

# 南堡凹陷南堡1-5区东一段储层层次结构分析

刘伟<sup>1</sup>, 赵峰<sup>1</sup>, 李晓革<sup>1</sup>, 李姗姗<sup>2</sup>, 赵崇志<sup>1</sup>, 何雄坤<sup>1</sup>

(1. 中国石油冀东油田分公司 南堡油田作业区, 河北 唐山 063200;

2. 中国石油冀东油田分公司 开发技术公司, 河北 唐山 063200)

**摘要:**南堡凹陷南堡1-5区主力开发层系东一段为浅水环境下的辫状河三角洲前缘沉积,其发育砂体的层数多、接触关系复杂。根据层次结构分析的原理,将研究区东一段储层划分为9级层次,研究重点为第5至第7级层次储层,即单砂层—单成因砂体—单河道砂体。在小层研究的基础上,根据夹层特征完成沉积时间单元的细分(单砂层划分);根据单砂层的沉积微相特征,识别出单成因砂体;根据测井曲线的形态、高程和厚度差异特征,在最主要的单成因砂体(水下分流河道砂体)中识别出单河道砂体。研究结果表明,南堡1-5区东一段单河道砂体呈条带状展布,砂体厚度为3~5 m,最大宽度为400 m,且多条单河道砂体交切形成广泛分布的水下分流河道砂体发育区;受波浪作用的改造和后期水下分流河道的破坏,研究区水下分流河道边缘砂体呈席状化展布;河口坝砂体不发育,仅在水下分流河道间和河道边缘部位局部残留。

**关键词:**三角洲前缘 层次结构分析 单砂层 单成因砂体 单河道砂体 东一段 南堡凹陷

**中图分类号:** TE112.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-9603(2014)05-0036-04

层次结构分析方法在中国储层研究中已得到广泛运用,但仅对曲流河储层层次结构的划分方案较为统一<sup>[1-4]</sup>,针对其他类型储层的层次结构划分方案则存在较大差异<sup>[5-6]</sup>。目前储层层次结构研究中采用的分级方案主要有3类,分别为根据Miall提出的从0级纹层界面到8级盆地充填复合体的分级方案<sup>[4,7-8]</sup>,将层序地层学或高分辨率层序地层学与Miall的构型分级方案相结合提出的层次分级方案<sup>[9]</sup>以及将中国传统地层对比分级方案与Miall的构型分级方案相结合提出的层次分级方案<sup>[10]</sup>。由于各种分级方案存在一定差异,因此张昌民指出储层层次结构分析过程中,层次编号是一个开放的可变系统,依据研究对象可以自行确定<sup>[11]</sup>。

前人已完成对南堡凹陷南堡1-5区小层级别储层的研究<sup>[12-13]</sup>,但由于其主力开发层系为浅水环境下的辫状河三角洲前缘沉积,发育砂体的层数多、接触关系复杂,导致目前基于小层级别的储层连通关系认识与油水井生产动态情况不吻合。为此,笔者在前人研究的基础上<sup>[12-13]</sup>,开展针对南堡1-5区东一段的储层层次结构分析,研究成果对揭示研究区储层的非均质性、明确注水开发过程中的油水运动规律以及制定具有针对性的治理措施均有重要意义。

## 1 地质概况

南堡1-5区位于南堡凹陷1号构造的东南翼,是被断层复杂化的潜山披覆背斜构造。其主力含油储层发育于古近系东一段,为典型的浅水环境下辫状河三角洲前缘沉积。东一段储层以浅灰色—灰白色粉砂岩、细砂岩为主,整体呈中薄—中厚层状,单砂层厚度主要为3~12 m,最大厚度为36 m。砂层之间以泥质沉积为主要隔层,但井间泥质隔层的厚度变化较大。东一段储层在深侧向和自然电位曲线上均表现为较明显的箱形、钟形和漏斗形。研究区于2010年投入注水开发,目前处于注水开发早期阶段,注采井网较完善,平均井距约为150 m,且主力小层均有取心资料,具备进行储层层次结构分析的条件。

## 2 储层层次结构分析

### 2.1 层次结构划分方案

在岩心观察的基础上,结合南堡1-5区实际的地质情况和研究基础,完成对其东一段储层层次结构的划分,共划分为9级层次:①1级层次为盆地充

收稿日期:2014-07-01。

作者简介:刘伟,男,高级工程师,硕士,从事油藏开发研究及管理工作。联系电话:(0315)8860098, E-mail: xubo\_cugb@126.com。

基金项目:国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”子课题“滩海油气田高效开发技术”(2008ZX05015-003)。

填砂体,对应地层单元为段,属于构造控制下的盆地级砂体叠合体,在研究区为主要目的层东一段。②2级层次为体系域砂体,对应地层单元为油层组,代表盆地范围内一次湖平面升降所形成的叠合砂体;研究区东一段( $Ed_1$ )可划分为 $Ed_1 I$ , $Ed_1 II$ 和 $Ed_1 III$ 共3个油层组,各油层组间的层次界面为厚度为10~30 m的泥岩。③3级层次为叠置的三角洲前缘砂体,为不同时期三角洲前缘砂体的叠合,对应地层单元为砂层组;研究区 $Ed_1 II$ 油层组可进一步分为 $Ed_1 II ①$ , $Ed_1 II ②$ 和 $Ed_1 II ③$ 共3个砂层组,其中 $Ed_1 II ②$ 砂层组为主要含油层系,各砂层组之间的层次界面为厚度约为10 m的泥岩隔层。④4级层次为三角洲前缘砂体,对应地层单元为小层,代表水动力相对稳定时期形成的一套平面上相对连续的砂体,剖面上表现为典型的河流相沉积的二元结构,以厚度约为3~5 m的隔层作为小层之间的层次界面,研究区 $Ed_1 II ②$ 砂层组可进一步划分为 $Ed_1 II ②1$ — $Ed_1 II ②9$ 共9个小层。⑤5级层次为单期三角洲前缘叠合砂体,对应地层单元为单砂层,代表一期河流作用过程中一次较大范围的水动力变化;单砂层之间一般以厚度较小且发育不稳定的泥岩、含砾砂岩和钙质夹层作为层次界面;一个单砂层在垂向上只有一种成因,但在平面上可以是水下分流河道砂体、水下分流河道间砂体和席状砂体等不同成因砂体的连片。⑥6级层次为单成因砂体,相当于水下分流河道砂体、水下分流河道间砂体和河口坝砂体等成因类型,其层次界面为水下分流河道沉积间歇时期形成的泥质披覆。⑦7级层次为单成因砂体内的单河道砂体,其层次界面为水下分流河道砂体内部发育的一系列小型冲刷面,代表河道形成过程中的一期摆动。⑧8级层次为单河道砂体内部发育的交错层系组,其层次界面为交错层系组的界面。⑨9级层次为单一的交错层系,其层次界面为交错层系的界面。

在南堡1-5区储层层次结构划分方案中,1级和2级层次为区域地层对比,3级和4级层次为油层对比。对5级层次储层的研究借鉴储层构型研究方法,根据对层次界面的识别与组合,在剖面上识别出相对一致的沉积时间单元;对6级层次主要进行沉积微相研究,划分出同一沉积时期砂体在平面上不同的成因类型。5级和6级层次储层研究分别从剖面和平面上对砂体的形成时间和成因进行判识,使储层研究真正具备“体”的概念。7级层次储层研究利用砂体的高程差异、厚度差异以及不同级别层次界面的组合,在单成因砂体(水下分流河道砂体)

中刻画单河道砂体的展布范围及其空间接触关系。8级和9级层次主要根据露头和岩心资料进行识别和对比。

## 2.2 层次结构划分方法

根据南堡1-5区的井网条件及开发阶段,确定1级至7级层次储层为目前的研究重点。其中,1级至4级层次储层的旋回对比和层序地层研究已形成相对统一的认识<sup>[14-16]</sup>;因此,重点对5级至7级层次储层进行划分及研究。

### 2.2.1 单砂层划分

单砂层划分的关键是对于夹层的识别和组合<sup>[4,6,8,17-19]</sup>。岩心特征和测井解释结果表明,研究区的5级层次界面类型主要有3种,分别为泥质层、含砾砂岩层和钙质层。这3种5级层次界面类型均出现于砂体的顶、底部,在单井上常表现为多种类型同时出现,因此在单砂层划分时须综合各种类型层次界面的空间位置及接触关系来进行识别。

**泥质层** 泥质层是研究区最主要的5级层次界面类型。随着水动力作用的减弱,单期水下分流河道沉积结束时,在河道砂质沉积物之上会形成一套泥质沉积,岩性剖面上具有河流相沉积的二元结构特征;但后期发育的水下分流河道常会对前一期河道顶部的泥质沉积物下切侵蚀,进而破坏泥质层的连续性。根据岩心观察和测井曲线资料均较易于识别出泥质层(图1),若在研究区的同一小层中,有超过50%的已钻井可识别出泥质层,则可将其作为2期水下分流河道的分界面。

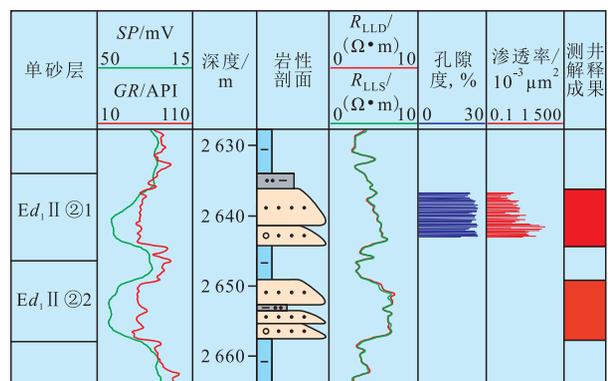


图1 南堡1-7井不同类型5级层次界面测井响应特征

**含砾砂岩层** 由于河流对早期沉积物的冲刷—充填作用,导致在一期水下分流河道砂体的底部易形成一套滞留沉积,在岩性上通常表现为含砾砂岩。该层次界面在岩心上易于识别,但由于南堡1-5区大部分含砾砂岩层含油,其电阻率曲线回返特征不明显,因此根据测井曲线特征进行识别的难度较大。

钙质层 水下分流河道沉积一般呈正韵律,其下部的储层物性较好,为孔隙水的优势渗流部位,也是钙质的优先沉积场所,易在晚期河道砂体底部或早期河道砂体顶部形成钙质层。钙质层的厚度一般较薄,在岩心上不易于识别,但其电阻率曲线具有突然增大的特征,可根据测井曲线特征进行识别。

### 2.2.2 单成因砂体划分

虽然依据中国传统沉积微相分析方法划分的沉积微相类型<sup>[20-22]</sup>与Miall提出的储层构型要素之间的对应关系较为复杂,但在平面上沉积微相单元一般可作为储层构型单元<sup>[5]</sup>。因此,采用传统沉积微相分析方法来确定研究区的成因砂体类型,主要发育水下分流河道砂体、水下分流河道边缘砂体、河口坝砂体和水下分流河道间砂体共4种类型。

水下分流河道砂体 水下分流河道砂体是研究区最重要的成因砂体类型。其岩性较粗,以灰色、灰白色、褐灰色的含砾砂岩、粗砂岩、中砂岩和细砂岩为主,局部见深灰色和灰色泥岩等细粒沉积物;整体呈典型的正韵律,厚度为0.5~3.2 m;发育平行层理、大一中型板状交错层理以及槽状交错层理。水下分流河道砂体的自然电位曲线具有明显的负异常特征,呈箱形、微齿化箱形或钟形,电阻率曲线表现为高值特征。

水下分流河道边缘砂体 水下分流河道边缘砂体多位于河道侧缘。其岩性主要由粉砂岩、含泥细砂岩和含泥粉砂岩组成。受波浪改造作用的影响,砂体多呈复合旋回,发育水平层理、不明显的波状层理和波状交错层理以及韵律层理等。电阻率曲线表现为中低幅单峰形,部分电阻率和自然伽马曲线表现为低幅度的微齿化短指形。

河口坝砂体 河口坝砂体在剖面上位于辫状河三角洲沉积下部,平面上位于水下分流河道末端及其两侧。其岩性主要为灰色、灰白色细砂岩和粉砂岩,常具有向上粒度变粗和泥质含量减少的反韵律递变粒序性。河口坝砂体下部发育水平层理和沙纹层理,上部可出现平行层理和块状层理等。测井曲线以中幅漏斗形和指形为主,亦可出现箱形台阶状叠合组成的复合体。

水下分流河道间砂体 水下分流河道间砂体形成的水动力强度较弱,其岩性主要为深灰色、浅灰色泥岩和浅灰色含泥粉砂岩、泥质粉砂岩,发育水平层理、小型交错层理和波状层理。水下分流河道间砂体在垂向和平面分布上均夹于水下分流河道边缘砂体与河口坝砂体之间。测井曲线表现为

自然伽马值较高,自然电位及电阻率曲线为低幅平直或低幅齿形。

### 2.2.3 单河道砂体划分

根据沉积微相可识别出单河道砂体,而大面积分布的水下分流河道砂体多为同一沉积时期多条河道侧向拼合的结果。目前对曲流河中单河道砂体的划分方法已较为成熟,因此借鉴前人对曲流河储层构型的研究方法<sup>[1-4,23-24]</sup>,确定研究区单河道砂体划分的3类标志:①水下分流河道砂体顶面存在高程差异。受沉积古地形、沉积能量或发育时间差异的影响,同一沉积时期(同一单砂层)不同的水下分流河道砂体的顶面距离标准层的相对高程会存在差异,因此砂体顶面的高程差异可成为单河道砂体划分的标志。②水下分流河道砂体存在厚度差异。野外露头资料证实,水下分流河道砂体的形态为顶平底凸,如果水下分流河道砂体存在较大范围内可追踪的厚—薄—厚的厚度差异特征,则可认为存在2条水下分流河道。③不连续的水下分流河道间砂体和河道间泥质沉积的出现代表2条水下分流河道的边界。若水下分流河道出现分岔,则在河道间会由于漫溢作用形成不连续的水下分流河道间砂体或由于缺乏砂质沉积而仅有河道间泥质沉积,因此沿河道不连续分布的水下分流河道间砂体或河道间泥质沉积成为2条水下分流河道的分界标志。

## 2.3 层次结构划分结果

根据南堡1-5区储层层次结构划分方案,将其主力开发层系Ed<sub>1</sub>Ⅱ②砂层组的9个小层划分为16个单砂层。在每个单砂层中可进一步识别出水下分流河道、水下分流河道边缘、河口坝等成因砂体类型;其中,水下分流河道砂体为研究区东一段最主要的成因砂体类型,其次为水下分流河道边缘砂体,而水下分流河道间砂体和河口坝砂体则零星发育。

研究区水下分流河道砂体中均可识别出2~3条单河道砂体(图2),其整体呈近北东向或南北向条带状展布;在平面上多与其他水下分流河道砂体交切,剖面上被上部的水下分流河道砂体频繁下切侵蚀。单河道砂体的厚度为3~5 m,最大宽度为400 m,平均宽厚比为78.8;顺河道方向砂体的延伸性较好,在整个研究区均有分布。不同沉积时期的单河道砂体发育区存在一定差异。在Ed<sub>1</sub>Ⅱ②砂层组沉积早期,研究区东部为主要的单河道砂体发育区,且砂体厚度较大;在Ed<sub>1</sub>Ⅱ⑤小层沉积早期,水体范围变小,单河道砂体仅在研究区西部发育;在

图2 南堡1-5区Ed<sub>1</sub> II ②7-2单砂层展布特征

Ed<sub>1</sub> II ②砂层组沉积后期,水体范围再次变大,研究区东部开始再次发育水下分流河道砂体,而西部则继承性地成为水下分流河道砂体的主要发育区。

水下分流河道边缘砂体主要发育于不同的水下分流河道砂体间,其砂体厚度为1~3 m,砂体形态变化较大。受水下分流河道砂体展布形态的控制,水下分流河道边缘砂体整体呈条带状展布,但部分砂体受波浪作用改造呈片状展布。此外,研究区部分区域的水下分流河道边缘砂体受后期河道砂体的破坏,仅部分残留,整体以Ed<sub>1</sub> II ②5-2单砂层的水下分流河道边缘砂体的延伸范围最大。

研究区Ed<sub>1</sub> II ②砂层组水下分流河道间砂体不发育,砂体厚度一般小于1 m,呈孤立的土豆状展布。受浅水沉积环境影响,Ed<sub>1</sub> II ②砂层组的河口坝砂体发育较少。在1期河道发育过程中,当水动力条件减弱时,沉积物发生卸载,可形成一些具有河口坝沉积特征的砂体,使随后的河道进一步分流,但这种砂体发育范围较小,且受后期河流的切割改造作用强烈,难以保留。因此,研究区Ed<sub>1</sub> II ②砂层组残留的河口坝砂体厚度约为1~3 m,呈不规则状零星分布(图2)。

根据单河道砂体展布特征的分析认为,南堡1-5区发育浅水环境的辫状河三角洲沉积体系,在砂体沉积过程中受河流和湖泊的共同作用,以河流的建设作用为主,致使水下分流河道砂体相互频繁切割,水下分流河道砂体的叠合厚度大、分布范围广。此外,被水下分流河道带入湖盆的陆源碎屑颗粒也受到湖浪的改造,呈明显的席状化,在水下分流河道砂体两侧形成一定范围的水下分流河道边缘砂

体。在水下分流河道末端,随着水流强度变弱和沉积物卸载,形成河口坝沉积,但由于后期水下分流河道砂体对河口坝砂体的下切或湖浪的改造作用,致使大部分河口坝砂体未保留或被席状化。

### 3 结束语

根据层次结构分析的原理,将南堡凹陷南堡1-5区东一段储层划分为9级层次,重点开展单砂层—单成因砂体—单河道砂体3级层次的储层研究。结果表明,研究区以水下分流河道砂体为最重要的成因砂体类型,单河道砂体厚度为3~5 m,最大宽度为400 m,整体呈条带状展布。单河道砂体频繁交错,形成广泛分布的水下分流河道砂体发育区;受波浪作用的改造和后期水下分流河道的破坏,研究区水下分流河道边缘砂体呈席状化展布,河口坝砂体不发育,仅在水下分流河道间和河道边缘部位局部残留。通过对剖面上单期三角洲前缘砂层及平面上单成因砂体和单河道砂体的层次结构分析,实现了在叠合河道砂体中的单河道砂体划分,对于准确认识砂体的非均质性,进而采取针对性的综合治理措施奠定了基础。

#### 参考文献:

- [1] 马世忠,杨清彦.曲流点坝沉积模式、三维构形及其非均质模型[J].沉积学报,2000,18(2):241-247.
- [2] 王鸣川,朱维耀,董卫宏,等.曲流河点坝型厚油层内部构型及其对剩余油分布的影响[J].油气地质与采收率,2013,20(3):14-17.
- [3] 岳大力,吴胜和,刘建民.曲流河点坝地下储层构型精细解剖方法[J].石油学报,2007,28(4):99-103.
- [4] 陈雨茂,邓文秀,滕彬彬.曲流河点坝内部构型精细解剖——以垦西油田垦71断块馆陶组为例[J].油气地质与采收率,2011,18(4):25-27.
- [5] 吴胜和,纪友亮,岳大力,等.碎屑沉积地质体构型分级方案探讨[J].高校地质学报,2013,19(1):12-22.
- [6] 李国栋,严科,宁士华.水下分流河道储层内部结构表征——以胜坨油田沙二段8<sup>1</sup>层为例[J].油气地质与采收率,2013,20(1):28-31.
- [7] Miall A D. Architectural elements analysis: A new method of facies analysis applied to fluvial deposits [J]. Earth Science Reviews, 1985, 22(4): 261-308.
- [8] 周银邦,吴胜和,岳大力,等.萨北油田北二西区点坝内部侧积层定量表征[J].断块油气田,2011,18(2):137-141.
- [9] 纪友亮,周勇,吴胜和,等.河流相地层高精度地层构型界面形成机制及识别方法[J].中国石油大学学报:自然科学版,2012,36(2):8-15.

(下转第44页)