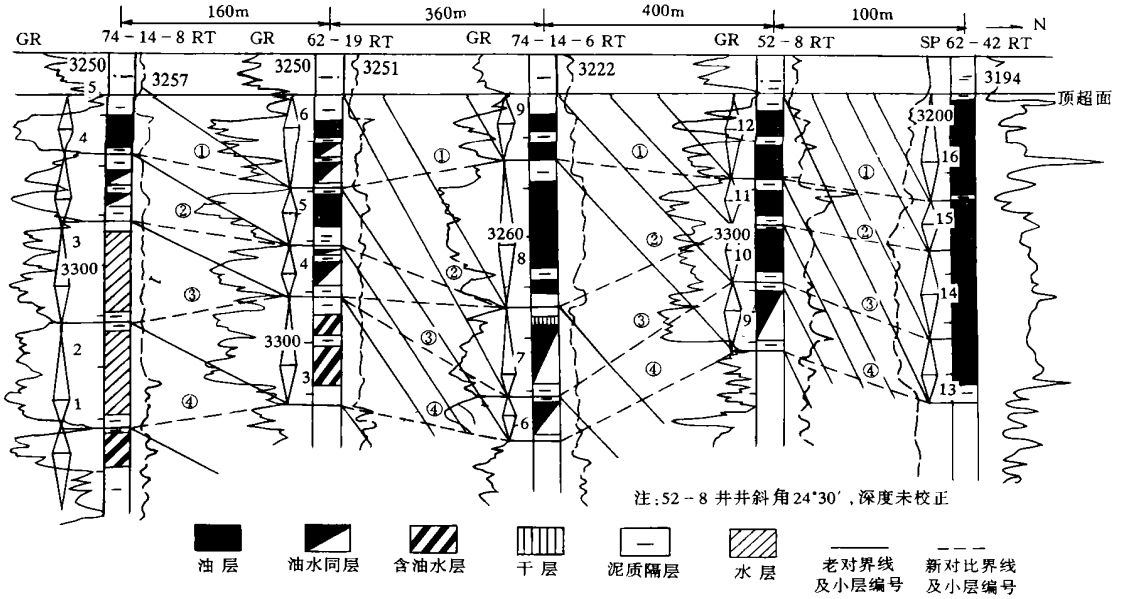


图1 桩52块南北向钻井基准面旋回划分对比与老方案小层对比的比较

Fig. 1 Comparison between base-level cycle correlation and previous oil beds correlation on a south-northern wells' section of Z52 reservoir

化的半幅点上,而底界标志层取在自然伽玛由高值向低值变化的半幅点上,在上下两标志层控制下进行砂体的基准面旋回对比。油组内部大多数井可划分出4个三级基准面旋回,每个旋回厚10~20m,个别井可划5个旋回(图1)。

3.2 顶、底界标志层在连井三维地震剖面上的标定与对比

在对井深进行补心和井斜校正后,应用VSP和合成记录统计的平均速度资料将油组顶、底界标定在三维连井地震剖面上。通过追踪发现,南北向地震剖面上,不同井油组顶、底界由南向北依次标定在时代较新的同相轴上(图2)。在东西向地震剖面上,则多标定在同一同相轴上。上述标定结果表明,在电测曲线上确定出的油层组顶、底标志层实际上是一个穿时面^[3]。

3.3 侵蚀下切与充填的确定

在某些近东西向连井剖面上,可以看到工区东西部共有三个侵蚀谷及充填反射,其宽度600~1000m,时间15~30ms,折算厚度约20~50m,河谷中的充填沉积要比两侧地层时代晚。西部河谷中52-39和东部河谷中的52-40、52-41和74-12-16等井的充填沉积要晚于河谷之外的52-58和52-51井

沉积。52-11和52-34井所在部位是东西两个河谷切割之间的残留台阶。52-1井等取心砂岩中,可见大量的泥砾、泥质条带和浊积递变粒序层A段及其底界不平整冲刷。这些泥砾和冲刷面的形成与近岸粗粒浊流的切割是分不开的。

从桩74井沙河街组单井相分析来看,沙三段湖泊沉积经历了半深湖—深湖—半深湖的演化过程。该油组浊积体发育于深湖—半深湖过渡的背景中,物源来自南东方向,湖底是一北西倾的斜坡,坡度最大可达13°。如此大的坡度足以使其之上的沉积物在风暴、地震等作用下发生大规模滑塌与侵蚀,从而形成以上侵蚀谷。

3.4 小层前积结构的识别与确定

沙三下I油组总厚50m左右,时间约20~30ms,如此小的规模在地震剖面仅一到两个相位,因而即使小层具有前积结构也难以从地震反射上识别出来。实际地震剖面的大多数剖面上并没有出现前积结构的地震反射。只有在个别连井测线上,由于前积层倾角较陡,出现了前积反射,如过74-14-8、52-19、74-14-6、52-8、52-42井连井切片等可见由南向北前积。

当前积层倾角较缓时,虽然地震剖面上难以直

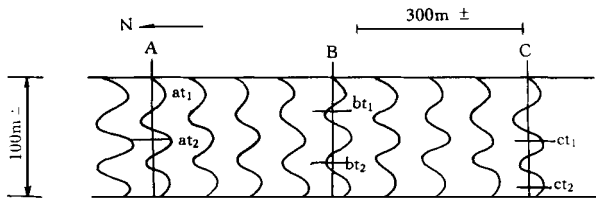


图 2 钻井油层组顶、底面在地震剖面上的标定示意图, A、B、C 三口井的油组顶、底面由南向北规则地穿相位。

Fig. 2 An outline map of calibrations of the tops and bottoms of wells' oil formation, the systematic cross of oil formation bounded surfaces of well A, B, C through the event indicates the existence of progradation

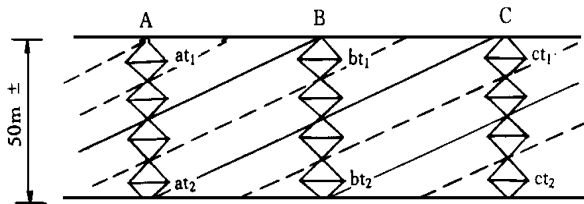


图 3 根据图 2 上 A、B、C 三口井油组顶底面(实线)的规则穿相位确定的油组内部旋回之间的对比关系(虚线)

Fig. 3 The interior cyclic correlation(dash lines) is defined according to top and bottom cross-event correlation (solid lines) of oil formation of well A B C as shown on Fig. 2

接识别出前积的存在,但测井标志层在地震剖面上系统规则的跳穿相位暗示了该油组处于由南向北的前积反射体中。把钻井和三维地震相结合,可以确定出各小层前积的空间组合。具体步骤如下:

1)制作全区南北向和东西向钻井剖面对比图(纵 1:200、横 1:2 000)共 23 条和对应的三维连井地震剖面图,把各个井的油层组顶、底界测井标志层标定在对应地震剖面上。

2)根据地震反射同相轴的等时性^[4],可确定出相邻两口井的油层组顶、底界的等时对比关系与穿层情况(图 3)。

3)把全区任意相邻两口井小层穿层数目标定在井位平面图上,由老到新对旋回小层进行编号,即可勾画出油层组顶面古地质图(图 4)。从油层组古地质图中则可清楚的看出,全区在不同的沉积旋回中存在着穿层切割,15 层与 14 层、8 层与 7 层、6 层与 5 层、5 层与 4 层等之间均存在着切割关系。

4)油层组顶面古地质图反映前积小层的空间展布关系。该图呈现出“三沟两梁一面坡”的古地形特征,全区共有 20 个由南向北叠瓦状前积排列的小层

堆积在该古地形上。每口井一般钻穿 4 个前积小层。沟和坡的位置上前积层陡,小层多,梁处倾角缓,小层少。以桩 52-11、52-34、50 井为界,工区的近岸浊积扇可分为东西两部分,这两部分在第 14 层以后互不连通。西半部分第 7 层以后属河道充填沉积。东半部分是在第 14 层沉积以上的斜坡上由多期切割和前积充填组成。东半部的第 11 层与 10 层之间和西半部的第 8 层和 7 层之间的切割是次级切割中规模较大的两个。

桩 50、52-34、52-11 井连井剖面上没有出现由南向北的前积关系(图 4),这一特征是确定前述两个侵蚀河谷及充填体之间残留阶地的依据之一。

图 4 上表现出东河谷为斜坡前积充填,而西河谷则为侧积充填,两种形式的差异可能与河谷宽度和古地形坡度有关。

4 前积与微相的关系

整个桩 52 块主体处在一近岸浊积扇中扇位置上,仅东北角和西南角分别占领部分外扇和内扇。参考 Walker 对浊积扇微相划分^[5],桩 52 块大致可分出内扇主沟道、内扇主沟堤、中扇辫状水道、中扇辫状水道间、外扇分支水道、外扇漫流六种微相。

1)前积主要发育在沟、坡等古地形处,而在梁等地形平缓处发育不显著(图 4)。

2)平面上中扇位置前积最为发育,外扇逐渐变为加积的泥质为主的沉积,内扇则以块状重力流为主。

3)一个前积叶纵向上可由一个厚的辫状水道微相组成,此时多见鲍玛序列的 AA、BB 等组合;也可由多个薄的辫状水道组成,此时,前积叶内部有水道间漫流沉积的泥质夹层,常见前积叶内部鲍玛序列的多个 ABCD、BCD、AACD、BBCD 等组合。

4)前积叶之间均有半深湖泥隔层,多为鲍玛序列的 DE、CDE 等组合。

5 前积叶的沉积序列类型、发育位置及与基准面旋回的关系

经过对全区 70 多口井的测井曲线和部分井岩心分析,总结出一个前积叶在横向上不同位置可有不同的沉积序列类型。

1)进积序列:形成于基准面下降半旋回,平面上发育于前积叶的北缘,垂向上具向上变粗、渗透性变好的特征。

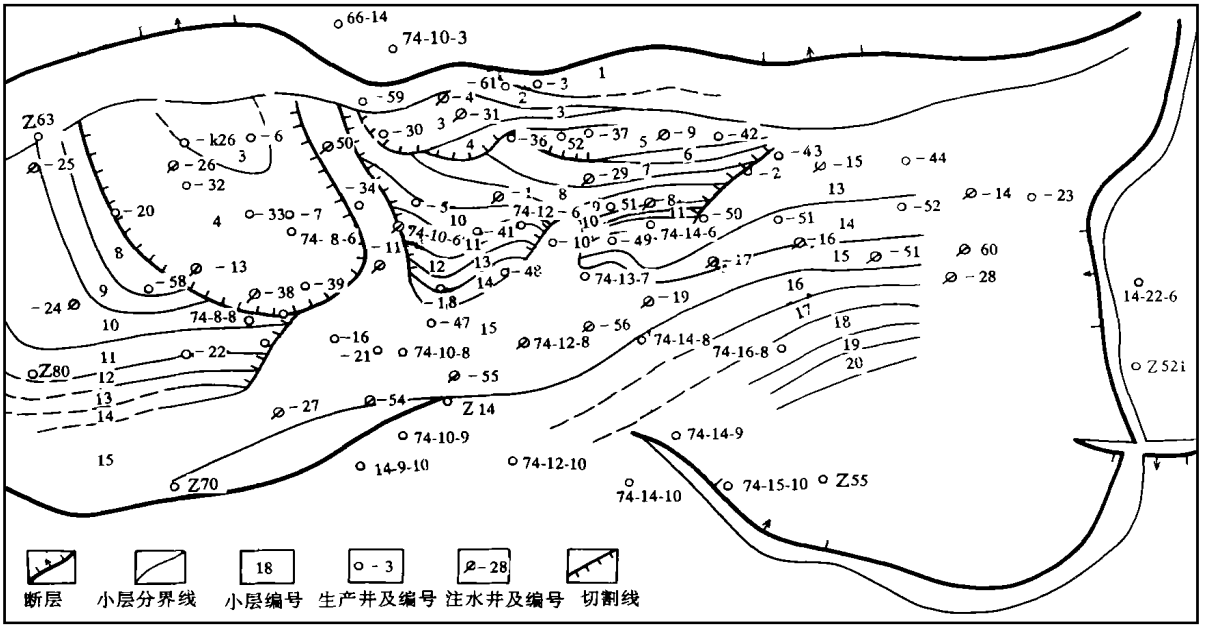


图4 桩52块沙三下I油组顶面古地质图

Fig. 4 The top paleogeologic map of I oil formation of Z52 fault block

2)退积序列:形成于基准面下降半旋回,平面上发育于前积叶的南缘和东西侧,具向上变细、渗透性变差的特征。

3)加积序列:形成于基准面稳定期,具有厚层均质高渗透储层特征,多形成于前积叶中部。

4)复合序列,又分:

(1)以进积为主的复合序列 基准面下降期沉积厚度大于上升期沉积厚度,平面上发育于前积叶中心偏北。(2)以退积为主的复合序列 基准面上升期沉积厚度大于下降期沉积厚度,平面上发育于前积叶中部偏南。

(3)进积退积对称序列 基准面下降期与上升期沉积厚度相当,平面上多发育在前积叶中心。

桩52块绝大多数为复合序列,单一进积或退积序列仅在前积叶边缘发育,横向分布范围很窄。前积叶内部不同位置沉积序列及渗透性特征的差异是由沉积物体积划分原理所决定的(图5)。基准面下降半周期内,湖泊缩小,沉积物主要堆积于靠湖中心一方,形成进积序列;基准面上升半周期内,湖泊扩大,沉积物主要堆积于靠湖岸一方,形成退积序列。一个基准面下降—上升短期旋回形成一个前积叶,其中心多为对称旋回,渗透性好且均匀,故采收率高,前侧多为进积序列,后侧多为退积序列。各小层

沉积序列平面图也显示出这一特征。

6 前积的分级

桩52块沙三下I油组的前积模型可用前积体、前积叶、前积层三种级别来描述。

1)前积体(Progradational system):指由整个油组组成的一个沉积体系,它是一个二级旋回的一部分,包括了每个井的四个三级旋回,全区由迭瓦排列的20个前积叶组成。从纵相沉积演化看,该前积体是发育在深湖—半深湖背景下由砂砾岩、砂岩组成的大型浊积体系。

2)前积叶(Progradational lobe):一个前积叶即三级旋回,对应于开发上的一个小层。每井大约钻遇四个叶,全区共20个叶。前积叶虽然可以看成是一种旋回,但却由于其分布局限,不能在湖盆广大范围内对比,因而更应是一个沉积事件^[6]。

3)前积层(Progradational bed):指比前积叶低一个级别的具有前积(进积)序列或反韵律的、一个或多个彼此被泥、粉砂质泥夹层隔开的浊积砂层或砂、泥层组合,开发上称这种规模的油层为小小层。一个前积叶内部往往由数个浊流序列组成。虽然一个浊流序列为正韵律,但两个或多个浊积序列组合可形成反韵律层,即前积层。当然如前述那样,两个

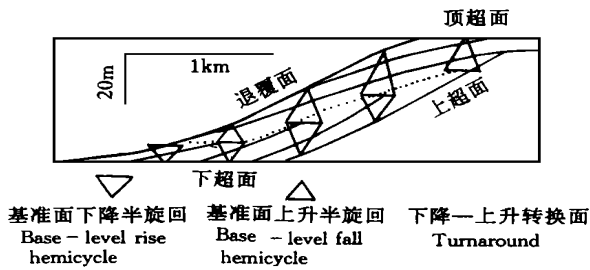


图5 单个前积叶的沉积序列类型与基准面旋回和体积划分原理之间的关系

Fig. 5 The relationship between depositional sequence types and base-level cycle principle and sediment volume partition principle of an individual progradational lobe

或多个浊积序列组合也可构成正韵律、全韵律、块状均质韵律等。习惯上只把具反韵律砂层称为前积层,因而此处比前积叶小一个级别的“小小层”除有前积层,相应的也应有退积层、加积层等。

7 前积叶的形态、规模和倾角

根据所做的小层砂岩厚度图可以看出,每个前积叶在平面上的形态与古地形和充填方式有关。1-12小层和工区东部13-20层由于为斜坡前积充填,斜坡上发育有小型切割、滑塌,因而前积叶的平面形态多呈沿斜坡走向(东西向)伸长的不规则的卵形、扇形、纺锤形、鸟足形等。工区西部13-20小层为大型河谷充填型前积(或侧积),其前积叶的平面形态多为沿河谷走向延长的舌形、扇形等。

前积叶的规模与倾角有关。1-6小层前积叶倾角较小($< 5^\circ$),前积叶的规模较大,一般长2.5~3 km宽0.5~0.8 km。其它前积叶的倾角最大可达 13° (17-20层),各小层不同部位倾角也不一样,一般小于 10° 。倾角陡时前积叶的宽度只有300 m左右,缓时,有300~600 m左右,长度一般为800~1200 m。

8 新的地质模型的效果分析

1)对原划分小层层间非均质性强的重新认识

以前总认为在油田注水开发中注入水往往在横向上渗流驱替效果不佳而在相邻井其它层见水,是由于小层横向连通性差,小层间渗透性差异大所致,但新的分层方案表明并非如此,而是由于注入水沿着同一相域的前积叶流动所造成。

2)河道充填砂体对水淹层的影响

如52-39井、74-8-6井、52-6井均打在同一河道

充填砂体中(图4),位于今构造高部位的52-6井注水使沿河道所钻的这几口井早期均被水淹。同理,河道间梁上的小层渗流效果最好,这与开发动态资料完全吻合。

3)小层内纵横向非均质性对水驱油和残余油分布及采收率的影响

各小层原始沉积在南高北低的斜坡上,由于后期构造活动,现今构造为北高南低。各小层南缘位于上超面附近,呈正韵律特点,各小层北缘位于下超面附近,具反韵律特征,各小层中部附近为块状均质层,且有效厚度稳定。根据以上特征可判断水洗方向是由高向低,南缘沿小层底界水洗,北缘沿小层顶界水洗。根据注水井的位置和水洗方向及砂体物性特征,便可确定出各小层残余油的分布范围。另外,从新的小层砂体顶界构造图分析可看出在一些小层构造高部位的油层段目前尚未充分动用,因而应有残余油存在。原第2、3小层实际上为各前积叶中心,具均质高渗透性,因而采收率高;而原第1、4小层属于各前积叶的边缘,孔渗性差,因而采收率低。

前积可出现在冲积扇、扇三角洲、三角洲、浊积扇、大陆斜坡、礁前等多种沉积环境中^[7]。中国有许多与前积有关的油藏,对于个别大型前积油藏有人曾采用天然热释光验证地震反斜对油层的等时性外^[8],对于薄的小型前积以前尚无有效方法进行油层精细等时对比,因而这一等时对比方法对该类老油田挖潜增产和提高采收率具有重要意义。

参 考 文 献

- 1 邓宏文. 美国层序地层学研究中的新学派——高分辨率层序地层学. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 89~97
- 2 Cross T A. Application of High-Resolution Sequence Stratigraphy to Reservoir Analysis. In: Proceedings of the 7th Exploration and Production Research Conference Paris, Techniq 1993. 11~13
- 3 徐怀大, 王世凤, 陈开远. 地震地层学解释基础. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990. 5~27
- 4 蒲仁海. 地震反射的等时特征. 地层学杂志, 1996, 20(2): 40~44
- 5 Walker R G. Deep water sandstone facies and ancient submarine fans models for exploration for stratigraphic traps. AAPG, 1978, 62: 932~966
- 6 Galloway W E, Heberd D K. 陆缘碎屑沉积体系在石油、煤和轴勘探中的应用. 顾晓忠等译. 北京: 石油工业出版社, 1989. 4~20
- 7 蒲仁海. 前积反射的地质解释. 石油地球物理勘探, 1994, 29(4): 490~497
- 8 刘泽容, 信荃麟. 油藏描述原理与方法技术. 北京: 石油工业出版社, 1993.

Application of High Resolution Sequence Stratigraphy to Correlation of Progradational Oil Beds of Zh52 Turbidite Fan Reservoir

Pu Renhai¹ Sun Wei¹ Chen Zhenxin²

Wu Qinya¹ He Juan¹ Liu Dongzhi¹

¹(Department of Geology Northwest University Xi'an 710069)

²(Zhuangxi Production factory Shengli Oil Field Dongying 257237)

Abstract

Facies tracts division and correlation of progradational oil beds extremely affect the water injection response and recovery efficiency of reservoirs. Especially as to those low-angle and thin progradational oil beds which do not occur progradational reflections on seismic profiles, there is no effective method of finding out spatial distribution of every progradational bed sandbody. One example is the proximal turbidite fan reservoir of Zhuang 52, Shengli Oilfield. After the research on base-level cycle high resolution sequence stratigraphy incorporated with 3D seismic interpretation, it is found that the reservoir turns out to be composed of 20 progradational lobes of turbidite sandbodies, instead of consisting of 4 sandbeds considered before.

Key words Progradational oil bed base-level cycle 3D seismic interpretation recovery efficiency