

文章编号:0253-2697(2006)增刊-0133-04

高含水后期多层砂岩油田单砂体 注采关系完善程度评价

石成方 齐春艳 杜庆龙

(大庆油田有限责任公司勘探开发研究院 黑龙江大庆 163712)

摘要: 针对多井网、多油层非均质砂岩油田油水井数多、井网间开发层系相互交叉、注采关系复杂的特点,如何及时、客观、准确评价单砂体水驱控制程度是高含水后期精细挖潜的技术保证。在精细地质研究的基础上,通过对影响单砂体注采关系因素分析,利用近年来大庆油田检查井资料及统计学方法,提出单砂体注采关系完善程度评价方法。该方法具有标准统一、客观性强、准确程度高的特点,为多井网、多油层油田单砂体注采关系完善程度及潜力评价提供了有效途径,在大庆油田区块调整、综合治理、措施井层优选中得到较好应用。

关键词: 高含水后期;多层砂岩油田;单砂体;注采关系;完善程度;水驱控制程度

中图分类号:TE314

文献标识码:A

Evaluation on injection-production relationship of single sandbody in multiple-layer sandstone oilfields in later high water cut stage

Shi Chengfang Qi Chunyan Du Qinglong

(Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Daqing Oilfield Company Ltd., Daqing 163712, China)

Abstract: Aiming at heterogeneous sandstone oilfield with multiple-well pattern and multiple-layer being featured with large amount of oil/water wells, intercrossing between well patterns and with complex injection-production relationship, how to evaluate objectively and accurately single sandbody water-flooding control degree on time is technical assurance for fine analysis in later high water cut stage. Based on fine geologic study and analysis on factors that affect single sandbody injection-production relationship, the evaluation method of improving injection-production relationship in single sandbody is proposed by inspection well data and statistics method in Daqing Oilfield in recent years. This method is featured by uniform criteria, strong objectivity and high accuracy, and provides an effective way to evaluate the potentialities and improved degree of injection-production relationship for single sandbody in multiple-well pattern and multiple-layer oilfield. The good effect has been made by this method in block adjustment, comprehensive treatment, and stimulating wells and layer optimization in Daqing Oilfield.

Key words: later high water cut stage; multiple-layer sandstone oilfield; single sandbody; injection-production relationship; improved degree; water flooding control degree

大庆油田是个多油层、非均质严重的大型砂岩油田,其复杂的地质特征决定在开发过程采取多次布井、多次调整的开发方式^[1]。这样的开发方式一方面不断地提高了油田采收率、改善了油田开发效果,同时也暴露了一些问题,其中最主要问题之一是各套井网间相互交叉、相互影响,使得油水井间注采关系不断变化,而且随着油水井数的不断增多,这种影响将越来越严重,无法及时、准确、客观地评价油水井间注采关系,同时为高含水后期井网调整、措施优选带来

很大困难。针对这一问题,笔者在大庆油田原有精细地质描述技术,即纵向上细分沉积单元、平面上细分沉积相研究成果的基础上,从分析单砂体注采关系影响因素入手,利用近年来大庆油田检查井资料及统计学方法,提出单砂体注采关系完善程度评价方法,利用该方法完成大庆油田 14 个区块的评价工作,揭示了多油层、多套井网条件下砂岩油田单砂体注采状况、井网间的影响程度,并在部分区块调整及单井措施优选中得到应用。

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司重点科技攻关项目(040115)“大庆喇萨杏油田特高含水期水驱优化调整配套技术”部分成果。

作者简介: 石成方,男,1964 年 7 月生,1983 年毕业于大庆石油学院,现为大庆油田勘探开发研究院高级工程师,中国地质大学在读博士研究生,主要从事油田开发研究工作。E-mail:shichengfang@petrochina.com.cn

1 单砂体注采完善程度评价方法

1.1 概念的提出

以往在油田开发中,均采用水驱控制程度的高低反映油田开发效果,水驱控制程度是水驱储量控制程度的简称,是指在油田开发中,受到天然能量(边水或底水)或人工注入水驱动的储量与地质储量之比。在实际工作中,为了减少统计工作量,通常用下式表示:

$$E_w = \frac{\sum_{i=1}^m h_i}{\sum_{j=1}^n H_j} \times 100\%$$

式中 E_w 为水驱控制程度,%; $\sum h_i$ 为油井与注水井连通油层的厚度,m; $\sum H_j$ 为油井钻遇油层的总厚度,m。

即用与注水井连通厚度与油层总厚度比值表示纵向上水驱储量控制程度,用与水井连通的方向数表示平面水驱储量控制的程度,这种统计方式在油田井网单一,油层差异相对较小的情况下比较方便、适用。但是,随着油田开发程度的加深,越来越多的差油层投入开发^[2],各区块一般均有 5~8 套开发井网,油水井连通油层的性质更复杂,由于各套井网的开采对象不能严格分开^[3],井网关系越复杂,注采井距、注水井方向数与井网单一情况下相比都不同,因此,继续用以往水驱控制程度的方法已经不能真实反映油田开发实际,不能满足油田高含水后期精细调整的需要^[4]。本文在前人研究的基础上,并依据精细地质研究成果,即平面上细分到沉积微相、纵向上细分到沉积单元和空间上细分到单砂体,针对大庆油田多油层、多井网、非均质严重的油田,考虑了油水井间连通状况等多种因素,发展和完善了水驱控制程度统计方法,从而更接近根本意义上的水驱储量控制程度,体现了油层中单砂体注采关系完善程度,即单砂体水驱控制程度。

1.2 影响因素

影响单砂体注采关系完善程度的因素较多,也很复杂^[5-6],但主要有油层沉积类型、渗透率、厚度、断层、分析油水井自身砂体发育情况及油水井之间砂体发育情况等地质因素^[7-8];开发因素主要有油水井射孔状况、地下注采井距、开采时间、受效方向、措施时间、分析油井周围其他油井是否射孔及砂体情况等因素,前者是内因,后者是外因,二者综合作用影响着油层中单砂体注采关系完善程度。

1.3 评价方法

(1)控制方向的确定 以精细地质划分的小层为评价单元,以油井为分析对象,按东、西、南、北 4 个方

向评价。同一方向内有 2 口或 2 口以上水井控制,若其夹角在一定范围内,视为一个方向。

(2)不同类型砂体于受效水井距离的确定 利用大庆油田近年密闭取心井水淹资料,建立有效厚度大于等于 1 m、0.5~1.0 m、0.5 m 以下及表外层砂体与油水井之间距离关系图版,如油水井有效厚度为 0.5~1 m 油层,检查井统计结果表明,当油层水洗厚度达到 35%时,检查井与注水井距离为 420 m(图 1)。

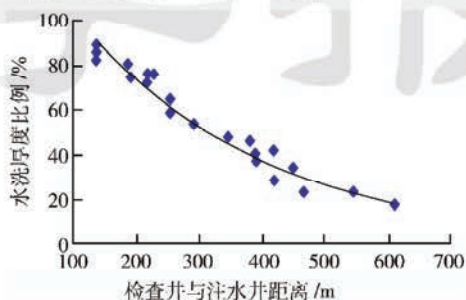


图 1 不同类型砂体水洗厚度比例与注采井距离的关系(有效厚度 0.5~1 m)

Fig. 1 The relationship between the proportion of watering thickness and the distance of injection-production wells in different types of sandbodies

(3)油水井间砂体连通关系确定 根据分析油井和相应注水井所处的砂体类型,以及它们之间有无尖灭区、断层或局部变差(变好)砂体,确定油水井间连通关系。

(4)若注水井同时给周围几口油井注水,要综合考虑油层厚度、砂体类型、井距等因素,进一步分析油井与该注水井周围其他油井的关系;

(5)开采时间的考虑 对于不同时期投产的油水井,虽然油层性质、注采井距相近,但由于开采时间相差 10 年甚至 20 年,难以形成新的注采系统。

(6)该评价过程已经软件化,从单砂体、单井、井网、区块 4 个层次分不同方向及不同厚度对单砂体注采关系状况及潜力多方面进行评价,为单井、单层措施选择及区块、井网调整效果预测提供依据。

2 单砂体注采完善程度评价方法在油田中的应用

喇萨杏油田选取 4 个区块,对单砂体注采完善程度进行了计算和评价,评价结果如下:

2.1 不同开发区单砂体注采完善程度存在差异

由于各开发区油层性质、开发方式和井网密度等的差异,油田北部和南部各开发区之间单砂体注采完善程度相差较大。喇萨杏油田南中块东部井网密度

为 62.2 口/km²,水驱控制程度为最高,砂岩和有效单砂体水驱控制程度均在 90% 以上;而杏四—杏六行列井网为防止套管损坏发生,对一次加密注水井中萨Ⅱ₄及以上油层大量封堵,而二次加密注水井只射开萨Ⅱ₅及以下油层,从而造成目前单砂体水驱控制程度相对较低(表 1)。

表 1 喇萨杏油田典型区块单砂体注采完善程度统计
Table 1 Statistics of improved degree of injection-production system of single sandbody in a representative block in Lasaxing Oilfield

区块名称	基本概况		基础井网		一次加密井		二次加密井		合 计	
	总井数	井网密度/(口·km ²)	砂岩/%	有效/%	砂岩/%	有效/%	砂岩/%	有效/%	砂岩/%	有效/%
南中块东部	783	62.2	91.9	94.6	92.3	93.9	88.7	90.5	90.9	93.0
北三区西部	823	41.5	75.6	78.1	81.7	84.6	84.7	90.4	79.6	82.4
北一区断东	1082	42.2	81.8	84.4	86.9	89.1	86.4	87.8	85.1	86.6
杏四—六行列	897	37.6	73.0	70.7	82.6	85.7	82.6	83.9	79.5	77.9

2.2 各套井网单砂体注采完善程度差异较大

分析各区块(除南中块东部外)各套井网水驱控制程度,加密调整井单砂体水驱控制程度均高于基础井网单砂体水驱控制程度(表 1)。如北一区断东区块基础井网砂岩和有效厚度单砂体水驱控制程度分别为 81.8%和 84.4%,一次加密井砂岩和有效厚度单砂体水驱控制程度分别为 86.9%和 89.1%,二次加密井砂岩和有效厚度水驱控制程度分别为 86.4%和 87.8%,比基础井网单砂体水驱控制程度高近 5%。

2.3 各套井网间的相互影响作用

以北一区断东区块为例,一次加密前,基础井网砂岩和有效厚度单砂体水驱控制程度为 50%,经一、二次加密后基础井网砂岩和有效厚度单砂体水驱控

制程度均提高 15% 以上;一次加密调整井砂岩和有效厚度单砂体水驱控制程度分别为 52.4%和 55.2%,二次加密后一次加密调整井砂岩和有效厚度单砂体水驱控制程度分别提高了 30.3%和 29.8%。

2.4 各类油层加密后单砂体注采完善程度均有不同程度的增加

评价结果表明,各类油层一、二次加密后单砂体水驱控制程度均有不同程度的增加,厚度愈薄的油层单砂体水驱控制程度增加幅度愈大(表 2)。以北一区断东为例,一、二次加密后,有效厚度大于等于 2.0 m 的油层,其有效厚度单砂体水驱控制程度分别提高 10%~12%;有效厚度 1.0~2.0 m 油层,提高 15%~18%;有效厚度 0.5~1.0 m 油层,提高 20%~30%;

表 2 北一区断东区块不同厚度油层单砂体注采完善程度变化统计
Table 2 Statistics of improved degree of injection production system of single sandbody in different thickness oil layers in Beiyiduandong area

阶 段	有效厚度(≥2.0 m)		有效厚度(1.0~2.0 m)		有效厚度(0.5~1.0 m)		有效厚度(<0.5 m)	
	砂岩	有效	砂岩	有效	砂岩	有效	砂岩	有效
基础井网/%	60.9	61.7	53.7	53.1	39.1	39.5	12.7	11.4
一次加密后/%	73.9	74.2	71.7	71.0	69.8	68.9	53.7	52.5
二次加密后/%	84.1	84.1	88.0	87.6	89.4	89.1	81.4	84.7

有效厚度小于 0.5 m 油层,提高 30%~40%。

2.5 多套井网条件下单砂体注采完善程度存在问题

从喇萨杏油田单砂体注采不完善的类型看,主要以有采无注型、无注无采型及砂体变差型 3 种类型为主。其中有采无注型有效厚度比例为 32.2%,无注无采型(油井未射孔)有效厚度比例为 24.0%,砂体变差型有效厚度比例为 27.6%(表 3)。

从各套井网单砂体水驱完善程度统计结果看,油井射孔厚度单砂体水驱控制程度高和单砂体水驱控制程度低的区域相间分布。如:北一区断东一次、二次加密调整井与基础井网开采时间、对象不同,加密

表 3 北一区断东区块单砂体不完善类型统计
Table 3 Statisticis of imperfect type of injection-production system of single sandbody in Beiyiduandong area

不同潜力类型	砂岩厚度比例/%	有效厚度比例/%
有注无采	7.2	7.0
有采无注	34.2	37.5
无注无采	20.9	24.0
二线受效	1.9	2.2
砂体变差	34.4	27.6
断层、尖灭区遮挡	0.6	0.7
井间有变差砂体	0.8	1.0

调整井的油井单砂体水驱控制程度比基础井单砂体控制程度高,单砂体水驱控制程度低的井分布更加零散,水井排附近单砂体水驱控制程度在 90% 以上的井连片分布,单砂体水驱控制程度在 90% 以下的区域多分布在区块中部,单砂体水驱控制程度在 80% 以下区

域分布则分散。

从各沉积单元单砂体水驱控制程度看,水驱未控制住、控制方向少的油井与控制方向多的油井相间分布(图 2),由此可以看出,以完善单砂体注采关系的调整难度较大。

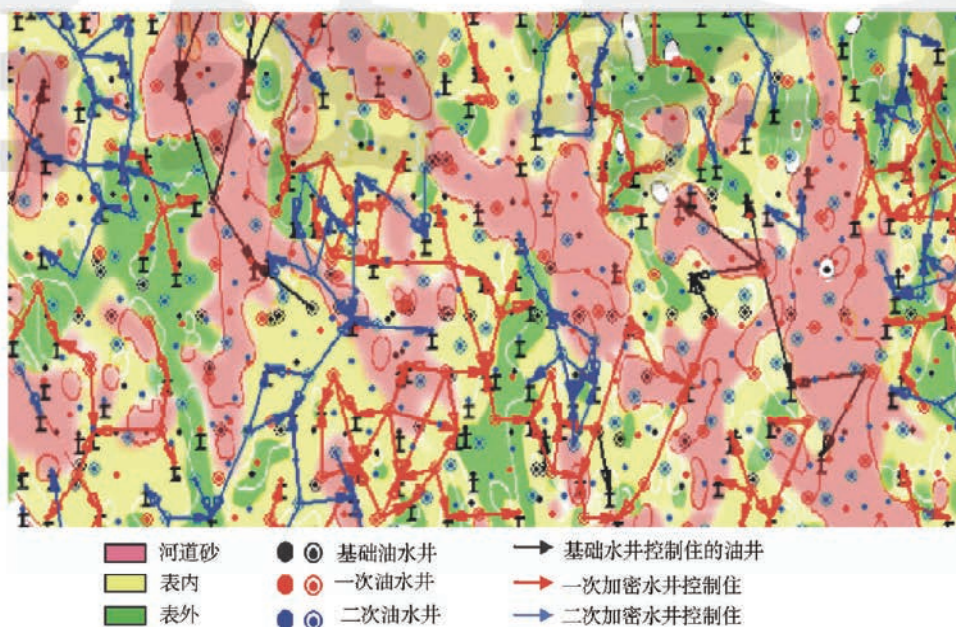


图 2 北一区断东区块 S₁₄ 小层二次加密后单砂体注采关系

Fig. 2 The injection-production relationship of single sandbody after the secondary infilling of the layer S₁₄ in Beiyiduandong area

3 结 论

(1) 新的单砂体注采关系完善程度评价体系可以对区块、层系(井网)、单井、单层 4 个层次单砂体注采关系完善程度进行评价,为油田井、层措施优选提供依据,同时对区块调整方案的制定层系及井网综合利用等研究具有一定的指导作用。

(2) 喇萨杏油田经历了多次加密调整,而且已进入特高含水开发阶段,但由于储层平面及层间非均质严重,各套层系井网动用并不均衡,完善单砂体注采关系还有一定的潜力,为特高含水期水驱精细调整挖潜提供了一定的物质基础。

参 考 文 献

[1] 罗昌燕,王启民.喇萨杏油田实现高效开发的基本做法[J].石油

学报,1993,14(3):53-58.

[2] 兰玉波,赵永胜.喇萨杏油田的水驱波及体积估计[J].大庆石油地质与开发,2004,23(6):45-47.

[3] 袁庆峰.认识油田开发规律、科学合理开发油田[J].大庆石油地质与开发,2004,23(5):60-66.

[4] 张景存,马志元.大庆油田注水开发矿场试验[J].石油学报,1985,4(2):55-59.

[5] 齐与峰.剩余油分布和运动特点及挖潜措施间的最佳协同[J].石油学报,1993,14(1):55-65.

[6] 石占中,张一伟.大港油田港东开发区剩余油形成与分布的控制因素[J].石油学报,2005,26(1):79-82.

[7] 周学民,隋新光.喇、萨、杏油田注采系统调整的研究和探讨[J].大庆石油地质与开发,1991,10(3):31-38.

[8] 岳登台.综述老油田改善开发效果及提高采收率技术[J].石油学报,1998,19(3):46-51.

(收稿日期 2006-07-25 改回日期 2006-10-30 编辑 孟伟铭)