

文章编号: 1673-9469 (2018) 01-0094-05

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2018.01.021

## 岔河集油田水下分流河道砂体特征及对开发的影响

杨满平<sup>1</sup>, 张凌峰<sup>1</sup>, 王玉忠<sup>2</sup>, 刘月萍<sup>2</sup>, 吴海红<sup>2</sup>

(1.燕山大学石油工程系, 河北秦皇岛 066004; 2.华北油田第二采油厂地质研究所, 河北霸州 065700)

**摘要:** 通过对岔河集水下分流河道砂体的特征以及对开发的影响进行详细的分析和研究, 根据钻遇砂体统计, 岔河集油田水下分流河道砂体表现为纵向厚度小, 河道宽度窄的特点, 单砂体厚度集中分布在1~5 m之间, 河道宽度普遍小于100 m。加密钻井能新增钻遇砂体和油砂体, 砂体和油砂体的连通率也有所增加; 但即使井距加密到100 m左右后, 井网对砂体的控制程度仍然较低。大部分油砂体难以形成注采关系, 表现为有采无注或有注无采; 有注采关系的油砂体也以两点法和三点法注采系统为主, 难以形成完善的注采井网系统。油井和水井的多向见效关系主要是由于合层开发造成的假象。由砂体特征影响而形成的剩余油类型主要为: 现有井网没有控制的透镜状油砂体, 有采无注弹性开发形成的剩余油, 和水驱单向受效形成的剩余油等。

**关键词:** 浅水三角洲; 水下分流河道; 砂体; 油砂体; 注采系统; 剩余油

**中图分类号:** TE35

**文献标志码:** A

## Sand body characteristic and effects on exploitation of subaqueous distributary channel in Chaheji oilfield

YANG Manping<sup>1</sup>, ZHANG Lingfeng<sup>1</sup>, WANG Yuzhong<sup>2</sup>, LIU Yueping<sup>2</sup>, WU Haihong<sup>2</sup>

(1.Petroleum Engineering Department of Yanshan University, Qinhuangdao, Hebei 066004, China;

2. Geological Institute of No.2 Oil Production Plant of Huabei Oilfield Co.Ltd., Bazhou 065034, China)

**Abstract:** Detailed analysis and research on the characteristics of Chaheji river catchment distributary channel sand body and its effect on development are carried out. According to statistics of sand bodies by drilling, the subaqueous distributary channel sand body of Chaheji oilfield has small vertical thickness and narrow width. The thickness of single sand body distributes between 1-5 meters, and the river width is generally less than 100 meters. Sand body and oil sand body can be added by infill drilling, and connectivity of sand body and oil sand body is also increased. However, even well spacing reduces to 100 meters, the degree of control pattern to the sand body is still low. Most of the oil sand bodies are difficult to form the injection production relation, appearing the phenomena like production and no injection or injection and no production. The injection-production relationships of oil sand body mainly are two point and three point of injection production system. It is difficult to form a perfect injection-production well pattern system. The multiple direction effect relationship between oil wells and water wells is illusion, mainly due to the development of composite layer. Affected by the sand body characteristics, the types of remaining oil include mainly lenticular oil sand body with no control of the existing well pattern, remaining oil of production with no injection by elastic development, remaining oil by one-way water flooding etc.

**Key words:** shallow water delta; subaqueous distributary channel; sand body; oil sand body; injection-production system; remaining oil

收稿日期: 2017-09-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(E0403-50804041)

作者简介: 杨满平(1974-), 男, 湖南永州人, 博士, 教授, 从事油气田开发领域内的教学和科研工作。

我国东部地区大部分油藏都属于陆相砂岩油藏，沉积类型主要以河流、三角洲以及湖相沉积为主，砂体类型也繁多，其中河道型砂体是分布最为普遍和常见的一种类型<sup>[1-2]</sup>。由于受到沉积时的地形、物源、气候等因素的共同影响，不同地区、不同时代形成的河道型砂体也具有较大的差异。精细研究这些砂体的特征可以增加对此类油藏内部结构特征的认识<sup>[3-5]</sup>，也有利于指导油藏进行合理开发<sup>[6-7]</sup>。岔河集油田是一个岩性变化比较大受构造、岩性双重因素控制的中渗透复杂断块油藏<sup>[8-9]</sup>。油田含油层系多，下第三系东一段至沙三段均有油层分布。根据最新的区域地质研究成果，岔河集含油层段沉积时期，大部分地区以浅水三角洲沉积为主，亚相主要为三角洲前缘。由于沉积时期湖盆平缓，砂质物源欠缺，形成的水下分流河道砂体具有规模小、宽度窄但延伸长度较远等特征。下面就岔河集水下分流河道型砂体的特征以及对开发的影响进行详细的分析和研究，增强对岔河集油藏内部构造的认识，对其合理开发提供指导。

## 1 水下分流河道砂体特征

### 1.1 单砂体厚度特征

岔河集油田东营组至沙河街组，纵向沉积厚度大，以砂泥岩地层为主，但砂体相对欠发育。统计该油田1166口井的钻测井资料，共计钻遇45525个单砂体，平均单井钻遇砂体数为38.8个。砂体厚度最小为0.5 m(小于0.5 m的单砂体只做参考值)，最大厚度为20.6 m，平均厚度只有2.95 m。

从砂体厚度分布直方图上看(图1)，以1~2 m之间的砂体数量最多，占总数的30.97%，其次为2~3 m的砂体和3~4 m的砂体，分别占29.95%

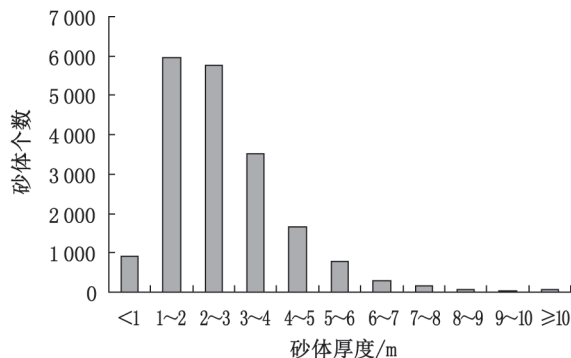


图1 岔河集油田钻遇单砂体厚度分布特征

Fig.1 Chaheji oilfield drilling distribution of single sand body thickness characteristics

和18.33%，4~5 m厚度的单砂体占8.69%，这四个厚度级别的砂体占总数达到87.94%。可见岔河集单砂体厚度绝大部分分布在1~5 m之间，单砂体的厚度普遍较小。

### 1.2 水下分流河道规模

对于河道型砂体，可以通过以下经验公式来确定河道的宽度<sup>[10-11]</sup>：

舒姆(Schumm)关系式：

$$W/h=255M^{-1.08} \quad (1)$$

中科院地理研究所关系式：

$$W/h=157M^{-0.9} \quad (2)$$

以上两式中： $M$ 为粉泥质含量百分比(%)； $h$ 为河道深度(砂体厚度×压实比，砂岩压实比取1.1)； $W$ 为河道宽度。

根据岩心分析，岔河集油田砂体中粉泥质含量分布在5%~25%之间，主要含油砂体的粉泥质含量则分布在10%~15%。根据计算公式(1)、(2)，岔河集油田浅水三角洲水下分流河道的宽度集中分布在50~150 m之间(图2、图3)，并且从实际钻遇的河道砂体厚度数据统计看(图1)，大部分单砂体厚度都小于4 m，因此，单个水下分流河道的宽度以小于100 mm为主，宽厚比普遍低于30倍，与

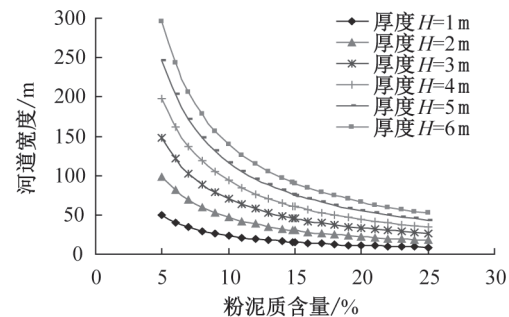


图2 舒姆关系式计算的河道宽度图

Fig.2 A river width map calculated by a companion formula

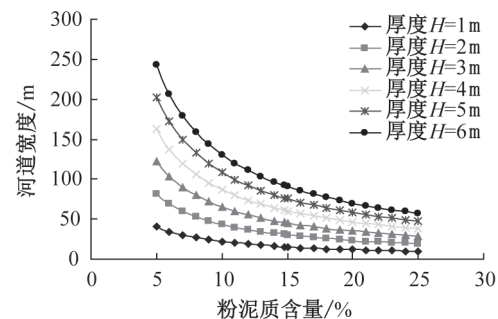


图3 中科院地理研究所关系式计算的河道宽度图

Fig.3 River width map for relational calculations by the Institute of geography of CAS

我国其它地区顺直型分流河道的规模大致相当<sup>[1]</sup>。

### 1.3 油砂体规模

由于岔河集水下分流河道型砂体纵向厚度小,平面宽度窄,并且受到复杂断层的影响,其砂体原油充满系数低(仅5%~10%),导致油砂体平面分布规模很小。根据对岔河集南部二次开发试验区的511个油砂体的统计(图4),绝大部分油砂体含油面积在0.1 km<sup>2</sup>以下,共457个,占总数的89.43%;其中含油面积小于0.04 km<sup>2</sup>的油砂体总数达到289个,占56.56%。

根据油砂体储量计算结果统计(图5),单个油

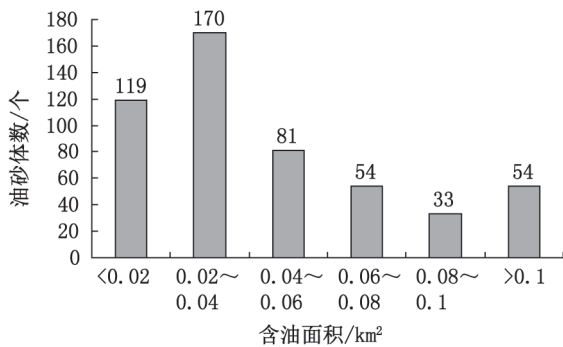


图4 岔河集试验区油砂体含油面积分布直方图

Fig.4 Chaheji test area of oil sand oil area histogram

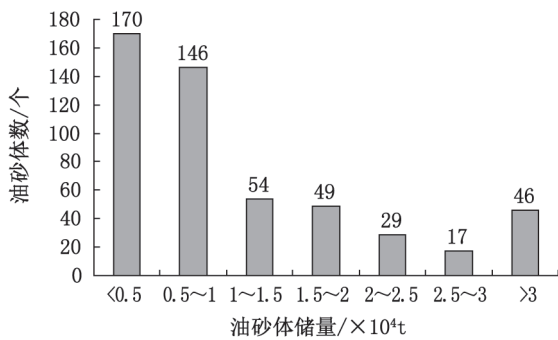


图5 岔河集试验区油砂体储量分布直方图

Fig.5 The test area of oil sand reserves distribution histogram

Chaheji

砂体储量普遍偏低,储量小于1×10<sup>4</sup> t的油砂体个数为316个,占总数的61.84%,大于3×10<sup>4</sup> t的油砂体个数只有46个,仅占总数的9%。整体上看,岔河集油田油砂体的规模非常小。

## 2 砂体特征对开发的影响

### 2.1 对砂体连通特征的影响

岔河集油田基础井网井距在300 m以上,一次加密后井距缩小到200 m左右,部分地区二次加密后井距则缩小到150 m以内。但即使经过二次加密,井距仍然大于100 m,对水下分流河道的控制有限,造成钻遇砂体的井间连通程度不高。

C15-53井与C15-54井之间的基础井网井距为365 m,井距远大于河道的宽度;一次加密钻井后,与加密井C15-145井的井距缩小到223 m和183 m;后又在C15-145井和C15-53井之间进行二次加密,加密后井距缩小到110 m左右(图6)。

基础井网C15-53井和C15-54井相同层位发育的砂体数都为13个,但连通的砂体只有2个,都为油砂体,两井之间的砂体连通率为15.4%。其中C15-53井发育油砂个体数为10个,油砂体连通率为20%;C15-54井发育油砂个体数为12个,油砂体连通率16.7%,说明基础井网的连通情况比较差。

一次加密:加密后井距缩小至200 m左右,加密井C15-145井钻遇砂体数16个,油砂体数15个。相对基础两井砂体增加8个,油砂体增加8个。相对C15-53井新增钻遇砂体11个,油砂体10个;相对C15-54井新增钻遇砂体11个,油砂体11个。这说明加密井新增钻遇的砂体和油砂体个数都有所增加,砂体和油砂体厚度也有所增加,既新增了储量,又提高了储量的控制程度。同时也说明基础井网井距偏大,很多水下分流河道砂体难以控制。

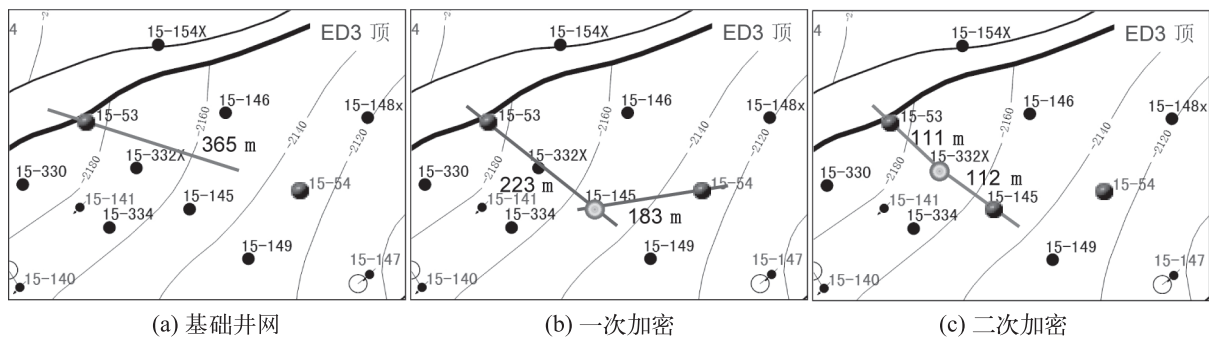


图6 C15-53井区加密情况图

Fig.6 C15-53 well area encryption diagram

一次加密后砂体连通情况：与基础两井同时连通的砂体只有2个，都为油砂体，砂体和油砂体连通率仅为12.5%和13.3%。与C15-53井砂体和油砂体连通个数都为5个，砂体和油砂体连通率分别为31.3%和33.3%；与C15-54井砂体连通个数为6个，油砂体连通个数为5个，砂体和油砂体连通率分别为37.5%和33.3%；一次加密后加密井与基础井之间的砂体和油砂体连通程度都有所提高，但整体上看连通性仍然比较低。

二次加密：加密后井距缩小至110 m左右，加密井C15-332井钻遇砂体数19个，油砂体数9个，相对两邻井砂体增加7个，油砂体增加3个；相对C15-53井砂体增加15个，油砂体增加8个；相对C15-145井砂体增加9个，油砂体增加4个。这说明尽管二次加密井距缩小到110 m，砂体和油砂体个数仍然有所增加，即在200 m左右的井距下，很多砂体仍然无法控制。

二次加密后砂体连通情况：与两邻井的同时连通的砂体只有2个，都不是油砂体，砂体和油砂体连通率仅为10.5%和0。与C15-53井的连通特征：砂体连通个数为4个，油砂体连通个数只有1个，砂体和油砂体连通率分别为21.1%和11.1%；与C15-145井的连通特征：砂体连通个数为9个，油砂体连通个数为5个，砂体和油砂体连通率分别为47.2%和55.6%；二次加密后相对C15-145井连通程度有所提高，但相对C15-53井连通程度仍然比较低，说明井距加密到100 m左右后对砂体的控制程度依然不高。

### 2.2 对油砂体注采关系的影响

岔河集油田水下分流河道砂体宽度窄，砂体连通关系比较差，即使井距加密到100 m左右，仍然有部分砂体难以控制，造成现有的注采井网系统不完善。

以岔河集油田二次开发试验区东三段油砂体为例，从目前井网控制程度看，无注采关系的油砂体则占65.62%，其中有采无注油砂体个数为233个，有注无采油砂体59个。能形成注采关系的砂体为153个，占总油砂体总数的34.38%，其中注采井网较完善的油砂体20个，只占有注采关系油砂体的13.07%；其它只能形成三点法或两点法的注采系统，其中两点法注采系统最多，占一半以上。因此，试验区目前油砂体注采井网系统并不完善。

虽然注采井网不完善，但根据示踪剂监测和产吸剖面等动态资料分析，大部分注采井组的油井和水井都能形成多向见效的特征。通过对比岔河集油田砂体及油砂体特征的认识及综合分析，这种多向见效并不是同一个油砂体形成的，而是由于采用多个油层合层开发，不同油层不同方向见效而造成的假象，其实质还是三点法或者两点法注采关系。

如图7(a)所示，C油井与A、B、D注水井形成多向见效，但实际情况是在①号油砂体与A井形成的两点法注采关系，在②号油砂体与B和D井形成三点法注采关系；同理水井多向见效也是类似的特征(图7(b))。我国陆相砂岩油藏普遍为多层状，开发也采用合层笼统的开发方式，这种油水井多方向见效的假象常见，也是造成层间和平面矛盾突出的主要原因，需要进一步研究解决这种矛盾的办法，提高此类油藏的水驱动用程度。

### 2.3 对剩余油分布的影响

研究表明，水下分流河道砂体特征对剩余油的分布有重要影响<sup>[12-14]</sup>。由于岔河集油田砂体连通关系差，难以形成比较完善的注采井网，导致大部分油砂体水驱动用程度低，剩余油分布广泛。

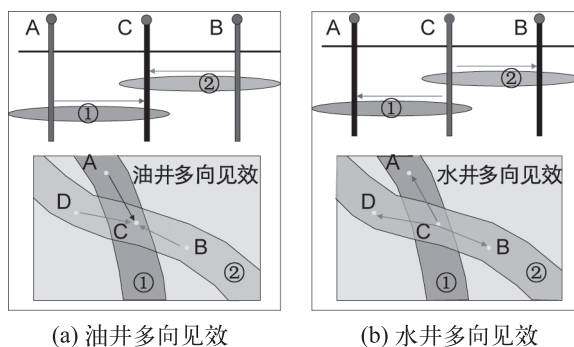


图7 油水井多向见效关系假象图

Fig.7 False positive diagram of oil-water well effect relationship

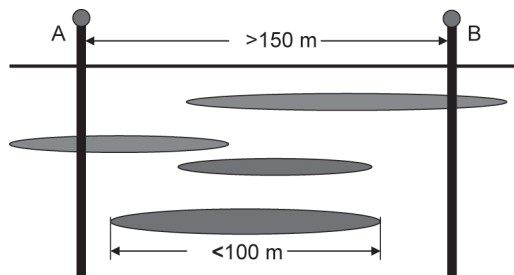


图8 现有井网没有控制住的透镜状油砂体  
Fig.8 The existing lenticular oil sand bodies are not controlled by the existing well pattern



样 D 中根据不同的回归周期预测最大石墨尺寸的示意图。可见,通过 SEV 极值统计方法能够预测出不同体积下铸铁中最大石墨尺寸,并作为铸铁生产过程中控制石墨尺寸的依据。

### 2.3 疲劳极限预测

对于高周疲劳,铸铁材料的裂纹通常从石墨处萌生,作为裂纹源的石墨尺寸决定着铸铁材料的疲劳性能。将上述步骤预测得到的铸铁试样中的石墨的最大尺寸( $\sqrt{\text{area}_{\max}}$ )代入式(9)中,即可预测其疲劳强度,疲劳强度随石墨尺寸的变化规律示意图见图 11。可见,对于三种裂纹源位置(内部、表面和亚表面),疲劳强度均随着石墨尺寸的增加而降低,其中亚表面石墨对应的疲劳强度最小。本工作对承受循环载荷铸铁构件的疲劳强度估计和寿命预测具有重要的现实意义和指导意义<sup>[9]</sup>。

## 3 结论

铸铁材料中的石墨尺寸服从极值统计分布规律,根据极值统计分布可预测材料中的最大石墨尺寸进而预测该材料的疲劳强度。随着母体体积的增大,铸铁中石墨尺寸随之增大,而疲劳强度降低。

### 参考文献:

- [1] 郝石坚.现代球墨铸铁[M].北京:煤炭工业出版社,1989.
- [2] 彭建中,刘玲霞.大型风电球墨铸铁件的超声波检测技术[J].中国学术期刊电子杂志,2010(7):539-546.
- [3] YOSHIMICHI Murakami.National Institute of Advanced Industrial Science and Technology[J].Japanese Journal of Applied Physics,1994(5):99-313.
- [4] ATKINSON H V.Microstructure and Mechanical Properties of 7005 Aluminum Alloy Components Formed by Thixoforming [J].American Studies Journal,2003:48-457.
- [5] GUMEL E J.Statistics of Extremes[M].New York:Columbia University Press,1957.
- [6] 张秀芝.Weibull 分布参数估计方法及其应用[J].气象学报,1996,54(1):108-116.
- [7] MILLER K J.Fatigue FractEng Mater Struct[M].Microscopy Research and Technique,1999.
- [8] YUKITAKA Murakami.Metal Fatigue: Effects of Small Defects and Nonmetallic Inclusions[M].AmaterdamElsevier,2002.
- [9] 张继明,张建锋,杨振国,等.高强度中最大夹杂物的尺寸估计与疲劳强度预测[J].金属学报,2004,40(8):846-850.

(责任编辑 王利君)

(上接第 98 页)报,2001,22(1):72-77.

- [8] 冯其红,陈存良,王森,等.岔河集油田井间动态连通性研究[J].科学技术与工程,2013,13(9):2326-2330.
- [9] 王晓芬,袁克峰,王忠生,等.岔河集油田开发调整的主要做法与成效[J].海洋石油,2003,23(3):63-68.
- [10] 薛培华.河流点坝相储层模式概论[M].北京:石油工业出版社,1991:112-115.
- [11] 马世忠,王一博,崔义,等.油气区水下分流河道内部建筑结构模式的建立[J].大庆石油学院学报,

2006,30(5):1-3.

- [12] 徐慧,林承焰,雷光伦,等.水下分流河道单砂体剩余油分布规律与挖潜对策[J].中国石油大学学报:自然科学版,2013,37(2):14-20.
- [13] 林承焰,余成林,董春梅,等.老油田剩余油分布—水下分流河道岔道口剩余油富集[J].石油学报,2011,32(5):829-834.
- [14] 肖洪伟.喇萨杏油田水下分流河道砂体剩余油分布研究[J].西南石油大学学报:自然科学版,2008,30(3):167-170.

(责任编辑 王利君)