

·油气采收率·

## 断块油藏高含水期分区井网调控技术

杨勇<sup>1</sup>,许鹏<sup>2</sup>,王建<sup>1</sup>,刘维霞<sup>1</sup>,吴义志<sup>1</sup>,崔传智<sup>2</sup>

(1.中国石化胜利油田分公司勘探开发研究院,山东东营 257015; 2.中国石油大学(华东)石油工程学院,山东青岛 266580)

**摘要:**针对断块油藏不同区域开发对策不同的特点,提出分区井网调控技术。综合考虑断块油藏的构造、渗流等特征进行 I 级分区,划分为夹角控制区、断层(断棱)控制区和井网控制区共 3 类 8 种区域;根据各分区剩余油富集程度对断块油藏进行 II 级分区,分为剩余油富集区、剩余油弱富集区、水淹区和强水淹区。在对不同分区剩余油富集特征及控制因素分析的基础上,确定各分区井网调控方式。将不同类型的断块油藏看作是由不同类型的分区组合而成,进一步确定各分区的组合开发方式为:采油井部署在构造高部位、临近断层、靠近 2 条断层夹角的顶点,注水井采用边外注水,油、水井部署宜采用交错井网。将分区井网调控技术应用于辛 10 断块,采用油藏数值模拟方法预测,10 a 累积增油量为  $2.53 \times 10^4$  t,提高采收率 4.6%。

**关键词:**断块油藏 高含水期 分区方法 剩余油 井网调控技术

中图分类号:TE347

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2016)06-0052-05

## Partitioned control technique of well pattern for fault-block reservoirs at high water cut stage

Yang Yong<sup>1</sup>, Xu Peng<sup>2</sup>, Wang Jian<sup>1</sup>, Liu Weixia<sup>1</sup>, Wu Yizhi<sup>1</sup>, Cui Chuazhi<sup>2</sup>

(1. Research Institute of Exploration and Development, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257015, China; 2. School of Petroleum Engineering, China University of Petroleum (East China), Qingdao City, Shandong Province, 266580, China)

**Abstract:** Based on the feature that the development methods of the fault-block reservoir vary in different parts, a partitioned control technique of well pattern was put forward. Considering the structural and flowing characteristics of the fault block reservoirs, the first level of reservoir partitioning technique was established, and the reservoir can be divided into 8 parts generally which can be summarize into 3 patterns: angle controlled region, fault controlled region and well controlled region. According to the distribution of remaining oil, the second level of reservoir partitioning was divided into enriched area of remaining oil, weak enriched area of remaining oil, water-flooded area and strong water-flooded area. Then the well pattern partitioned control method for different regions was determined based on analyzing remaining oil characteristics and control factors. Different kinds of fault block reservoir can be seen as a combination of different types of regions, and the combined development method can be further determined: the production well should be deployed in structure high site near the fault and close to the vertex of the angle between two faults, and the injection well ought to inject outside the edge using staggered line-drive pattern. This technique was applied to Xin10 fault block with good results, and the 10-year cumulative increased oil will be  $2.53 \times 10^4$  t and EOR will be 4.6% after it was predicted by numerical simulation.

**Key words:** fault-block reservoirs; high water cut stage; partitioning method; remaining oil; well pattern control technique

收稿日期:2016-07-20。

作者简介:杨勇(1971—),男,河南遂平人,教授级高级工程师,博士,从事油气田开发技术研究及管理工作。联系电话:13963375606, E-mail: yangyong.slyt@sinopec.com。

基金项目:国家科技重大专项“胜利油田特高含水期提高水驱采收率技术”(2016ZX05011002-003)。

断块油藏的构造复杂、断层发育,进入特高含水期后其剩余油分布特征也很复杂<sup>[1-4]</sup>,且不同区域的剩余油分布特征存在差异,相应的各区域的剩余油挖潜对策亦不同<sup>[5-8]</sup>。因此,针对断块油藏各区域的储层地质特征及剩余油富集特征,提出断块油藏高含水期分区井网调控技术。

目前针对断块油藏剩余油挖潜对策的研究较多<sup>[2-15]</sup>。其中,郑爱玲等提出将研究单元细化到油砂体的剩余油精细挖潜方法<sup>[3]</sup>;张建良等针对窄条状断块油藏,提出老井开窗侧钻辅以水平井组合开发方式<sup>[6]</sup>;窦松江等提出以单砂体或流动单元为挖潜调整对象,进行层系、井网重组,改变液流方向并进行重复射孔、压裂等工艺措施,取得了较好的效果<sup>[9]</sup>。但是研究成果主要是针对某一断块类型,对同一断块内部不同区域的井网调控技术的研究成果却相对较少。为此,以东辛油田永3断块油藏为例,根据其储层、井网及剩余油分布等特征,建立断块油藏分区方法。通过研究各分区的剩余油富集特征,确定断块油藏分区井网调控方式和各分区组合开发方式。

## 1 分区方法

首先,根据构造特征对断块油藏进行Ⅰ级分区;然后,根据Ⅰ级分区的剩余油富集程度及分布特征,对油藏进行Ⅱ级分区。以东辛油田永3断块油藏为例(图1),该断块油藏四周被断层遮挡,形状近似为梯形。根据构造特征和井网的配置关系,在平面上将永3断块油藏划分为夹角控制区、断层(断

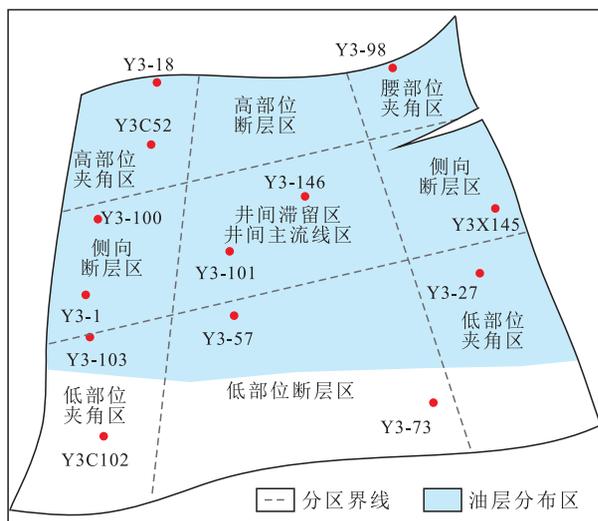


图1 东辛油田永3断块油藏Ⅰ级分区结果

Fig.1 First level of partitioning of Yong3 fault-block reservoir in Dongxin oilfield

棱)控制区及井网控制区共3类。其中,根据不同的构造位置,可将夹角控制区细分为构造高部位夹角区、构造腰部位夹角区和构造低部位夹角区共3种类型;断层(断棱)控制区可细分为构造高部位断层区、构造腰部侧向断层区和构造低部位断层区共3种类型;井网控制区可细分为井间滞留区和井间主流线区共2种类型。

在Ⅰ级分区的基础上,根据各分区的剩余油富集程度,对永3断块油藏进行Ⅱ级分区。参考岩心水洗级别标准,根据驱油效率将Ⅰ级分区进一步细分为剩余油富集区(驱油效率小于10%)、剩余油弱富集区(驱油效率为10%~20%)、水淹区(驱油效率为20%~40%)和强水淹区(驱油效率大于40%)。

永3断块油藏的分区方法同样适用于其他类型的断块油藏,但分区的类型和数量存在差异。例如对于半开启型断块油藏,由于其构造低部位为边水,因此该油藏不存在构造低部位断层区和构造低部位夹角区。

## 2 高含水期剩余油分布特征

### 2.1 夹角控制区

在断块油藏的构造高部位夹角区和构造腰部位夹角区附近通常会部署1口采油井,受夹角两侧断层遮挡作用及采油井截留作用的控制,注入水难以波及至采油井与断层之间的区域,造成夹角控制区剩余油富集,且越靠近2条断层的夹角控制区,剩余油富集程度越高。

受重力作用影响,相同条件下断块油藏构造腰部位夹角区的剩余油富集程度差于构造高部位夹角区,构造低部位夹角区的剩余油富集程度差于构造腰部位夹角区。分析辛10断块油藏的剩余油分布统计结果可知,其构造高部位夹角区的平均剩余油饱和度为0.51,构造腰部位夹角区的平均剩余油饱和度为0.46。

### 2.2 断层(断棱)控制区

由于封闭断层的遮挡作用,在断层(断棱)控制区主要受地层倾角、采油井和注水井位置以及水体能量大小等因素的影响,注入水难以波及至断层附近,导致断块油藏断层(断棱)控制区的剩余油富集,且越靠近断层,剩余油富集程度越高。同样受重力作用影响,构造高部位断层区、构造腰部侧向断层区的剩余油富集程度相对较高,存在剩余油富集区或弱富集区;构造低部位断层区在注水开发后

期的剩余油分布相对较少,为水淹区或强水淹区。

### 2.3 井网控制区

对于断块油藏井网控制区,受注采井网类型、井距大小和储层非均质程度的影响,在井间滞留区剩余油相对富集,一般为弱富集区,而井间主流线区一般为水淹区或强水淹区。

## 3 分区井网调控技术

根据断块油藏各分区的剩余油分布特征及富集规模,可以确定不同分区的井网调控方式。对于剩余油富集区以部署采油井挖潜剩余油为主,对于剩余油弱富集区以部署注水井注水驱油为主,对于井间滞留区的井网调控方式主要通过井网抽稀、转换及注采调整等方式。不同类型断块油藏可以看作是由不同分区组合形成,并且基于不同分区的井网调控方式,提出不同类型断块油藏的组合开发方式。

### 3.1 分区井网调控方式

对于存在剩余油富集区的构造高部位夹角区、构造腰部位夹角区和构造高部位断层区,为有效动用其剩余油,根据油藏工程理论分析和数值模拟结果,确定其剩余油富集区的分区井网调控方式为:以部署采油井挖潜剩余油为主,采油井应临近断层、靠近2条断层夹角的顶点,生产制度宜采用周期采油,对应注水井应在构造低部位注水开发。该方式可以扩大水驱波及范围,充分利用储层弹性能,降低剩余油富集区的剩余油饱和度。

对于存在剩余油弱富集区和水淹区的构造低部位夹角区和构造低部位断层区,确定的分区井网调控方式为:以部署注水井注水驱油为主,注水井应临近断层、靠近2条断层夹角的顶点,井网形式采用交错井网,生产制度宜采用交替注水。该方式可以扩大水驱波及范围,降低剩余油弱富集区的剩余油饱和度,提高剩余油驱替效率。

对于存在剩余油弱富集区的井间滞留区,确定其分区井网调控方式为:主要通过井网抽稀、转换以及注采调整等方式改变固有的水流流线方向,采出剩余油。例如通过井网抽稀、转换,将五点法基础井网调整为行列井网,使得水流方向旋转45°(图2),在保持采液强度不变的条件下,提高剩余油采收率为3.03%。

### 3.2 不同类型断块油藏组合开发方式

对于不同类型的断块油藏,由于同时受不同的

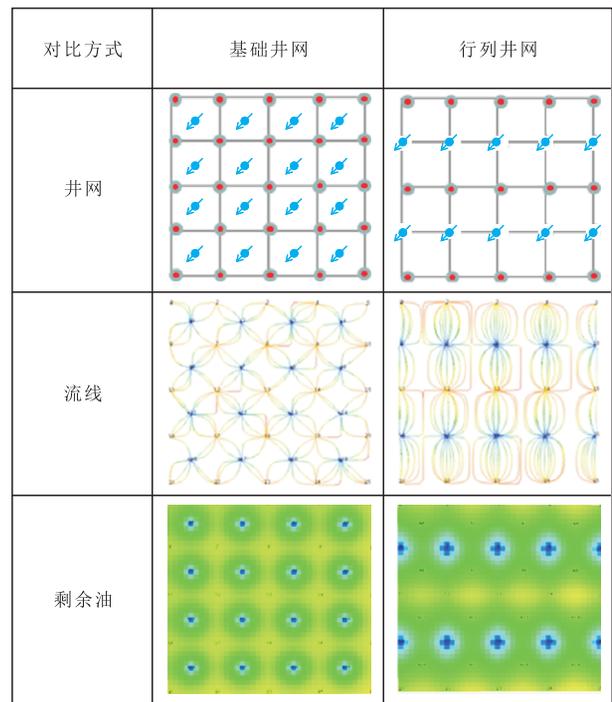


图2 五点法基础井网抽稀、转换前后效果对比

Fig.2 Effect comparison before and after rarefying and conversion for five-spot well pattern

控制因素影响,存在不同的分区,可以看作是由不同类型分区组合形成的断块油藏。因此,基于各分区的井网调控方式,提出针对不同类型断块油藏的组合开发方式。

屋脊式断块油藏可以看作是由构造高部位断层区和底水区构成。扇形开启型断块油藏可以看作是由构造高部位夹角区和底水区构成。根据构造高部位断层区和构造高部位夹角区的井网调控方式,确定屋脊式和扇形开启型断块油藏的组合开发方式为:采油井临近断层部署,靠近2条断层夹角的顶点,注水井采用边外注水,采油井和注水井宜采用交错井网部署。

四周封闭型条带状断块油藏可以看作是由夹角控制区和断层(断棱)控制区组成。其组合开发方式为:采油井和注水井宜采用交错井网部署,采油井部署于构造高部位,临近断层,靠近2条断层夹角的顶点,而在构造低部位和条带的中心部位,则部署注水井注水开发。

对于半开启型断块油藏,同时存在构造高部位断层区、构造腰部侧向断层区、构造高部位夹角区和底水区。其组合开发方式为:开发前期在靠近断层夹角区的顶点、临近断层处部署采油井,采用边外交错井网注水;开发中期在构造腰部侧向断层区部署采油井转注;开发后期在构造高部位部署采油井加密(图3)。

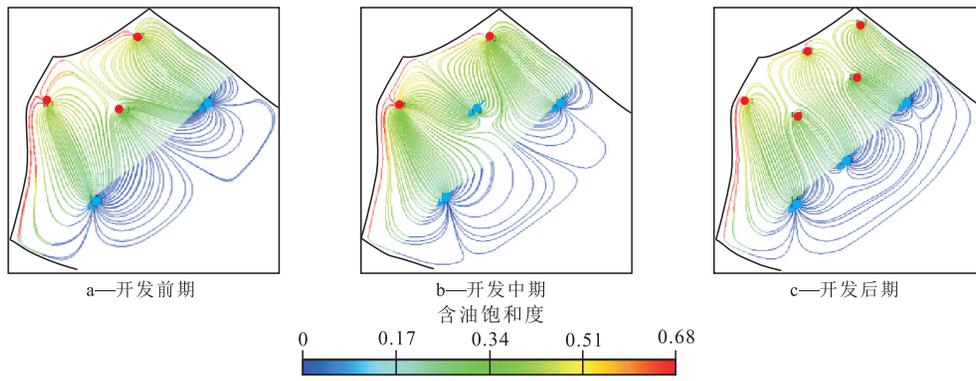


图3 半开启型断块油藏组合开发方式

Fig.3 Well pattern control method of semi-open fault-block reservoir

### 4 应用效果分析

辛10断块为北、东、西3面均被断层遮挡、地层东南倾的反向屋脊断块。主要含油层系为沙二段,探明含油面积为2.5 km<sup>2</sup>,探明石油地质储量为1 174.7×10<sup>4</sup> t,可采储量为540×10<sup>4</sup> t,储层平均渗透率为738×10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup>,油层厚度为32.8 m,目前采收率为42.4%。

选取辛10断块主力含油小层沙二段11-2小层为分区井网调控对象。根据其构造及剩余油分布

特征,重点对存在于构造高部位夹角区、构造腰部位夹角区和构造腰部侧向断层区的剩余油富集区和弱富集区进行调控。综合各分区的井网调控方式,对于构造腰部侧向断层区开启老采油井4口、老注水井1口,其中2口采油井转注,形成三注两采局部注采井网。对于构造腰部位夹角区开启老采油井2口、老注水井2口,其中1口采油井转注;此外,部署1口新采油井,形成三注两采局部注采井网。对于构造高部位夹角区,其剩余油富集程度较高,开启1口老采油井,新部署1口注水井,形成平面上—注—采的局部注采井网(图4)。

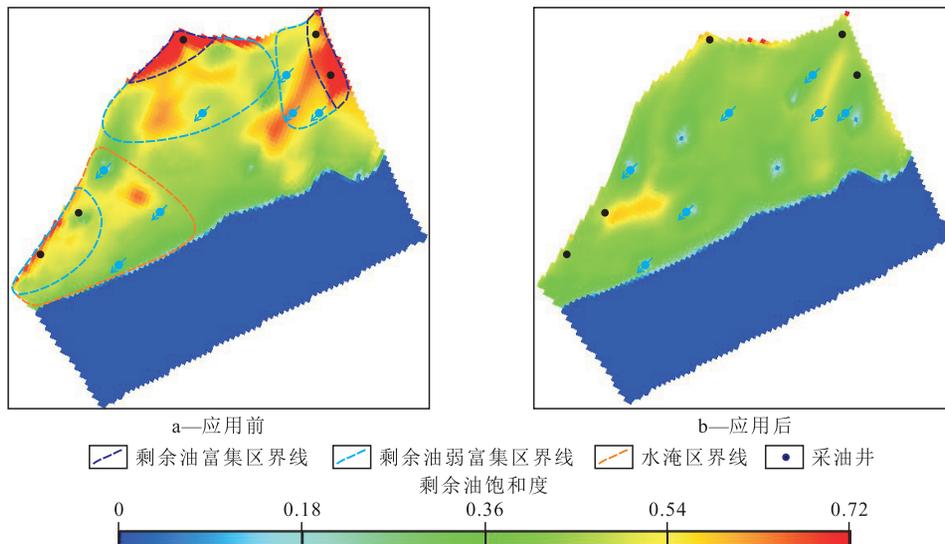


图4 辛10断块沙二段11-2小层分区井网调控技术应用前后剩余油分布

Fig.4 Remaining oil distribution of Es<sub>2</sub>11-2 before and after partitioned control in Xin10 fault block

采用油藏数值模拟方法对辛10断块分区井网调控技术的应用效果进行预测,结果表明,在研究区共开启老采油井10口,新部署采油井和注水井各1口,10 a累积增油量为2.53×10<sup>4</sup> t,提高采收率为4.6%,应用分区井网调控技术后的剩余油饱和度明显降低。

### 5 结论

根据断块油藏的地质、构造及剩余油富集特征,提出断块油藏2级分区方法。对同一断块油藏进行I级分区,划分为夹角控制区、断层(断棱)控

制区以及井网控制区共3类8种区域;进一步进行Ⅱ级分区,将油藏细分为剩余油富集区、剩余油弱富集区、水淹区和强水淹区。各分区受构造、井网等因素的影响,其剩余油富集程度存在差异。构造高部位夹角区、构造腰部位夹角区、构造高部位断层区、构造腰部侧向断层区一般存在剩余油富集区和剩余油弱富集区,构造低部位夹角区和构造低部位断层区一般存在水淹区和强水淹区。根据各分区的储层、构造及剩余油富集特征,确定分区井网调控方式。对于不同类型的断块油藏,可以看作是由不同类型分区组合形成;因此,基于各分区的井网调控方式,提出针对不同类型断块油藏的组合开发方式,形成断块油藏分区井网调控技术。

#### 参考文献:

- [1] 程世铭,张福仁.东辛复杂断块油藏[M].北京:石油工业出版社,1997:56-58.  
Cheng Shiming, Zhang Furen. Dongxin complicated fault block reservoir[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 56-58.
- [2] 王端平,杨勇,牛栓文,等.东辛复杂断块油藏层块分类评价方法与调整对策[J].油气地质与采收率,2012,19(5):84-87.  
Wang Duanping, Yang Yong, Niu Shuanwen, et al. Layer block classification evaluation and adjustment of complicated fault block oil reservoir[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(5): 84-87.
- [3] 郑爱玲,王新海,刘德华.复杂断块油藏高含水期剩余油精细挖潜方法[J].石油钻探技术,2013,41(2):99-103.  
Zheng Ailing, Wang Xinhai, Liu Dehua. Method to tap remaining oil in complex fault-block reservoirs at high water cut stage[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(2): 99-103.
- [4] 胡书勇,张烈辉,张崇军,等.复杂断块油藏高含水期剩余油挖潜调整技术研究[J].西南石油学院学报:自然科学版,2005,27(3):29-31.  
Hu Shuyong, Zhang Liehui, Zhang Chongjun, et al. Potentials tapping and adjusting technology of residual oil distribution in high water-cut stage in complicated fault-block reservoir[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute: Science & Technology Edition, 2005, 27(3): 29-31.
- [5] 杨海博,张红欣,孙志刚,等.边水断块油藏三维物理模拟实验[J].大庆石油地质与开发,2015,34(2):77-80.  
Yang Hai-bo, Zhang Hongxin, Sun Zhigang, et al. 3D physical simulation experiment on the fault-block oil reservoir with edge water[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2015, 34(2): 77-80.
- [6] 张建良,尤启东.窄条状断块油藏剩余油挖潜技术应用研究[J].石油天然气学报,2008,30(2):124-126.  
Zhang Jianliang, You Qidong. Technique for tapping the potential of remaining oil in narrow-strip faulted reservoirs[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2008, 30(2): 124-126.
- [7] 李涛,姜汉桥,肖康,等.沙埕油田沙20东断块窄条状边水油藏有效注水模式[J].油气地质与采收率,2014,21(3):78-81.  
Li Tao, Jiang Hanqiao, Xiao Kang, et al. Study on effective water-flooding development system of narrow strip reservoir with edge water in east Sha20 fault block of Shanian oilfield[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(3): 78-81.
- [8] 王建.注采耦合技术提高复杂断块油藏水驱采收率——以临盘油田小断块油藏为例[J].油气地质与采收率,2013,20(3):89-91.  
Wang Jian. Research on unstable injection-production to improve oil recovery in complicated fault block of Shengli oilfield—case study of fault block oil reservoirs in Linpan oilfield[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(3): 89-91.
- [9] 窦松江,周嘉玺.复杂断块油藏剩余油分布及配套挖潜对策[J].石油勘探与开发,2003,30(5):90-93.  
Dou Songjiang, Zhou Jiayi. Remained oil distribution in complicated faulted blocks and its accessory potential exploitation measures[J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(5): 90-93.
- [10] 冯其红,王相,王端平,等.水驱油藏均衡驱替开发效果论证[J].油气地质与采收率,2016,23(3):83-88.  
Feng Qihong, Wang Xiang, Wang Duanping, et al. Theoretical analysis on the performance of equilibrium displacement in water flooding reservoir[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2016, 23(3): 83-88.
- [11] 崔传智,万茂雯,李凯凯,等.复杂断块油藏典型井组注采调整方法研究[J].特种油气藏,2015,22(4):72-74.  
Cui Chuanzhi, Wan Maowen, Li Kaikai, et al. Injection-production adjustment of typical wellgroup in complicated fault-block reservoirs[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2015, 22(4): 72-74.
- [12] 李雪松,宋保全,姜岩,等.特高含水老油田断层附近高效井优化设计[J].大庆石油地质与开发,2015,34(1):56-58.  
Li Xuesong, Song Baoquan, Jiang Yan, et al. Optimized design of high-efficiency adjusting wells near the faults of high-watercut mature oilfield[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2015, 34(1): 56-58.
- [13] 崔传智,杨赤宸,牛栓文,等.复杂断块油藏高含水期合理井距确定方法及其影响因素[J].油气地质与采收率,2013,20(4):53-56.  
Cui Chuanzhi, Yang Chichen, Niu Shuanwen, et al. Determination of reasonable well spacing and influencing factors for the complicated fault-block reservoirs at high water cut stage[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(4): 53-56.
- [14] 张戈,王端平,孙国,等.复杂断块油藏人工边水驱影响因素敏感性[J].油气地质与采收率,2015,22(2):103-106,111.  
Zhang Ge, Wang Duanping, Sun Guo, et al. Sensibility study on influencing factors of artificial edge water flooding in complex fault-block reservoir[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(2): 103-106, 111.
- [15] 刘丽杰.胜坨油田特高含水后期矢量开发调整模式及应用[J].油气地质与采收率,2016,23(3):111-115.  
Liu Lijie. Vector development adjustment modes and its application in late extra-high water cut stage of Shengtuo oilfield[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2016, 23(3): 111-115.