

曲流河储层构型中废弃河道的识别及其分布模式

——以孤岛油田馆上段为例

张本华

(中国石化胜利油田分公司 孤岛采油厂, 山东 东营 257231)

摘要:目前曲流河储层构型研究的关键及难点在于准确识别废弃河道及其分布。废弃河道研究的主要问题是废弃河道识别及其沉积时期划分具有不确定性。根据储层层次分析原理,结合曲流河沉积周期性变化的特征,以孤岛油田馆上段典型曲流河储层为例,依据废弃河道在单砂层沉积时期废弃的时间,将其划分为4种分布模式:主河道周边型、复合点砂坝内部型、紧贴曲流带凸岸型及孤立型。剖面上,对于1个砂层组而言,废弃河道的4种分布模式通常自下而上依次出现,代表了曲流河沉积体系的水进过程,与其正旋回的沉积特征相符。根据层次分析的精细程度,每个小层通常可细分为若干个单砂层,有时同一小层自下而上也会出现4种分布模式的废弃河道。

关键词:曲流河 储层构型 废弃河道 单砂层 点砂坝 孤岛油田

中图分类号:TE112.2

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2013)03-0018-04

随着中国东部部分老油田已进入三次采油阶段,精细地质解剖变得越来越重要。近年来,对于河流相储层,特别是曲流河储层构型的研究取得了很大的进展^[1-4]。其研究内容主要可以归纳为2个层次:①以划分单一成因砂体、解剖单一成因砂体之间的接触关系为主要研究内容,以尹太举等对双河油田核三段^[3-4]、陈清华等对孤岛油田储层构型的研究^[5-7]为代表;②吴胜和、岳大力等进一步解剖了主河道砂体内部的点砂坝,力求判断其边界、形态及内部侧积层的倾向和倾角^[8-9]。这2个层次的储层构型研究具有继承关系,废弃河道的识别均是其研究的重点。须指出的是,第2层次的储层构型研究虽然精度有所提高,但由于曲流河在长期的沉积过程中侧向加积、河道废弃形式复杂多样,造成多期点砂坝切割叠置,难以准确划分单一点砂坝。废弃河道的分布是识别点砂坝最重要的标志,这就使准确识别出废弃河道,且使众多钻井识别出的废弃河道最大可能地符合单一沉积时期的特点变得至关重要。然而,近年来许多学者侧重于露头研究、地下构型分析及建模研究^[10-16],而有关废弃河道分布模式的研究甚少;因此,笔者以济阳坳陷孤岛油田馆上段典型曲流河储层为例,探讨了废弃河道的识别及其分布模式,以期为提高中国陆相老油田的开发效果提供借鉴。

1 区域地质概况

孤岛油田位于济阳坳陷沾化凹陷东部孤岛潜山披覆背斜构造。其主体含油层系为馆上段,储层为河流相砂岩,可进一步划分为Ng1—Ng6共6个砂层组;其中,Ng6砂层组为辫状河沉积^[17],Ng5—Ng3砂层组为高弯度曲流河沉积。笔者重点对Ng5—Ng3砂层组曲流河沉积中的废弃河道进行研究。

根据原油性质和油层的分布特征,将孤岛油田划分为中一区、中二区、东区、西区和南区。研究区位于孤岛油田中二区北部的中27-15井区,勘探面积约为5.07 km²,探井和开发井分别为155和298口,平均井距为100~300 m,为密井网区,丰富的钻井、测井等资料为废弃河道的识别奠定了基础。

2 废弃河道的识别

目前,在取心井岩性、电性关系分析基础上建立的废弃河道的识别模式已较为成熟,并得到了广泛应用^[18]。废弃河道分为突然废弃型和逐渐废弃型2种^[19-23]。其中,突然废弃型河道主要填充淤泥,测井曲线上表现为类似决口水道沉积的响应特征,但其底部与相邻河道层位相当,厚度薄,相当于相

收稿日期:2013-03-01。

作者简介:张本华,男,高级工程师,从事油田开发地质研究及生产管理工作。联系电话:(0546)8885582,E-mail:jsjlf@sina.com。

基金项目:国家油气重大专项“煤层气开发技术经济评价”(2009ZX05042-001)。

邻河道的底部沉积。逐渐废弃型是河道逐渐取直,废弃河道间歇性充填,含有部分砂岩;自然电位及感应测井反映的岩性特征表明,其河道下部为粗粒沉积;微电极测井曲线表现为下部幅度差大,为发育较好的河道沉积,上部为锯齿状或直线状,为过渡岩性沉积或泥质沉积。但是,仅根据测井曲线的形态很难准确确定废弃河道的边界及平面组合,废弃河道的识别及其沉积时期的划分具有不确定性。

2.1 废弃河道识别的不确定性

孤岛油田密井网区的测井资料丰富,但由于测井曲线存在多解性,没有一种测井曲线形态惟一对应某一特定的沉积环境。因此,根据测井曲线特征难以区分不同成因的砂体,测井相解释最好综合有关其他因素^[24-25]。例如,根据单井测井曲线难以准确区分废弃河道与决口水道;从沉积学角度分析,废弃河道底部往往有主河道的底部滞留沉积或较粗粒的砂质沉积物;而决口水道是在洪水期于主河道或主分流河道冲裂决口后,在河道之间形成的。决口水道路径固定,有一定限流作用,河床宽度极窄且较浅^[26-28];其沉积物粒度细,以细砂岩和粉砂岩为主,砂体厚度较薄,在分流平原下游多小于2.5 m;具有底部突变、顶部突变或快速渐变、略显正旋回特征的垂向粒度序列,测井曲线特征与突然废弃型河道相似。根据取心井的岩性与电性特征对比可区分废弃河道和决口水道,但在油田开发阶段,绝大多数开发井不取心,因此,在储层构型研究中明确废弃河道的分布模式至关重要。

2.2 废弃河道沉积时期划分的不确定性

储层构型研究主要基于沉积体具有层次性的特征,根据储层层次分析原理将每一层次划分为层次实体和层次界面2部分,该层次的结构要素相当于次级层次的层次实体,由次级层次界面分开^[16]。在前人研究的基础上^[23-32],结合孤岛油田实际应用,将馆上段河流相储层划分为砂层组、小层、单砂层、单一成因砂体和沉积韵律5个层次。其中,砂层组相当于中期旋回,代表一期相对连续的河道强化事件的完整记录,其顶部为一套稳定的河流漫溢、泛滥泥质沉积,底部为冲刷面及滞留沉积;小层即短期旋回,是一次性河流从形成到消亡整个过程形成的沉积物,一般小层之间具有相对稳定的隔、夹层或冲刷面,可以是1个单砂体,也可以是多个砂体的复合体;单砂层相当于水动力相对稳定期形成的一套平面上相对连续的地层,1个单砂层平面上可以由多个成因砂体组成,垂向上一般只有1个成因砂

体;单一成因砂体如边滩、心滩砂体、废弃河道砂体、决口扇砂体及天然堤等,其分界面是河流河道沉积间歇期形成的泥质披覆层或在其间形成的泥质隔层;沉积韵律指成因砂体内的一个沉积韵律,相当于地层成因增量,界面为成因砂体内的沉积间断或冲刷面,代表成因砂体内部次一级沉积事件的开始或结束。地质模型越精细越有利于油藏数值模拟和后期剩余油挖潜,但由于储层层次划分级别中的沉积韵律仅限于对取心井岩心的研究,目前利用高密度的井网条件和丰富的测、钻井资料,将河流相沉积体系在垂向上划分至单砂层,平面上划分至单一成因砂体较为合适。

目前在储层构型研究中,很多学者为了能够解剖单一点砂坝的内部构型,认为废弃河道的出现代表1期点砂坝的结束,识别出废弃河道后,进一步研究其点砂坝的侧积体和侧积层^[11]。但在一个单砂层沉积时期,水动力条件相对稳定,不排除其间有小规模、规律性的水动力变化,例如河流的季节性兴衰,形成单个点砂坝内部有规律倾斜的泥质披覆层,即五级界面;当该单砂层沉积时期结束后,若下一个沉积时期开始,水流仍流经原来的河道,则会在已形成的点砂坝的凸岸一侧继续沉积新一期点砂坝,二者之间由连续性较好的四级泥质隔层分开,厚度及规模大于泥质披覆层。活动河道全部或部分废弃,在测井曲线上表现为典型的废弃河道特征,且该废弃河道包围并限制了先前沉积的点砂坝砂体,因此,依据废弃河道所划分的沉积时期亦具有不确定性。若要相对准确地解剖单砂层沉积时期形成的点砂坝砂体,则须准确识别废弃河道,综合分析废弃河道在储层构型研究中的识别特征及其分布模式。

3 废弃河道的分布模式

在河流相沉积体系中,频繁发生河道废弃及生成,并形成相应的沉积体,构成河流相沉积体系的沉积格架^[20-23]。在储层构型研究中,须将河流相沉积体系在垂向上划分至单砂层,横向上划分至单一成因砂体。在水动力相对稳定期形成单砂层的过程中,河道废弃的时间不同,在平面储层构型中表现出的分布特征亦不同。因此,依据废弃河道在单砂层沉积时期中废弃的时间,可将研究区的废弃河道划分为主河道周边型、复合点砂坝内部型、紧贴曲流带凸岸型及孤立型4种分布模式(图1)。

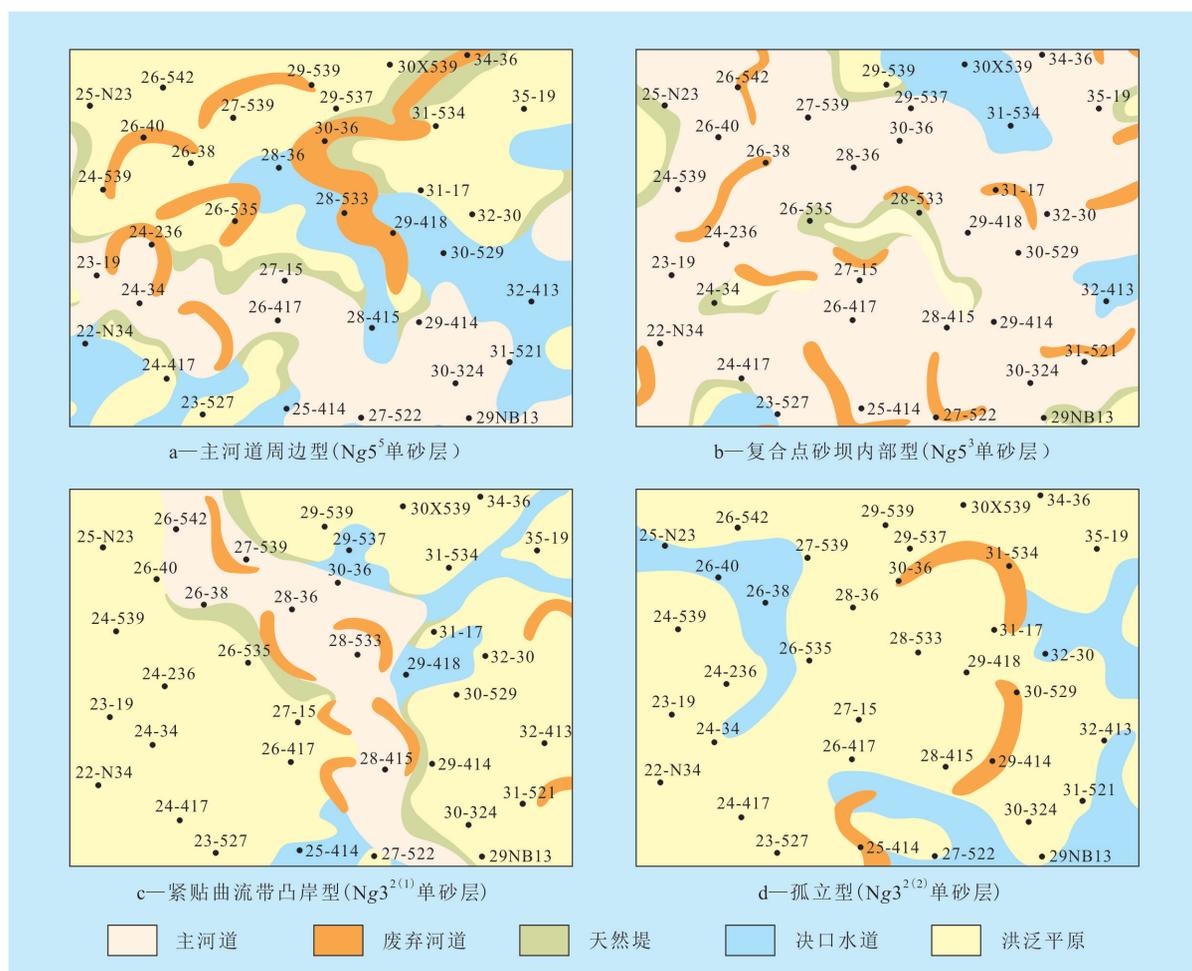


图1 孤岛油田中二区北部中27-15井区废弃河道分布模式

3.1 主河道周边型

主河道周边型分布模式是指废弃河道分布在距离复合曲流带较近的洪泛平原泥岩中,周围通常有成片分布的薄层决口成因砂体,但并未发育明显的点砂坝。该类分布模式多发育在砂层组的下部或中下部。

孤岛油田中二区北部中27-15井区 Ng_5 砂层组底部的第5个单砂层(Ng_5^5)平面构型分布(图1a)表明, Ng_5 砂层组尚处于低弯度曲流河阶段,在其沉积早期,即 Ng_5^5 单砂层沉积时期,强烈的水动力使原来的河道在洪水流经初期快速废弃,河道发生部分决口改道,多条决口水流选择河道外相互连续、地势最低路径形成自然汇水流径;在一定的地质条件下,随着汇水量、流量的增大,发展为大型主河道。在该过程中,决口点以下河道的流量快速减少;由于其发生在单砂层沉积早期,因此未发生明显的侧积作用并形成点砂坝,仅发育分布在洪泛平原泥岩中的大面积薄层决口砂体。

在 Ng_3 砂层组沉积时期,研究区已进入高弯度曲流河沉积阶段,为水动力较强的单砂层沉积早

期。其曲流河的弯曲度相对于前期沉积进一步增大,在 Ng_3 砂层组中下部也易于形成主河道周边型废弃河道分布模式。

3.2 复合点砂坝内部型

对于曲流河沉积,复合点砂坝内部型废弃河道多发育在砂层组下部的单砂层中。沉积微相研究中,容易忽略对复合点砂坝内部型废弃河道的识别。对于砂层组来说,其下部的河流相砂体与上部的相比,不仅厚度大、物性好,且在其内部通常可识别出若干条废弃河道,大面积分布的主河道成因砂体往往代表该砂层组沉积时期存在较强的水动力条件。在强水动力洪水期,河水沿着先前的河道沉积点砂坝砂体后,发生1次或数次决口改道,从而造成决口点以下整条河道冲裂废弃或部分曲流环(曲流裁直或流槽裁直)废弃。由于多次河流改道发生在同一洪水期,沿河道沉积的点砂坝砂体尚未完全固结,因此易于在点砂坝砂体中形成冲槽,多条河道沉积的点砂坝砂体混积在一起形成复合点砂坝(图1b)。通过识别复合点砂坝内部的废弃河道,可在一定程度上识别出单一的河道砂体。

3.3 紧贴曲流带凸岸型

紧贴曲流带凸岸型废弃河道较为常见,剖面上多分布在砂层组的中上部;在单砂层沉积过程中,其水动力条件相对于主河道周边型和复合点砂坝内部型分布模式进一步减弱。在水动力相对稳定期形成单砂层的过程中(该沉积时期为A期),随着曲流河增凸蚀凹过程的进行,点砂坝砂体侧向加积,河流弯度逐渐加大。随着A期水动力的逐渐减弱,至下次洪水期来临之前(该沉积时期为B期),单砂层沉积时期也即将结束。如果在B期河流发生较完全的决口改道,则河道在A期的后期自然废弃,废弃河道主要分布于A期形成的点砂坝或主河道砂体的边部,且多位于凸岸一侧(图1c)。

3.4 孤立型

孤立型废弃河道是指研究区某个单砂层的成因砂体多为废弃河道和决口扇砂体,而连续分布的主河道砂体及其伴生的天然堤砂体则少见。因此,识别出的废弃河道多呈不连续的新月状,孤立地分布于洪泛平原泥岩中(图1d)。在地层剖面中,孤立型废弃河道多分布于砂层组上部或顶部的单砂层中;在单砂层沉积初期,频繁发生大规模的泛滥和决口,造成主河道废弃或流量大幅减小。研究区河道完全改道发生在曲流河沉积体系水进过程末期。

在曲流河沉积体系中,废弃河道的4种分布模式会在一个砂层组中自下而上依次出现,与其正旋回的沉积特征相符合,但并不是每个砂层组均会依次出现这4种分布模式。由于层次分析的细致性,每个小层常可细分为若干个单砂层,因此小层中有时也会自下而上出现这4种分布模式的废弃河道。

4 结束语

依据储层构型理论,对孤岛油田馆上段典型曲流河沉积进行研究。根据废弃河道在单砂层沉积时期废弃的时间,划分出主河道周边型、复合点砂坝内部型、紧贴曲流带凸岸型及孤立型4种废弃河道分布模式。根据层次分析的精细程度,4种分布模式的废弃河道在砂层组、小层等储层层次划分级别中均可依次出现,整体代表了曲流河沉积体系的水进过程。废弃河道分布模式的提出,对认识河道砂体分隔性及追溯单一河道砂体边界具有重要意义。将储层构型理论与沉积微相研究相结合,并应用于储层砂体的精细解剖,对研究区的开发挖潜具有指导意义。

参考文献:

- [1] Miall A D. Architectural-element analysis: a new method of facies applied to fluvial deposits [J]. Earth Science Review, 1985, 22(2): 261-308.
- [2] 张昌民, 林克湘, 徐龙, 等. 储层砂体建筑结构分析[J]. 江汉石油学院学报, 1994, 16(2): 1-7.
- [3] 尹太举, 张昌民, 汤军, 等. 马厂油田储层层次结构分析[J]. 江汉石油学院学报, 2001, 23(4): 19-21.
- [4] 尹太举, 张昌民, 樊中海, 等. 地下储层建筑结构预测模型的建立[J]. 西安石油学院学报: 自然科学版, 2002, 17(3): 7-10, 14.
- [5] 陈清华, 李阳. 曲流河储层微型构造图编制的新方法[J]. 油气地质与采收率, 2005, 12(4): 17-19.
- [6] 渠芳, 陈清华, 连承波. 河流相储层细分对比方法探讨[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2008, 23(1): 17-21.
- [7] 渠芳, 陈清华, 连承波. 河流相储层构型及其对油水分布的控制[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2008, 32(3): 14-18.
- [8] 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.
- [9] 吴胜和, 岳大力, 刘建民, 等. 地下古河道储层构型的层次建模研究[J]. 中国科学: D辑 地球科学, 2008, 38(增刊): 111-121.
- [10] 刘建民, 束青林, 张本华, 等. 孤岛油田河流相厚层储层构型研究及应用[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(6): 1-4.
- [11] 周邦郅, 吴胜和, 岳大力, 等. 地下密井网识别废弃河道方法在萨北油田的应用[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2008, 30(4): 33-36.
- [12] 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.
- [13] 段冬平, 侯加根, 吴勇, 等. 低可容纳空间曲流河河道砂体划分与识别——以羊二庄油田明化镇组Ⅲ-5小层为例[J]. 油气地质与采收率, 2011, 18(2): 26-29.
- [14] 张富美, 方朝刚, 彭功名, 等. 靖安油田大路沟二区流动单元划分及合理性验证[J]. 油气地质与采收率, 2013, 20(1): 44-47.
- [15] 程会明. 孤岛油田曲流点坝构型[J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(5): 20-23.
- [16] 王振奇, 张昌民, 张尚锋. 油气储层的层次划分和对比技术[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(1): 70-75.
- [17] 束青林, 张本华, 毛卫荣, 等. 孤岛油田特高含水期提高采收率技术措施及效果[J]. 油气地质与采收率, 2009, 16(5): 52-55.
- [18] 陈清华, 曾明, 章凤奇, 等. 河流相储层单一河道的识别及其对油田开发的意义[J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(3): 13-15.
- [19] 赵翰卿, 付志国, 吕晓光. 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.
- [20] 白振强, 王清华, 杜庆龙, 等. 曲流河砂体三维构型地质建模及数值模拟研究[J]. 石油学报, 2009, 30(6): 898-902.
- [21] 张存才, 付志国, 黄述旺. 曲流河点坝砂体内部建筑结构三维地质建模[J]. 海洋石油, 2007, 27(4): 19-24.
- [22] 李双应, 李忠, 王忠诚, 等. 胜利油区孤岛油田馆上段沉积模式研究[J]. 沉积学报, 2001, 19(3): 386-393.
- [23] 冯伟光. 河流相储层中夹层类型的定量识别[J]. 油气地质与采

(下转第25页)