

稠油热采储层渗流屏障特征^①

——以辽河西部凹陷某试验区于楼油层为例

陈欢庆¹ 梁淑贤¹ 荐鹏² 杜宜静¹ 王珏¹ 樊涛²

(1.中国石油勘探开发研究院 北京 100083;2.中国石油辽河油田分公司勘探开发研究院 辽宁盘锦 124010)

摘要 渗流屏障为储层系统内遮挡流体渗流的岩体。以辽河西部凹陷某试验区于楼油层为例,综合地质、400口井测井资料、6口取芯井岩芯资料、10口典型井水分析资料等多种资料,详细研究了目的层渗流屏障的分类、发育规律以及对稠油热采储层开发的影响。从成因角度将研究区目的层扇三角洲前缘储层渗流屏障划分为沉积渗流屏障、成岩渗流屏障和封闭性断层渗流屏障等3种类型,其中沉积渗流屏障占主导地位。受沉积作用控制,沉积渗流屏障大体呈北东南西向条带状展布,主要位于水下分流河道间泥和下水分流河道间砂的位置。从北西向南东方向,随着与物源区距离逐渐增加,沉积物粒度逐渐变小,渗流屏障的发育程度也逐渐增强。渗流屏障的存在使得蒸汽驱热采过程中蒸汽的推进路径复杂化,并进一步降低了蒸汽驱的热效率和经济有效性。渗流屏障的存在对分层注汽等开发措施的实施也具有十分重要的影响。

关键词 辽河西部凹陷 于楼油层 渗流屏障 断层封闭性 稠油热采储层

第一作者简介 陈欢庆 男 1979年出生 博士 工程师 储层开发地质学 E-mail: hqchen2009@163.com

中图分类号 TE122.2 **文献标识码** A

渗流屏障为储层系统内遮挡流体渗流的岩体^[1]。吴胜和等^[2]在吐哈盆地温吉桑一米登油田(简称温米油田)中侏罗统三间房组辫状河三角洲储层流动单元研究中认为,流动单元研究可以划分为两个层次,其中确定连通砂体和渗流屏障的分布属于第一层次。该观点对于后期流动单元和渗流屏障的研究产生了重要的影响。任宝生等^[3]以黄骅凹陷北大港油田唐家河开发区东三段储层为例,通过对微观孔隙结构、渗流屏障和连通体的研究,对孔隙结构和流动单元进行了划分。Dipple *et al.*^[4]以南澳大利亚 Mt Painter Block 中元古代地层为例,研究了石英脉作为渗流屏障对区域性流体流动的影响。李云海等^[5]将储层流体渗流屏障对应至4级构型界面。彭松等^[6]以辽河油田曙三区复杂断块储集层为例,对沉积因素、成岩因素、构造因素和生产动态因素等影响渗流屏障分布的各个影响因素进行了分析。舒明媚等^[7]在渗流屏障研究的基础上对尕斯库勒 E₅油藏辫状河三角洲前缘亚相储层流动单元进行了划分。Mohammadi *et al.*^[8]在利用非均质性模型研究混相驱和非混相驱油效率时,分析了渗流屏障对驱油效率的影

响。综合分析前人对于渗流屏障的研究,多是在进行储层流动单元划分时进行较简单的相关分析,目前还未见到专门针对渗流屏障,特别是稠油热采储层渗流屏障开展研究工作的报道。由于渗流屏障对稠油热采储层蒸汽驱热采过程中蒸汽在储层中的推进具有十分重要的影响,因此研究渗流屏障的类型及其在空间发育的规律对于蒸汽驱热采稠油开发具有十分重要的生产实践意义。本次研究针对扇三角洲前缘储层水下分流河道分流改道频繁、渗流屏障发育和储层非均质性等特点,综合地质、测井、岩芯、分析测试等多种资料,开展针对稠油热采储层渗流屏障的研究工作,旨在为蒸汽驱热采方式的转换提供地质依据。

1 地质概况

研究区地处辽宁省凌海市,构造上位于辽河盆地西部凹陷。该块开发目的层为于楼油层和兴隆台油层,本次研究目的层为古近系沙河街组一段于楼油层,地质时间大体对应 36.0~37.2 Ma^[9]。于楼油层构造形态为东南倾的单斜构造,地层倾角 2°~10°,储层为扇三角洲前缘亚相碎屑岩沉积体,岩性主要为厚层不等粒砂岩、中—细砂岩,地层中沉积大量螺类化

^①国家科技重大专项“CO₂驱油与埋存关键技术”(编号:2011ZX05016-006)资助
收稿日期:2014-03-28;收修改稿日期:2014-08-26

石,储层物性好,孔隙度 27.9%~30.2%,有效渗透率 0.753~1.121 μm^2 ,泥质含量 7.53%~11.3%,分选系数 1.7~2.09,粒度中值 0.18~0.27 mm。物源主要来自北西向和正北方向。目的层沉积微相包括水下分流河道、河口砂坝、前缘席状砂、水下分流河道间砂和水下分流河道间泥 5 种,其中储层以水下分流河道、河口砂坝和水下分流河道间砂为主。目前研究区于楼油层纵向采用两套层系开发,东北部已进行蒸汽驱,效果较好。而区块其余区域蒸汽吞吐已进入中后期,生产效果越来越差,吞吐方式即将废弃,亟待转换开发方式。该块于楼油层纵向上分为 I、II 两个油层组 12 个小层,本次研究进一步细分为 yI11a、yI11b、yI12a、yI12b、yI12c、yI23a、yI23b、yI23c、yI24a、yI24b、yI24c、yI35a、yI35b、yI35c、yI36a、yI36b、yI36c、yII11a、yII11b、yII12a、yII12b、yII23a、yII23b、yII24a、yII24b、yII35a、yII35b、yII36a、yII36b 等 29 个单层。因各小层水下分流河道频繁摆动,使水下分流河道砂体与河道间砂体纵向相互叠置和平面条带间互相组合,导致储层平面和纵向具有较强的非均质性,造成油层平面及纵向动用不均,成为制约该块汽驱进一步扩大实施的主要因素。针对开发生产中存在的问题,本次研究拟通过储层渗流屏障详细分析,确定主要渗流屏障的发育类型以及发育区域,为蒸汽吞吐转蒸汽驱开发方式的转换和剩余油挖潜提供坚实的地质依据。

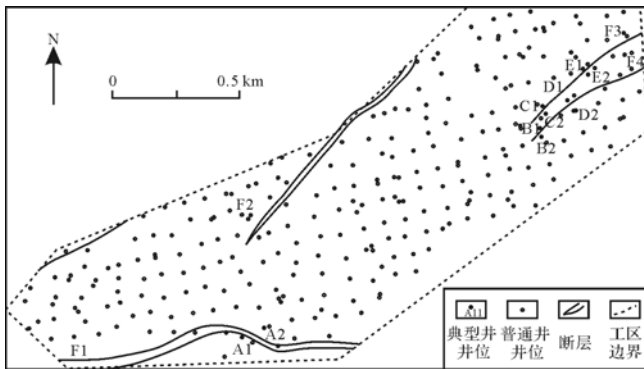


图1 研究区位置简图

Fig.1 Location of the study area

2 渗流屏障的分类与识别

渗流屏障的分类一直都是储层渗流屏障研究的基础和重要内容之一,前人也做过大量的工作^[1-2,10-13]。吴胜和等^[2]将渗流屏障划分为泥岩屏障、胶结带屏障和封闭性断层屏障等 3 种类型,并详细介绍了不同类型渗流屏障的发育特征。窦松江等^[10]将北大港油田港东地区古近系河流相沉积储层

渗流屏障划分为泥岩屏障、钙质胶结屏障和封闭性断层屏障 3 类。张林艳^[11]将塔河油田奥陶系油藏渗流屏障划分为致密碳酸盐岩基质充填渗流屏障、充填作用形成的渗流屏障和封闭断层形成的渗流屏障等 3 种类型。沈勇伟等^[12]将克拉玛依油田六中区克上组渗流屏障划分为断层屏障、物性屏障和不整合面屏障 3 类。陈新民等^[13]认为由渗流屏障分隔的地质体就是单砂体,并将渗流屏障划分为隔层、夹层和断层等 3 大类。由于岩石类型不同,构造作用、沉积作用和成岩作用等影响储层性质的因素也各有差异,因此对于碎屑岩、碳酸盐或者火成岩等不同类型的储层渗流屏障的分类也不尽相同。目前对于渗流屏障的分类,从成因角度来开展工作的做法占主导。

2.1 渗流屏障的分类

前已述及,渗流屏障为储层系统内遮挡流体的岩体。本次研究根据资料掌握状况以及渗流屏障发育的特点,主要利用岩芯、扫描电镜、镜下薄片、测井曲线以及分析测试资料等,从成因上将目的层渗流屏障分为 3 种类型,分别是沉积渗流屏障(为沉积成因水下分流河道间泥等细粒沉积体构成)、成岩渗流屏障(主要由压实作用和胶结作用等成岩作用形成)、和封闭性断层渗流屏障,其中以沉积渗流屏障为主。

2.1.1 沉积渗流屏障

沉积渗流屏障受沉积作用控制,多为水下分流河道间砂或水下分流河道间泥沉积。岩性为粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩以及泥岩等,其中以粉砂质泥岩和泥岩为主。该类型渗流屏障主要是由于水动力减弱,细的悬移质沉积形成的。主要有两种成因类型:一种是沉积过程中由于水下分流河道的分流和改道,水动力条件发生变化,在砂质纹层间形成泥质夹层,一般厚度较薄,多表现为夹层;另一种是在洪水期间的枯水期或间洪期形成一层泥质层,一般厚度较大,常表现为隔层。受发育规模的限制,夹层渗流屏障对于储层中流体的渗流的影响要明显小于隔层。对于沉积渗流屏障的识别可以使用岩芯、测井等多种资料进行识别。沉积相和沉积微相的详细分析是行之有效的方法。在岩芯上,沉积渗流屏障表现为泥岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩和粉砂岩等细粒沉积(图 2)。在测井曲线上沉积渗流屏障主要表现为电测曲线低平,起伏很小或者微起伏(图 3)。沉积渗流屏障是研究区目的层最发育的一种渗流屏障,在目的层广泛发育,对储层之间的连通关系起着决定性的控制作用。

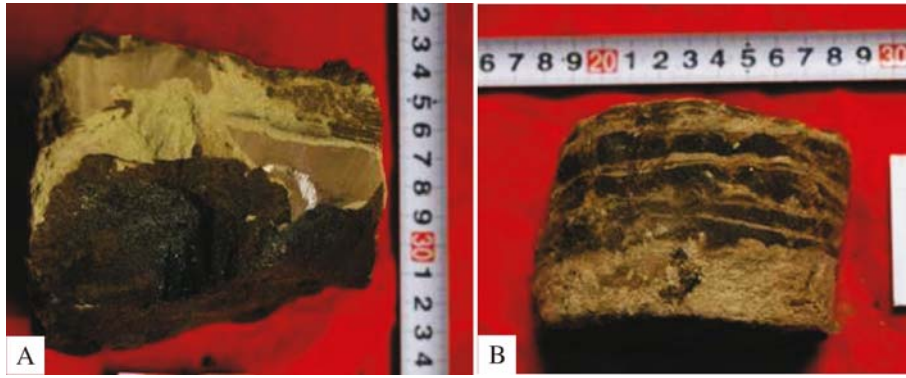


图2 研究区于楼油层沉积渗流屏障岩芯特征图

A. Q2, 1 003.74 ~1 003.79 m, 粉砂质泥岩, 沉积渗流屏障, 水下分流河道间泥; B. A3, 975.3~975.35 m, 灰褐色粉砂岩, 油斑, 波状层理, 沉积渗流屏障。

Fig.2 Core characteristics of sedimentary flow barrier of Yulou oil bearing sets in the study area

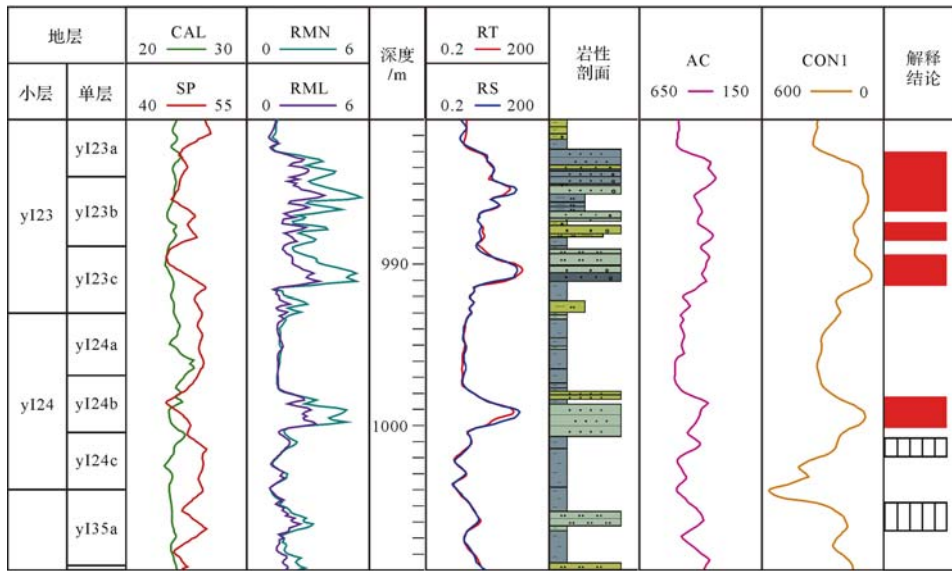


图3 研究区 A9 井于楼油层沉积渗流屏障特征(深度:992~998 m)

Fig.3 Characteristics of some wells of sedimentary flow barrier of Yulou oil-bearing sets in the study area

2.1.2 成岩渗流屏障

成岩作用对储层性质具有十分重要的影响^[14-15]。研究区目的层成岩渗流屏障受成岩作用控制,具体主要包括胶结作用、压实作用等对于储层的发育起消极影响作用的成岩作用。上述作用均是通过减小储层的孔隙,使得储层物性变差,形成渗流屏障。整体上储层压实作用较弱,以胶结作用为主。而在胶结作用中又以碳酸盐岩、黏土矿物胶结和硅质胶结等为主。碳酸盐岩胶结主要是在沉积成岩过程中,随着埋深的增加,温度升高,压力增大,有机质热演化所释放的大量 CO₂与地层水中的 Ca²⁺、Mg²⁺等结合形成的碳酸盐交代成致密碎屑岩。硅质胶结主要是石英等以化学沉淀方式形成于粒间孔隙当中,属自生矿

物。成岩渗流屏障在研究区目的层表现为在储层发育过程中各种黏土矿物的相互转化,从而堵塞孔隙,形成渗流屏障。硅质胶结主要表现为长石的次生加大等(图4)。钙质胶结可以通过电阻率曲线上明显的钙质尖来识别(图5)。总体上看,成岩渗流屏障在研究区目的层不发育,特别是钙质胶结形成的渗流屏障,只是在 yII 油组的个别单层中可以见到(图5),而且一般厚度都小于 1 m,在空间上延伸的距离也很短,对于生产实践的影响作用不大。

2.1.3 断裂渗流屏障

利用断层两盘开发动态资料或者流体性质来分析断层的封闭性是断层封闭性十分重要的研究方法之一^[16-17]。本次断裂渗流屏障研究,主要利用断层

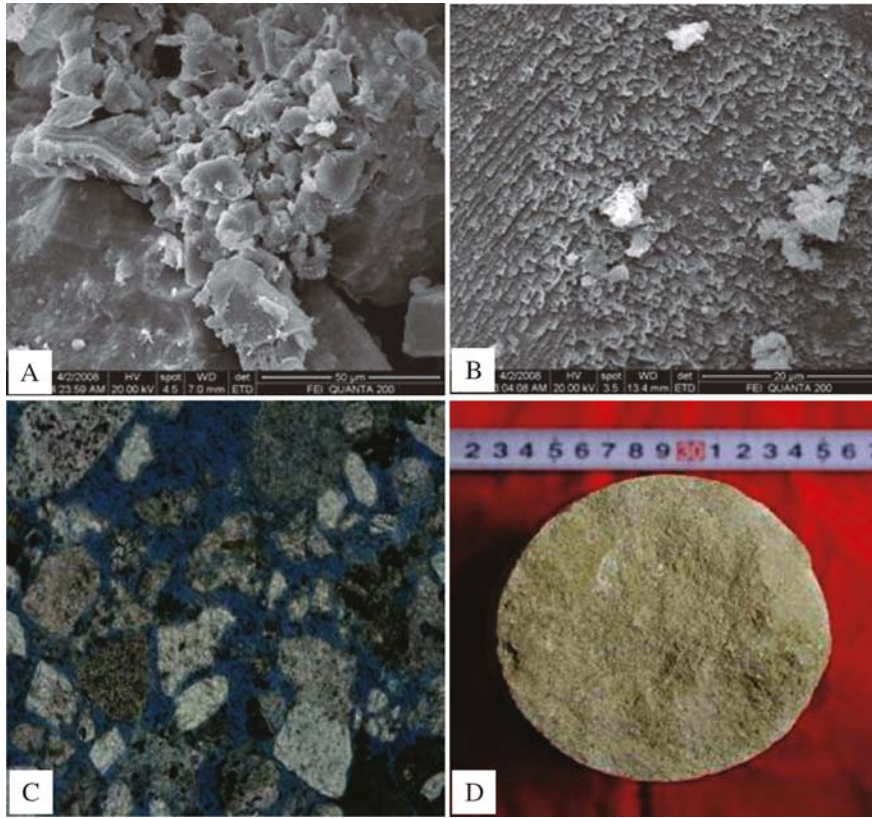


图 4 研究区于楼油层成岩渗流屏障特征

A.高岭石黏土向伊利石转化,成岩渗流屏障,997.02 m,×2400;B.长石次生加大I级,成岩渗流屏障,990.18 m,×6000;C.颗粒点—线接触,压实作用,954.04 m,成岩渗流屏障,×100;D. 1 033.84~1 033.94 m,中砂岩,硅质胶结,成岩渗流屏障。

Fig.4 Characteristics of some wells of diagenesis flow barrier of Yulou oil-bearing sets in the study area

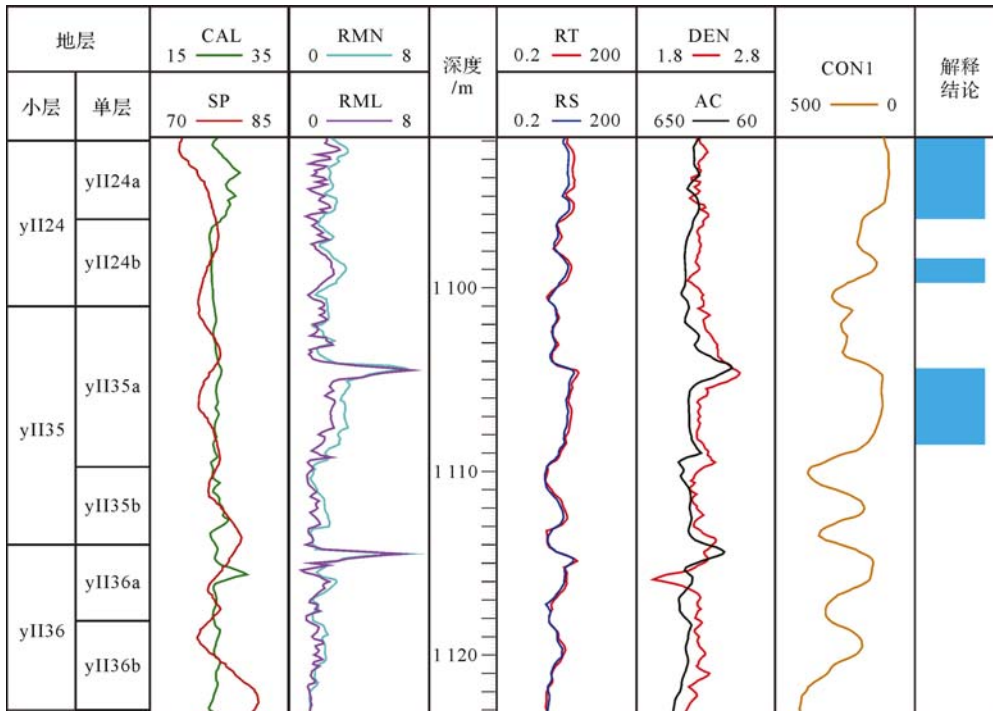


图 5 研究区 Q3 井成岩渗流屏障特征(深度:1 104~1 105 m;1 114~1 115 m)

Fig.5 Characteristics of some wells of diagenesis flow barrier of Yulou oil-bearing sets in the study area

两盘水分析资料的对比开展工作。研究区主要断裂有4条(图1),分别是F1、F2、F3和F4。选取5组共10口井的水分析资料作对比从断裂发育的级别上分析(表1),断裂F1和断裂F2属于3级大的控凹断裂,而断裂F3和断裂F4的级别属于4级断裂。主要对比断层上、下两盘地层水分析资料来评价断层封闭性,刻画封闭性断层渗流屏障。断层两盘地层水分析结果差异较大,表明断层封闭性较好,形成封闭性断层渗流屏障。断层两盘地层水分析结果类似,表明断层封闭性差,不能形成封闭性断层渗流屏障。对于断裂F1而言,选取A1井和A2井水分析结果作对比,发现分别位于断层两盘的这两口井的水分析结果差异较大。特别是在镁、钙、硫酸根和碳酸根等含量上表现的尤为突出,说明断层是封闭的。将断层C1、C2和E1、E2分别作为2组作对比,发现在(钾+钠)、钙、

碳酸根、重碳酸根和总硬度等指标方面均相同或取值接近,因此可以断定断层上下盘之间流体是连通的,断层不封闭,不能形成渗流屏障。将断层B1、B2和D1、D2分别作为2组作对比,发现断层两盘镁、硫酸根、碳酸根、总矿化度和总碱度等指标取值差异均较大,因此可以断定断层上下盘之间流体是不连通的,断层是封闭的,可以形成封闭性断层渗流屏障。因此,在研究区的4条断裂中,断裂F1和断裂F4属于封闭性断层渗流屏障。

2.2 渗流屏障空间分布特征

2.2.1 渗流屏障剖面发育特征

受扇三角洲前缘水下分流河道不断分流改道的影响,沉积渗流屏障在研究区目的层发育位置变化较大。一般在水下分流河道间泥和水下分流河道间砂的位置,沉积渗流屏障较发育,而在水下分流河道和

表1 研究区目的层部分典型井水分析结果表

Table 1 Object list of water analysis of typical well of aimed stratum in the study area

井名	取样日期	化验日期	钠+钾 (Na+K)	镁 (Mg)	钙 (Ca)	氯 (Cl)	硫酸根 (SO ₄ ²⁻)	碳酸根 (CO ₃ ²⁻)	重碳酸根 (HCO ₃ ⁻)	总矿化度 mg/L	总硬度	总碱度	水性	pH值
A1	2005.06.20	2005.06.21	519.8	4.86	38.1	266	19.21	90	854.28	1 792.44	115.1	850.8	NaHCO ₃	7
A2	2005.06.16	2005.06.17	437	7.3	20	212.8	4.8	—	884.79	1 566.69	80.1	725.7	NaHCO ₃	6
B1	2010.03.24	2010.03.25	740.6	3.65	10	248.2	24.02	—	1 556.01	2 582.52	40	1 276.2	NaHCO ₃	6
B2	2010.09.27	2010.09.28	579.6	6.08	12	230.5	14.41	60	1 067.85	1 970.45	55.1	975.9	NaHCO ₃	7
C1	2010.10.11	2010.10.12	545.1	9.73	18	230.5	67.24	—	1 067.85	1 938.45	85.1	875.8	NaHCO ₃	6
C2	2010.07.14	2010.07.14	503.7	7.3	18	159.6	91.26	—	1 037.34	1 817.21	75.1	850.8	NaHCO ₃	7
D1	2001.08.03	2001.08.04	363.4	3.65	6.01	141.8	19.21	150	427.14	1 111.25	30	600.6	NaHCO ₃	8
D2	2001.08.03	2001.08.04	542.8	3.65	12	106.4	24.02	240	793.26	1 722.13	45.1	1051	NaHCO ₃	8
E1	2003.11.02	2003.11.03	446.2	7.3	16	177.3	14.41	90	762.75	1 513.99	70.1	775.7	NaHCO ₃	6
E2	2003.11.12	2003.11.13	407.1	4.86	20	177.3	4.8	90	671.22	1 375.32	70.1	700.6	NaHCO ₃	7

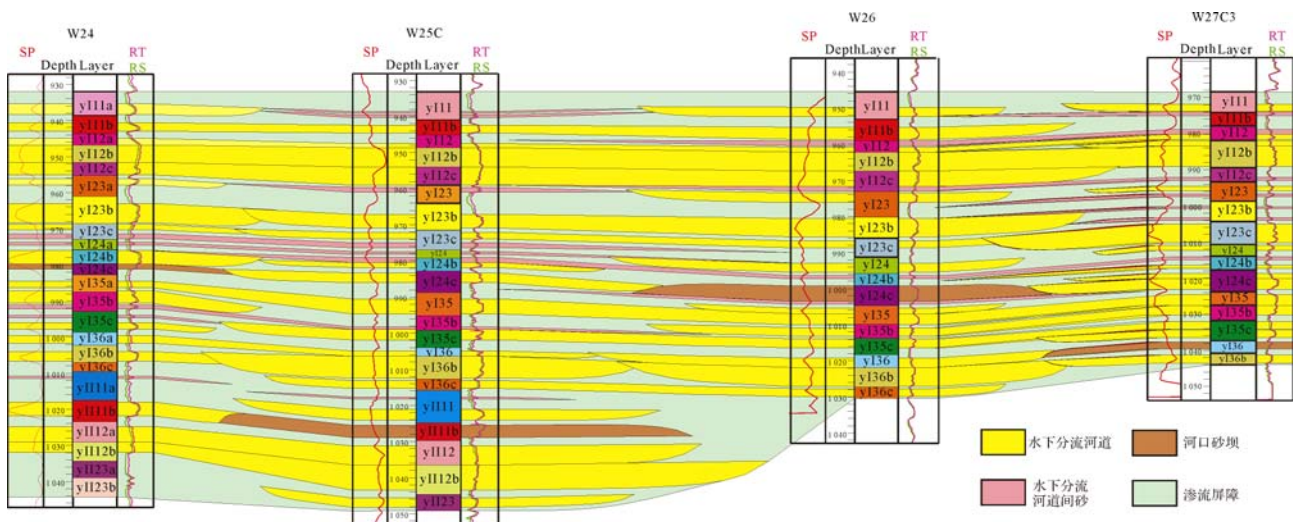


图6 研究区目的层渗流屏障剖面发育特征

Fig.6 Characteristics of flow barrier of aimed stratum in the study area in section

河口砂坝的位置,渗流屏障不发育(图6)。受沉积物源与扇三角洲前缘沉积旋回变化的共同控制,在目的层的上部和下部,渗流屏障的厚度较大,延伸距离较远,数量较少。而在目的层中部,渗流屏障规模较小,但数量多,频繁出现(图6)。而且,从北西向南东方向,随着与物源区距离逐渐增加,沉积物粒度逐渐变小,渗流屏障的发育程度也逐渐增强。这些特点在部署分层注汽措施时要充分考虑。

2.2.2 渗流屏障平面展布特征

由于沉积渗流屏障在研究区目的层占主导,因此本次研究主要从沉积方面对渗流屏障在平面上的发育特点作以刻画。沉积渗流屏障可以进一步细分为层间隔层渗流屏障和层内夹层渗流屏障2种(图7,8),其中前者在开发中所起的作用要远远大于后者。以单层 yI35b 与 yI35c 之间的隔层为例,沉积渗流屏障的厚度在平面上变化较大,最小值为 0 m,最大值大于 5 m。受沉积物源影响,总体上不同厚度的沉积渗流屏障大体呈北西—南东条带状展布。渗流屏障较厚处多位于水下分流河道间泥的位置,而渗流屏障厚度为 0 m 的区域多位于水下分流河道叠置的位置。其余单层间隔层的发育特征基本与单层 yI35b 与 yI35c 之间的隔层类似,只是受水下分流河道的分流改道影响,不同厚度的隔层在平面上的具体位置会发

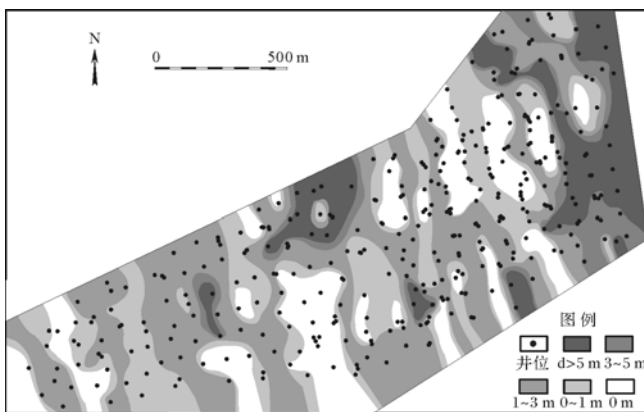


图7 单层 yI35b 至 yI35c 之间隔层发育平面展布图

Fig.7 Interlayer plane of single layer between yI35b and yI35c

生变化。从单层 yI11b 层内夹层分布频率图上看(图8),不同频率夹层在平面上也大体呈北西—南东条带状展布,这与层间隔层的发育特征一致,不同的是夹层的规模要明显小于隔层,在空间上延伸的距离也十分有限。其余单层内夹层的发育规律基本与单层 yI11b 类似。

在蒸汽吞吐转蒸汽驱过程中,蒸汽驱注汽井和采

油井井网的调整和部署应该充分考虑到渗流屏障在平面上的分布特点,尽量保证注采井之间的连通性,保证注采见效,将渗流屏障的不利影响减小到最低程度。

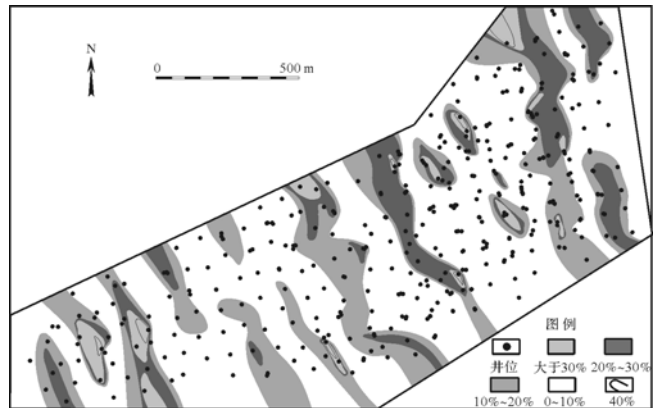


图8 单层 yI11b 内部夹层频率分布特征图

Fig.8 Plane of interlayer spectral distribution of single layer yI11b

3 稠油热采储层渗流屏障对开发的影响

渗流屏障对储层内部流体的流动起着十分重要的影响和控制作用。但是并非所有的渗流屏障都能起到有效阻碍流体流动的作用,即渗流屏障要达到一定的厚度和延伸范围,才能封隔注入蒸汽,而厚度较薄的渗流屏障,只是在小范围内改变了蒸汽推进的路径,并不能对蒸汽形成有效分隔。裴悱楠等^[18]将大庆油田二次加密井网隔层的厚度标准定为 1.5~2.0 m。根据辽河油田的经验,泥岩厚度大于 1 m,就可以对蒸汽运移形成有效的阻止。因为目前研究区目的层发育的渗流屏障以泥岩和粉砂质泥岩为主,因此本次研究借鉴这一标准,将渗流屏障的厚度有效标准确定为 1 m。

本次研究分析认为,渗流屏障对蒸汽驱开发的影响主要体现在以下几个方面:①不连续的泥岩增加了流体流动通道的曲折性,使注采关系复杂化。渗流屏障在空间上的发育和延伸,增加了储层非均质性(图9),使得注入蒸汽在空间上的均匀推进难度大,“串流”和“指进”等现象普遍发生,降低了蒸汽驱有效率,使流体流动的规律复杂化,这一点与一般的水驱类似。从图9中单层 yI11b 渗透率变异系数平面分布图可见,红色区域为渗透率变异系数小于0.5,即储层非均质性较弱的区域,灰色为泥岩发育的区域,而黄颜色为非均质性中等的区域,蓝颜色为非均质性强烈的区域,该区域占主体,其它 28 个单层的情况与单

层 y111b 类似。整体上研究区目的层非均质性强烈。

②由于渗流屏障(隔夹层)发育,汽驱大量热量被隔夹层吸收损失,导致热量很难在油层中有效传递,蒸汽驱效果变差,要充分考虑经济上的可行性^[19-20]。蒸汽驱油效率一个十分重要的判断指标就是经济可行性,而储层内渗流屏障(隔夹层)的存在,吸收了大量的蒸汽热能,直接导致了蒸汽热能量的损失,降低了蒸汽驱油的热效率,并最终导致蒸汽驱经济有效性降低。这当中既包括隔层渗流屏障,也包括夹层渗流屏障,空间规模没有限制,只要存在,就对蒸汽驱热能量有吸收作用,只是前者吸收量明显大于后者而已。

③在热采过程中,为了进一步扩大波及体积,防止气窜,保证蒸汽前缘均匀推进,提高蒸汽驱油效率,常采用分层注汽的方法。从隔层发育平面图与注汽井平面位置关系来看,隔层发育的部位,可以采用分层注汽,提高开发效果,而单层间隔层不发育的区域,采用分层注汽,容易发生汽窜。在具体操作时,首先通过精细的单层级别的沉积微相和隔夹层分析,明确热采油层的有效厚度及其在平面上的分布范围,合理划分热采层系。打开注汽层下部 1/2 或更少,减少蒸汽超覆作用的影响。同时可以采用蒸汽泡沫剂进行层间或层内调控。还可以利用封隔器分层注汽,利用选择球选择性注汽等。

④由于渗流屏障的存在,导致注汽井和采油井之间注采对应差,蒸汽驱效果不理想。以研究区东北部已进行蒸汽驱的 K3 井和 K4 井为例(图 10),K4 为注汽井,K3 为采油井,K3 井和 K4 井井距 107 m。在主力层 y112(y112a+y112b+y112c)(图 10A)、y123(y123a+y123b+y123c)(图 10B)和 y124(y124a+y124b+y124c)(图 10C),K3 井和 K4 井之间都存在水下分流河道间砂或者水下分流河道间泥,发育沉积渗流屏障,导致注采关系对应差,K3 井 5 年共计累产才 577 吨油,生产效果远低于同井组的其它采油井。

4 结论

(1) 受扇三角洲前缘水下分流河道不断分流改道的影响,沉积渗流屏障在研究区目的层发育变化较大。一般在水下分流河道间泥和在水下分流河道间砂的位置,沉积渗流屏障较发育,而在水下分流河道和河口砂坝的位置,渗流屏障不发育。从北西向南东方向,随着与物源区距离逐渐增加,沉积物粒度逐渐变小,渗流屏障的发育程度也逐渐增强。受沉积物源影响,总体上不同厚度的沉积渗流屏障大体呈北西—南

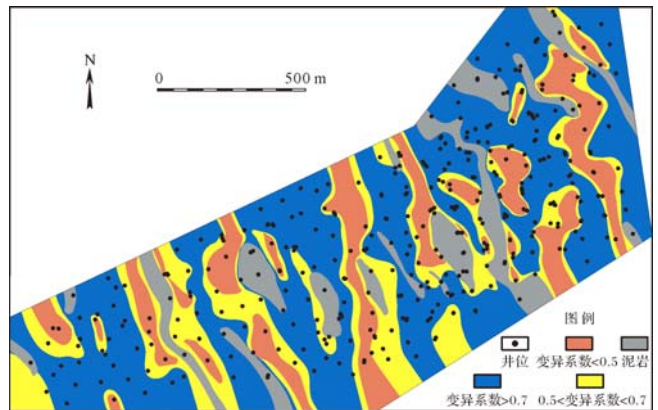


图9 研究区 y111b 单层层内渗透率变异系数平面图
Fig.9 Plane of coefficient of variation of permeability distribution of single layer y111b

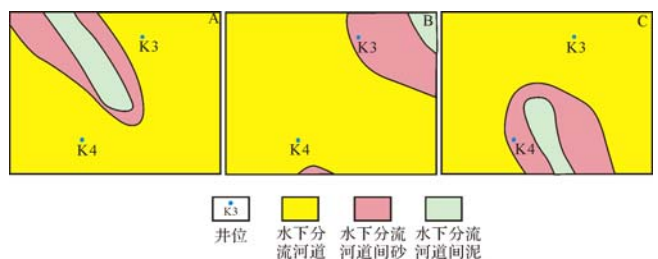


图10 研究区 K3 井和 K4 井主力层沉积微相分布图
Fig.10 Sedimentary microfacies plane of main layers of Well K3 and Well K4 in of aimed stratum in the study area

东条带状展布。热采方式转换过程中应该充分考虑渗流屏障在平面上的分布特点,保证注汽井和采油井之间不被渗流屏障分隔,注采见效好。

(2) 研究区目的层发育的渗流屏障以泥岩、粉砂质泥岩为主,有效厚度确定为 1 m。渗流屏障的存在使得注采关系复杂化,降低了蒸汽驱油效率。渗流屏障的存在,降低了蒸汽驱油的热效率和经济有效性。单层之间渗流屏障发育的区域可以进行分层注汽,渗流屏障不发育的地方,分层注汽容易汽窜。由于渗流屏障的存在,导致注汽井和采油井之间注采对应差,蒸汽驱效果不理想。在注采井网部署调整时应该充分考虑到渗流屏障对开发的影响。

(3) 在具体进行蒸汽驱实施时,首先应该通过精细的单层级别沉积微相和隔夹层分析,搞清油层有效厚度和隔夹层在空间的发育特征,然后合理划分热采层系。打开注汽层下部 1/2 或更少,减少蒸汽超覆作用的影响。同时可以采用蒸汽泡沫剂进行层间或层内调控。还可以利用封隔器分层注汽,利用选择球选择性注汽等。

参考文献 (References)

- 1 吴胜和. 储层表征与建模[M]. 北京:石油工业出版社,2010:157-161.[Wu Shenghe. Reservoir Characterization & Modeling[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010: 157-161.]
- 2 吴胜和,王仲林. 陆相储层流动单元研究的新思路[J]. 沉积学报, 1999,17(2):252-257. [Wu Shenghe, Wang Zhonglin. A new method of non-marine reservoir flow unit study[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(2): 252-257.]
- 3 任宝生,芦凤明. 黄骅凹陷北大港油田唐家河开发区东三段储层精细描述[J]. 石油实验地质,2004,26(1):58-62. [Ren Baosheng, Lu Fengming. Reservoir characterization of Dong III formation, Tangjiahe developing area of Beidagang oilfield, Huanghua depression[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2004, 26(1): 58-62.]
- 4 Dipple G M, Bons P, Oliver N H S. A vector of high-temperature paleo-fluid flow deduced from mass transfer across permeability barriers (quartz veins)[J]. Geofluids, 2005, 5(2): 67-82.
- 5 李云海,吴胜和,李艳平,等. 三角洲前缘河口坝储层构型界面层次表征[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报),2007,29(6):49-52. [Li Yunhai, Wu Shenghe, Li Yanping, et al. Hierarchical boundary characterization of Delta Front Mouth Bar reservoir architecture[J]. Journal of Oil and Gas Technology (JJPI), 2007, 29(6): 49-52.]
- 6 彭松,卢宗盛,文静,等. 曙三区复杂断块储集层流动单元研究[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报),2009,31(4):170-175. [Peng Song, Lu Zongsheng, Wen Jing, et al. Reservoir flow units of intricate fault block in Shu 3 area[J]. Journal of Oil and Gas Technology (JJPI), 2009, 31(4): 170-175.]
- 7 舒明媚,陈河青,王健,等. 苏斯库勒 E₃ 油藏辫状河三角洲前缘亚相储层流动单元研究[J]. 复杂油气藏,2012,5(2):41-44. [Shu Mingmei, Chen Heqing, Wang Jian, et al. The flow unit research of braided delta front subfacies reservoir in E₃ oil reservoir of Gasikule Oilfield[J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2012, 5(2): 41-44.]
- 8 Mohammadi S, Ghazanfari M H, Masihi M. A pore-level screening study on miscible/immiscible displacements in heterogeneous models [J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2013, 110: 40-54.
- 9 郑荣才,吴朝容,任作伟,等. 辽河坳陷西部凹陷深层沙河街组层序地层与生储盖组合[J]. 复式油气田,1999(4):48-53. [Zheng Rongcai, Wu Zhaorong, Ren Zuowei, et al. Liaohe sequence stratigraphy and source reservoir caprock assemblage of Shahejie Formation of deep stratum in westward in Liaohe sag of depression[J]. Multiple Oil-gas Field, 1999 (4): 48-53.]
- 10 窦松江,于兴河,李才雄. 流动单元研究在北大港油田中的应用[J]. 石油与天然气地质,2004,25(1):26-30. [Dou Songjiang, Yu Xinghe, Li Caixiong. Flow unit study at middle and late development stages in northern Dagang oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25 (1): 26-30.]
- 11 张林艳. 塔河油田奥陶系缝洞型碳酸盐岩油藏的储层连通性及其油(气)水分布关系[J]. 中外能源,2006,11(5):32-36. [Zhang Linyan. Reservoir connectivity and oil-water relationship of rock dissolved carbonate oil reservoir in Tahe oilfield[J]. China Foreign Energy, 2006, 11(5): 32-36.]
- 12 沈勇伟,徐恒,张春光,等. 克拉玛依油田六中区克上组流动单元研究[J]. 西南石油大学学报,2007,29(4):53-55. [Shen Yongwei, Xu Heng, Zhang Chunguang, et al. The flow units in Keshang Formation, Liuzhong area, Karamayi oilfield[J]. Journal of Southwest Petroleum University, 2007, 29(4): 53-55.]
- 13 陈新民,梁柱,殷茵. 温西3区块三间房组储层流动单元划分[J]. 石油地质与工程,2007,21(4):36-39. [Chen Xinmin, Liang Zhu, Yin Yin. Classification of reservoir flow units in Sanjianfang Formation of Wenxi 3 block[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2007, 21 (4): 36-39.]
- 14 吴胜和,熊琦华. 油气储层地质学[M]. 北京:石油工业出版社,1998:55-104. [Wu Shenghe, Xiong Qihua. Hydrocarbon Reservoir Geology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1998: 55-104.]
- 15 纪友亮. 油气储层地质学[M]. 东营:中国石油大学出版社,2009:55-134. [Ji Youliang. Petroleum Reservoir Geology[M]. Dongying: China University of Petroleum Press, 2009: 55-134.]
- 16 张金亮,谢俊. 油田开发地质学[M]. 北京:石油工业出版社,2011:60-65. [Zhang Jinliang, Xie Jun. Development Geology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2011: 60-65.]
- 17 李阳,刘建民. 油藏开发地质学[M]. 北京:石油工业出版社,2007:34-35. [Li Yang, Liu Jianmin. Reservoir Development Geology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007: 34-35.]
- 18 裘祚楠,陈子琪. 中国油藏管理技术手册-第一分册-油藏描述[M]. 北京:石油工业出版社,1996:197-203. [Qiu Yanan, Chen Ziqi. Reservoir Characterization [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996: 197-203.]
- 19 刘文章. 稠油注蒸汽热采工程[M]. 北京:石油工业出版社,1997. [Liu Wenzhang. Thermal Recovery Engineering of Heavy Oil Reservoir with Steam Flooding [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997.]
- 20 刘文章. 热采稠油油藏开发模式[M]. 北京:石油工业出版社,1998. [Liu Wenzhang. The Development Models of Heavy Oil Reservoirs by Thermal Recovery [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1998.]

Flow Barrier Characteristics of Thermal Recovery of Heavy Oil Reservoir: Taking Yulou oil-bearing sets in some experimental area in the south end of westward slope of West depression in Liaohe Basin as an example

CHEN HuanQing¹ LIANG ShuXian¹ JIAN Peng²

DU YiJing¹ WANG Jue¹ FAN Tao²

(1. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083;

2. Institute of Exploration and Development, PetroChina Liaohe Oilfield Company, Panjin, Liaoning 124010)

Abstract: Flow barrier was rock mass which keep out fluid flow inside of reservoir system. Taking Yulou oil-bearing sets in some experimental area in the south end of westward slope of West depression in Liaohe Basin as an example, flow barrier were studied on the base of combining geological data and 400 well data and six well data of cores and water analysis data of ten wells. Types and distribution characteristics and its effects to thermal recovery of heavy oil reservoir were studied in detail. Flow barrier in reservoir of fan delta front of the aimed stratum in the study area were carved up into three types of sedimentary flow barrier and diagenesis flow barrier and sealing fault flow barrier by cause, and sedimentary flow barrier took the leading role. Controlled by sedimentary process, sedimentary flow barrier distributed from north-west to south-east like stripped noodles. They mainly lined in areas of underwater distributary channels and channel mouth bars. With distances changed more and more far, sediments granularity became smaller and sedimentary flow barrier developed levels were strengthened. Steam paths in steam flooding were complicated because of the existence of flow barrier. In this process, thermal and economical efficiency were reduced. Flow barriers also had very important influence to layer steam injection and other development measures carried out.

Key words: West depression in Liaohe Basin; Yulou oil bearing sets; flow barrier; seal characteristic of fault; thermal recovery reservoir heavy oil