

文章编号: 1009-3850(2006)01-0081-07

胜坨油田一区沙河街组二段 1—3 砂组测井-沉积相分析

柯光明, 郑荣才, 高红灿, 文华国

(成都理工大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610059)

摘要: 本文在建立取芯井段岩-电转换关系及测井相-沉积相解释模型的基础上, 对沙二段 1—3 砂组进行了详细的沉积相分析。确定其主要为辫状河三角洲沉积体系的水上平原沉积, 次为三角洲前缘沉积; 识别出三角洲平原、三角洲前缘和前三角洲 3 个亚相及分流河道河床、心滩、边滩等 11 个微相类型; 并对各微相类型的沉积特征和剖面结构进行了讨论。

关键词: 胜坨油田; 测井相; 沉积相; 沙河街组; 山东

中图分类号: TE121.3

文献标识码: A

1 引言

沉积环境和沉积相控制了储集体形态、规模及相互间的联系, 也控制储集空间的类型^[1~3]。油气藏开发中后期的沉积相(尤其是微相)研究是进行小层储层参数预测和描述的重要基础和依据^[4,5]。

在含油气盆地的钻井地质研究中, 非取芯段的钻井测井剖面为沉积相和层序地层分析的主要对象, 因而建立和分析不同沉积相和层序类型的测井相模型至关重要^[6,7]。电测曲线的幅度、形态类型、圆滑程度、接触关系和组合特征, 可作为判别非取芯段地层的岩性、岩性组合及沉积相和层序特征的主要依据, 但这种判别必须建立在取芯段的岩-电转换关系基础上, 由此所确定的测井曲线变化规律和测井相模型, 可非常准确地反映地层岩性、粒度变化、接触关系及垂向沉积层序等特征^[8,9]。

图 1 为以自然伽玛曲线和视电阻率曲线的测井相分析而建立的测井相基本类型, 其中测井曲线的形态可作为判别地层的岩性、岩性组合和沉积相最基本的依据, 其圆滑程度可反映沉积物粒度变化情况。如三角洲平原分流河道微相自然电位曲线呈厚

层箱状或钟形及箱形的复合体, 而电阻率曲线视岩层内流体不同而异, 一般曲线幅度较低时为水层, 曲线幅度中高时为油气层, 三角洲前缘河口坝微相自然电位曲线呈倒三角形或漏斗形, 下部负异常幅度小, 越往上幅度异常越明显, 与粒度变化趋势一致, 而前三角洲亚相自然电位曲线较平直。此外, 测井曲线的接触关系和堆积样式则分别反映了地层岩性之间的变化关系及沉积物形成时的水运动过程。在胜坨油田一区沙二段, 以自然伽玛曲线和感应电导率曲线与取芯井段的地层岩性、岩性组合和沉积相序列的分析结果拟合性最好, 因而选取两曲线的测井相与取芯段的沉积相分析结果的拟合关系, 以指导非取芯井段测井曲线的沉积相解释和层序划分。

胜坨油田位于济阳坳陷东营凹陷北部的坨庄-胜利村-永安镇二级构造带的中段, 北面为陈家庄古凸起, 东临垦东-青坨子古凸起, 西为利津生油洼陷, 东南临民丰生油洼陷, 具有优质生油区和丰富的物源供给区^[10]。位于该油田西部高地的古近系沙河街组二段油藏是其主要含油层系, 属穹隆背斜构造油藏。油藏主体构造较为简单, 地层平缓(倾角 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$), 其北以一近东西向的大断层为界, 东面以胜一

收稿日期: 2005-06-09; 修改日期: 2005-11-09

第一作者简介: 柯光明, 1979年生, 博士生, 沉积学专业。

资助项目: 国家 973 项目“大幅度提高石油采收率”(G1999022508)。

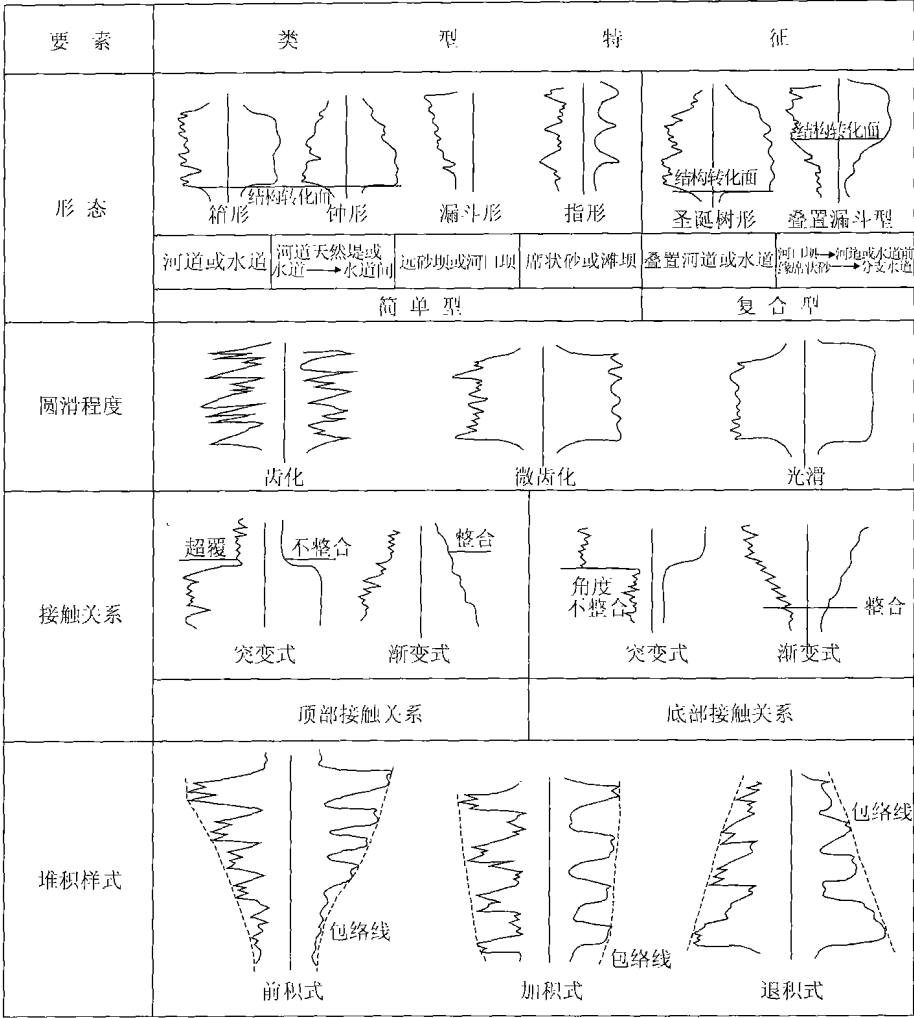


图 1 测井相和沉积相转换和界面识别标志的基本类型

Fig. 1 Transformation of well logging facies and sedimentary facies and main types of indicators for the recognition of interfaces

区和胜二区东、西两高点之间的鞍部为界,西侧和南侧与位处构造低部位的边水相接(图 2)。据前人已有的众多研究成果,大多数研究者将胜一区沙二段 2 和 3 砂组确定为河流相沉积,其中隶属 2 砂组的 2² 和 2³ 小层被进一步细分为曲流河沉积,其余均属辫状河沉积,而 1 砂组则被确定为浊流沉积,并进一步细分出中心相、边缘相和湖相 3 种沉积相类型(胜利油田地质科学研究所和胜利采油厂,胜坨油田一区沙二段 1—3 聚合物驱项目油藏工程发案, 2001)。

2 沉积相划分

通过对研究区内 3 口钻井岩芯的观察描述,本文以 1-1-76 井为例,建立了取芯井段岩-电转换关系及测井相-沉积相解释模型(图 3),在此基础上,共分析了百余钻井的电测曲线。分析结果认为沙二段 1—3 砂组以发育辫状河三角洲沉积体系为主。按

电测剖面上砂岩在垂向上的粒度、粒序、砂/泥岩比值变化和取芯井段中观察到的大型斜层理、平行层理、粒序层理和底冲刷构造所反映的水动力状况,认为该三角洲沉积体系可划分为三角洲平原、三角洲前缘和前三角洲 3 个亚相及 11 个微相类型(表 1)。按分流河道性质可确定沙二段 1—3 砂组具低弯度河-辫状河三角洲性质,以具辫状河三角洲特征为主,胜一区主体位于三角洲平原亚相位置,于湖侵期加深为三角洲前缘亚相,局部夹有前三角洲沉积(图 3)。以下重点讨论各沉积亚相和微相特征。

2.1 三角洲平原亚相

该亚相垂向剖面上由韵律交替发育的辫状或低弯度分流河道、心滩、边滩、河心洲、天然堤、决口扇和分流间洼地等微相组成,主要发育于研究区中部和北部的构造高部位,鼎盛发育期可延伸到研究区南部和西部的构造低部位,分流河道主要呈北东-

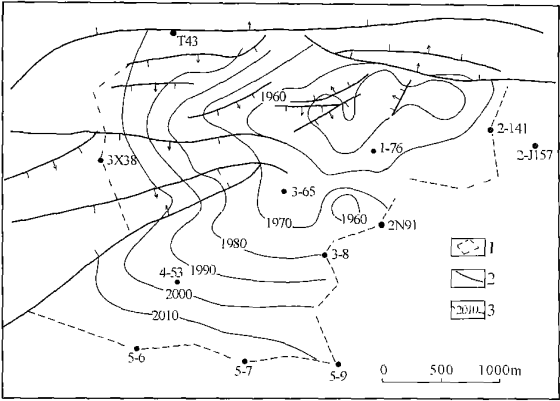


图2 胜坨油田一区沙二段 1—3 砂组油藏区域位置和顶面构造图

1. 含油气区; 2. 正断层; 3. 构造等高线(m)

Fig. 2 Regional location and structural map of the top surface of the oil pools from the 1st—3rd sandstone beds in the second member of the Shahejie Formation in the first district of the Shengtuo Oil Field

1 = oil-bearing area; 2 = normal fault; 3 = structural contours (m)

表 1 胜坨油田一区沙二段 1—3 砂层组沉积相划分简表
Table 1 Classification of sedimentary facies in the 1st—3rd sandstone beds in the second member of the Shahejie Formation in the first district of the Shengtuo Oil Field

相	亚相	微相
低弯度河—辫状河三角洲	三角洲平原	辫状分流河道、低弯度河道、心滩、边滩、废弃河道、天然堤、决口扇、分流间洼地
	三角洲前缘	河口坝、远砂坝、分流间湾
	前三角洲	

南西向延伸, 具有与分流间洼地相间交织发育的展布格局。

1. 分流河道河床微相

该微相自然电位曲线呈厚层箱状或钟形及箱形的复合体, 电阻率曲线视岩层内流体不同而异, 一般曲线幅度较低时为水层, 曲线幅度中高时为油气层。分流河道为沙二段 1—3 砂组最常见的微相类型和最重要的储集砂体类型之一, 按剖面结构和平面展布特征可分为辫状和低弯度两种分流河道类型, 两者均呈带状或弯曲带状的几何形态, 但岩性组成有差别, 前者主要由中—细砾岩、含砾中—粗粒砂岩和粗粒砂岩组成, 后者主要由中—粗粒砂岩、细粒砂岩组成。据岩芯资料, 此两微相中普遍发育有槽状和板状交错层理、平行层理和底冲刷构造, 底部常出现滞留中—细砾岩(辫状分流河道) 或砾质粗砂岩

(低弯度分流河道), 具有特征的下粗上细递变粒序, 以充填河道的水下部分为主。单砂体厚0. 5 ~ 2m, 以辫状分流河道的河床微相较厚和较粗, 储集物性相对较好。垂向剖面上, 常由多个单砂体连续叠置而构成小层砂体或砂层组(图 4)。电测曲线单砂体主要呈高幅钟形或箱形, 由多个砂体的连续叠置构成圣诞树形或齿化箱形测井相形态。

2. 分流河道心滩(或边滩) 微相

心滩(或边滩) 属于分流河道内露出水面的粗粒组成部分, 也为沙二段 1—3 砂组中常见的微相类型和最好的储集砂体类型。平面上心滩位于分流河道主流线方向上(亦即砂体的中心部位), 而边滩则位于偏离主流线方向的凸岸一侧。其岩性、沉积构造和电测曲线特征与河床微相基本一致, 但粒度明显偏粗, 单砂体厚度较大, 为 1 ~ 3m(图 5, 图 6)。理论上, 心滩或边滩均属于河道内的点砂坝组成部分, 其产出位置代表分流河道内砂砾岩体的快速堆积区。本文鉴于此两类沉积体具有更好的储集物性和含油气性, 平面上具有可确定的发育位置和分布范围, 因此加以单独划出描述, 以示此两类点砂坝在油气田开发工程中的重要性。同时由辫状或低弯度分流河道中普遍发育有心滩或边滩, 说明沙二段 1—3 砂组辫状河三角洲沉积体系具有距北部陈家庄凸起物源供给区近、沉积坡度较陡、水浅流急和能量高, 利于水道化砂、砾岩体发育的沉积背景条件。需指出的是, 同一水系的分流河道在平面延伸或垂向演化过程中, 既可为单一的辫状或低弯度河道, 亦可为两类河道的交替发育过程, 主体以辫状分流河道为主。

3. 河心洲微相

该微相亦称为废弃河道, 成因与辫状分流河道受到心滩的局部堰塞和保护, 于主流线位置原相对低洼的部位连续接受洪水期溢滩的泥质和粉—细砂质沉积物的沉积充填和逐渐露出水面的作用有关, 因此, 成因上也属于分流河道的组成部分。鉴于该类型沉积主要由薄—中层状粉砂岩与泥岩互层组成, 间夹薄层细砂岩, 岩性组合明显较心滩或边滩, 以及两类分流河道的河床微相细的多, 平面上亦具有可确定的发育位置和分布范围, 而加以单独划出。在储、隔层结构中河心洲沉积主要起分布范围有限的隔层作用, 对分流河道砂体在垂向上的连通性, 纵向上的连续性(如砂体的分叉或合并) 影响较大。其电测曲线具有自下而上由中—高幅指形向中幅指形至低幅齿形和平滑形交替组合的变化过程(图 6)。与正常的河道→天然堤→分流间测井相组合非常相

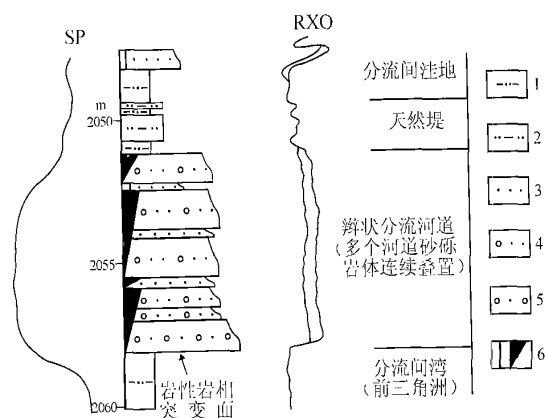


图4 辫状分流河道→天然堤→分流间洼地剖面结构和测井相特征(1-2-J157井, 37砂层)

1. 粉砂质泥岩; 2. 泥质粉砂岩; 3. 砂岩; 4. 含砾砂岩; 5. 砂质细砾岩; 6. 含油层和富油层

Fig. 4 Braided distributary channel → natural levee → interdistributary swale sectional architectures and well logging facies interpretation (1-2-J157 well, 37th sandstone bed)

1= silty mudstone; 2= muddy siltstone; 3= sandstone; 4= gravelly sandstone; 5= sandy microconglomerate; 6= oil-bearing and oil-rich beds

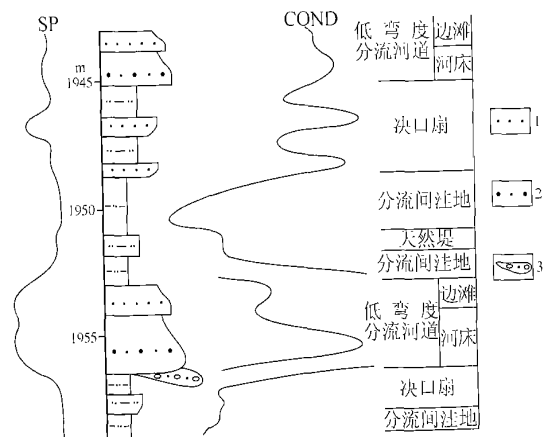


图5 低弯度分流河道→天然堤→分流间洼地→决口扇剖面结构和测井相特征(1-1-76井, 2³⁺⁴砂层)

1. 细砂岩; 2. 中—粗粒砂岩; 3. 滞留砾岩(其它图例见前)

Fig. 5 Low-sinuosity distributary channel → natural levee → interdistributary swale → crevasse splay sectional architectures and well logging facies interpretation (1-1-76 well, 2³⁺⁴ sandstone bed)

1= fine-grained sandstone; 2= medium- to coarse-grained sandstone; 3= lag conglomerate. See Fig. 4 for the explanation of other symbols

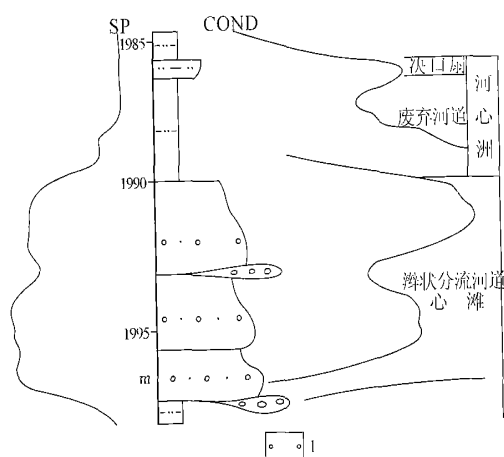


图6 辫状分流河道→河心洲(废弃河道+决口扇)剖面结构和测井相特征(1-3-65井, 3⁴⁺⁵砂层)

1. 含砾中—粗粒砂岩(其它图例见前)

Fig. 6 Braided distributary channel → channel bar (abandoned channel + crevasse splay) sectional architectures and well logging facies interpretation (1-3-65 well, 3⁴⁺⁵ sandstone bed)

1= gravelly medium- to coarse-grained sandstone. See Fig. 4 for the explanation of other symbols

上主要出现在辫状分流河道的内部, 剖面上往往位于两个辫状分流河道之间, 以沉积泥、粉砂岩为特征。

4. 天然堤微相

该微相于剖面上位于分流河道的上部(图4, 图5), 平面上位于分流河道两侧, 与分流间洼地呈过渡关系, 为洪水期分流河道两侧的近岸溢堤沉积产物。岩性主要由粉—细砂岩夹薄层粉砂质泥岩或泥质粉砂岩组成, 厚度较薄, 一般为数分米至米级。电测曲线主要表现为中—高幅钟形曲线的细粒收敛尾部, 或呈中—低幅指形。此微相因岩性较细, 泥质含量较高, 储集物性大多较差, 为一类较差的以发育低孔、低渗储层为主的储集岩微相类型。需指出的是, 天然堤于冲积相中的辫状河沉积区并不发育, 但在辫状河三角洲平原沉积环境中, 分流河道中的水体向盆地方向推进过程中因受到洪水期盆内水体上涨的影响, 河水流速减缓, 过量的水体常于河道两侧产生溢岸泛滥沉积而形成天然堤, 特别是在近河口的分流河道两侧, 更有利于天然堤的发育。

5. 分流间洼地微相

分流间洼地系指三角洲平原上分流河道之间低洼部位的沉积环境, 常呈向下游方向加宽和加深, 向上游方向尖灭的、以泥质为主的楔状沉积体, 剖面上

似, 较难识别, 其识别标志主要为分布面积小, 平面

主要位于天然堤的上部(图4,图5),显示该微相以接受洪水期远岸的溢堤沉积为主,因而岩性较细,主要由泥岩、粉砂质泥岩夹薄层粉—细砂岩组成,电测曲线呈低幅齿形或平滑型。在储、隔结构中,常形成上、下或相邻储层间分布范围较大和频繁出现的非渗透性隔层。

6. 决口扇微相

该微相亦位于分流河道两侧相对低洼部位(图5,图6),呈扇状分布,为洪水期半远岸的溢堤快速堆积作用的产物。岩性相对分流间洼地较粗,主要由粉—细砂岩夹薄层粉砂质泥岩组成,单砂体厚度较薄,一般为数分米至米级,泥质含量较高。垂向剖面上与下伏分流间洼地微相的粉砂质泥岩呈连续沉积关系,两者常组成粒度略向上变粗的反粒序结构,对应的电测曲线呈中—低幅漏斗型,或为幅值向上略趋加大的指形加微齿形组合,剖面结构与远砂坝或河口坝较为相似,以厚度发育规模较小和主要与分流河道或分流间洼地共生为重要识别标志。该微相也因岩性较细和泥质含量较高而储集物性普遍较差,为一类以发育中—低孔中—低渗储层为主的储集岩微相类型。

2.2 三角洲前缘亚相

该亚相由河口坝、远砂坝和分流间湾等微相组成,主要发育于胜一区西部、南部和东部,于湖泛期可退积迁移到中部。

1. 河口坝微相

河口坝为沙二段1—3砂组较重要的储集砂体类型之一,岩性主要由含泥质较高的粉—细砂岩、细—中粒砂岩组成。在胜一区沙二段,于间歇湖泛期发育的河口坝规模较小,单砂体厚不足1m,且往往与分流间湾交替发育。发育于南侧和西侧于前三角洲过渡部位的河口坝规模相对较大,不仅具有一定的分布面积,而且单砂体厚度亦较大,一般为数米,粒度较粗,以具向上变粗的反粒序结构为主要识别标志,电测曲线呈中—高幅漏斗形,具典型的前积式测井相特征(图7)。

2. 远砂坝微相

远砂体为河口坝向前三角洲方向延伸的前端变细变薄部分,因此又称之为末端砂坝。无论是在垂向剖面上还是在平面上,均位于河口或分流间湾与前三角洲的过渡部位。岩性明显较河口坝为细,厚度也偏薄,主要为粉砂质泥岩与粉—细砂岩互层组合,大多具有向上略变粗的反粒序结构。电测曲线有两种表现形式,其一为远砂坝向河口坝过渡的漏

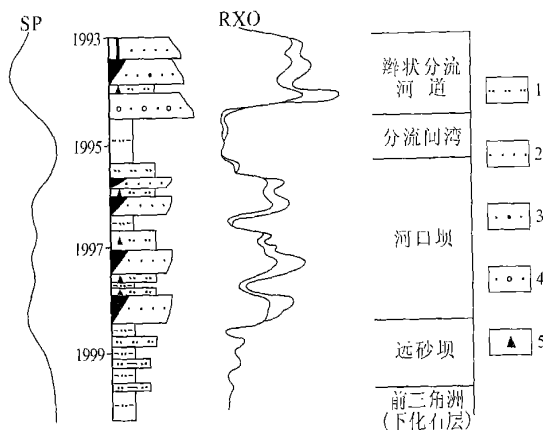


图7 前三角洲→远砂坝→河口坝剖面结构和测井相特征(1-2-J157井, 1³⁺⁴砂层)

1. 粉砂岩; 2. 细粒粉砂岩; 3. 细-中粒砂岩; 4. 钙质含砾粗砂岩; 5. 油斑(其它图例见前)

Fig. 7 Prodelta→distal bar→channel-mouth bar sectional architectures and well logging facies interpretation (1-2-J157 well, 1³⁺⁴ sandstone bed)

1 = siltstone; 2 = fine-grained sandstone; 3 = fine to medium-grained sandstone; 4 = calcareous gravelly coarse-grained sandstone; 5 = oil slick. See Fig. 4 for the explanation of other symbols

斗形,远砂坝主要对应于幅值渐趋加大的漏斗形曲线下部;其二为远砂坝向分流间湾过渡的中—低幅指形加微齿形组合,远砂坝对应于下部的指形(图8)。因砂层薄而细,泥质含量高,储集物性普遍较差,一般难以形成有效储层。

3. 分流间湾微相

分流间湾系指同一三角洲沉积体系中发育于分流河道→河口坝和远砂坝进积叶状体之间的低能湖湾沉积环境,沉积特征和电测曲线与分流间洼地非常相似,亦以沉积薄层杂色、灰绿色和暗色泥岩、粉砂质泥岩为主(图7,图8),两者的差别主要在于分流间洼地面积较小,主要与分流河道或天然堤、决口扇相邻发育,而分流间湾分布面积较大,其两侧与远砂坝和河口坝呈相邻发育的过渡关系,向盆地方向与前三角洲相连通。垂向剖面上,则位于前三角洲与三角洲平原的过渡位置,占据相当远砂坝或河口坝的发育位置。在储、隔结构中,此微相亦为一类广泛发育和厚度较大的隔层。

2.3 前三角洲亚相

前三角洲广泛发育于胜一区的西部和南部,呈间歇湖侵期的夹层产出,以沉积暗色或紫灰色薄层质纯泥岩和富含螺蚌化石为特征,如发育于1砂组

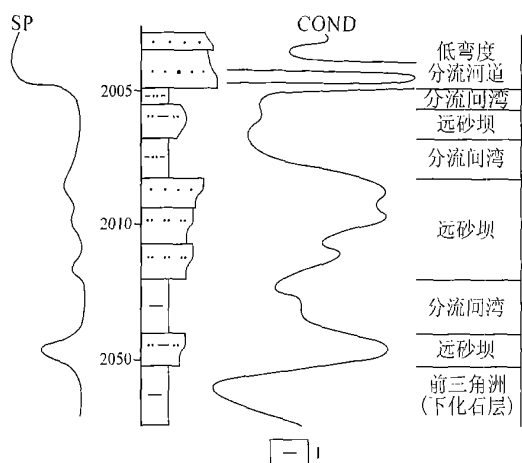


图 8 前三角洲→远砂坝→分流间湾剖面结构和测井相特征(1-4 53 井, 1^{3+4} 砂层)

1. 泥岩 (其它图例见前)

Fig. 8 Prodelta→distal bar→interdistributary bay sectional architectures and well logging facies interpretation (1-4-53 well, 1^{3+4} sandstone bed)

1= mudstone. See Fig. 4 for the explanation of other symbols

底部的下化石层和上覆 1 砂组的上化石层均属于间歇湖侵期三角洲平原被淹没时的前三角洲沉积, 其电测曲线也非常特征, 主要呈低幅齿形或光滑形 (图 8)。

3 结 语

笔者利用测井相-沉积相结合的综合分析方

法, 对胜一区沙二段 1-3 砂组沉积相进行了深入探讨, 修正了前人关于该区河流相沉积的观点, 认为该区属低弯度河-辫状河三角洲沉积, 并对该沉积体系各亚相、微相特征作了详细分析, 这为该油藏开发后期的层序地层学研究、小层参数预测及储层数值模拟都提供了重要的基础和依据。

参考文献:

- [1] H.G. 里丁, 等. 沉积环境和相[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [2] 裘亦楠. 中国陆相碎屑岩储层沉积学[J]. 沉积学报, 1992, 10(3): 16—23.
- [3] 曾允孚, 覃建雄. 沉积学发展现状与前瞻[J]. 成都理工学院学报, 1999, 26(1): 1—7.
- [4] 张尚锋, 洪秀娥, 郑荣才, 等. 应用高分辨率层序地层学对储层流动单元层次进行分析——以泌阳凹陷双河油田为例[J]. 成都理工大学学报, 2002, 29(2): 147—151.
- [5] 赵翰卿, 付志国, 吕晓光, 等. 大型河流-三角洲沉积储层精细描述方法[J]. 石油学报, 2000, 21(4): 109—113.
- [6] 胡俊. 模式识别在测井资料划分沉积相中的应用研究[J]. 天然气工业, 1997, 19(4): 34—37.
- [7] 马世忠, 黄孝特, 张太斌. 定量自动识别测井微相的数学方法[J]. 石油地球物理勘探, 2000, 35(5): 582—616.
- [8] 冯建伟, 杨少春. 胜坨油田二区东三段沉积微相研究[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2005, 20(2): 11—16.
- [9] 陈钢花. 陕甘宁盆地三叠系延长组测井-沉积微相研究[J]. 中国海上油气(地质), 2002, 16(1): 54—57.
- [10] 王登稳. 储层微观动态地质作用与剩余油研究——以胜利油区胜坨油田沙二段为例[J]. 沉积与特提斯地质, 2004, 24(3): 96—101.

Well logging and sedimentary facies analysis of the 1st—3rd sandstone beds in the second member of the Shahejie Formation in the first district of the Shengtuo Oil Field, Shandong

KE Guang-ming, ZHENG Rong-cai, GAO Hong-can, WEN Hua-guo

(Laboratory of Petroleum Geology and Exploration Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: Sedimentary facies analysis is dealt with in detail for the 1st—3rd sandstone beds in the second member of the Shahejie Formation on the basis of the relationship between the well logging facies and sedimentary facies. The 1st—3rd sandstone beds are interpreted as delta plain deposits and delta front deposits in the braided delta depositional system, which may be further divided into three subfacies including the delta plain, delta front and prodelta subfacies, and eleven microfacies including the channel sill, channel bar, point bar microfacies and so on.

Key words: Shengtuo Oil Field; well logging facies; sedimentary facies; Shahejie Formation; Shandong