

渤海S油田水平井开发指标预测方法研究

邓景夫, 吴晓慧, 朱志强, 张 烈, 高 岳

(中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300459)

摘要:水平井是渤海S油田开发后期的主力井型,但随着油田进入高含水开发阶段,井控储量逐渐降低,增加了对剩余油深入精准挖潜,对油井稳产策略精细制定,对后期油井开发指标精准预测的要求。国内外专家关于油田水平井关键指标研究的成果丰富,但大多没有具体到特定油田。对S油田水平井的含水上升模式进行研究,归纳总结出一套油田自适应的高含水期水平井关键指标预测技术体系。在近两年新投的4口水平井对新方法进行了可靠性验证,结果表明计算的相对误差在8%以内,说明依据S油田不同含水上升模式拟合的产量、含水及递减公式在油田内普遍适用,具有广阔的应用前景。

关键词:开发指标预测;水平井;含水上升规律;初期产能;初期含水;产量递减

中图分类号:TE355.6 **文献标志码:**A

Study on the prediction method of horizontal well development index in the S Oilfield of Bohai Sea

DENG Jingfu, WU Xiaohui, ZHU Zhiqiang, ZHANG Lie, GAO Yue

(CNOOC(China)Tianjin Branch, Tianjin 300459, China)

Abstract: Horizontal wells are the main well type in the later development stage of the S Oilfield in the Bohai Sea. However, as the oilfield has entered the stage of high water cut development, the well control reserves gradually decrease, increasing the requirements for deep and precise tapping of remaining oil, fine formulation of well stabilization strategy, and precise prediction of late well development indexes. There are abundant achievements of domestic and foreign experts on the research of key indicators of horizontal wells in the oilfield, but most of them are not specific to a oilfield. It was studied the water cut rise pattern of horizontal wells in S Oilfield, and summarized a set of oilfield adaptive technical systems for predicting key indexes of horizontal wells in a high water cut period. The reliability of the new method was verified in four newly invested horizontal wells in the past two years, and the results showed that the relative error of the calculation was within 8%, indicating that the production and water cut formulas fitted according to the different water cut rising modes of the S Oilfield are generally applicable in the oilfield and have broad application prospects.

Key words: development index prediction; horizontal well; law of water cut rise; initial capacity; initial water cut; production decline

引用格式:邓景夫, 吴晓慧, 朱志强, 等. 渤海S油田水平井开发指标预测方法研究[J]. 复杂油气藏, 2023, 16(2):211-214.

DENG Jingfu, WU Xiaohui, ZHU Zhiqiang, et al. Study on the prediction method of horizontal well development index in the S Oilfield of Bohai Sea[J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2023, 16(2):211-214.

随着水平井在各类油藏开发中的广泛应用,对其开发指标规律的研究也逐渐精细化。国内外专家关于油田水平井开发规律、递减规律研究的成果丰富^[1-5],但大多数结论没有具体到特定油田。对于特定油田,随着油田的深入开发,其井控储量逐渐降低,对剩余油深入精确挖潜的要求增加,对油井稳产策略制定的精细程度增加,对后期油井的开发指标预测精度要求增加,因此需要研究一套油田自适用的水平井开发关键指标预测技术,以精准指导水平井产能预测,对油田进行精准、精细挖潜。

1 油田地质开发特征

渤海S油田属于大型披覆背斜稠油油田,油藏类型属于构造层状油气藏,主力含油层位为东营

收稿日期:2022-08-05;改回日期:2022-09-26。

第一作者简介:邓景夫(1986—),硕士,高级工程师,现从事油气田开发科研工作。E-mail: dengjf3@cnooc.com.cn。

基金项目:“十三五”国家科技重大专项“渤海油田加密调整及提高采收率油藏工程技术示范”(编号:2016ZX05058001);中海石油(中国)有限公司综合科研项目“渤海双高油田挖潜关键技术研究”(编号:YXKY-2018-TJ-04)。

组,储层物性好,平均孔隙度为31%,平均渗透率为 $2\,800\times10^{-3}\,\mu\text{m}^2$,具有特高孔特高渗储集物性特征,主要发育三角洲相沉积。截至2022年5月,油田综合含水90%,采出程度30%,油田已进入高含水开发阶段,随着后期水平井开发井数的增加,需要研究一套油田自适用性的水平井开发关键指标预测技术,为后续水平井产能预测、油田精准挖潜提供技术

支持。

2 水平井含水上升模式

截至目前,S油田共投产水平井90口,对其分别建立含水率与无因次累产油变化曲线,通过曲线形态归纳出3种含水上升模式:凹型、凸型和直线型(见图1)。

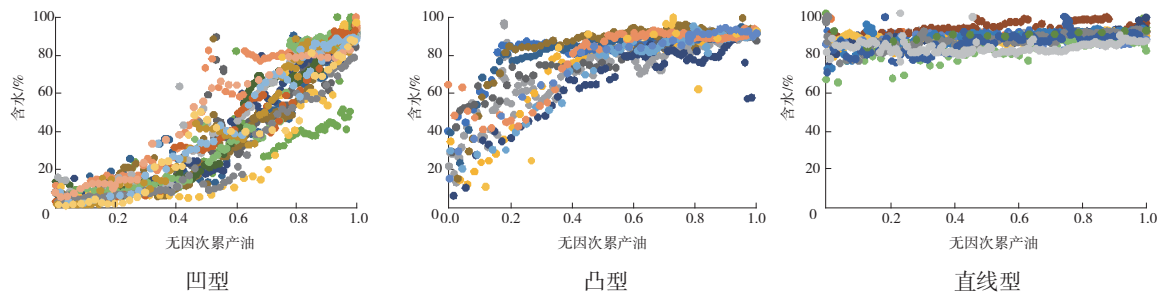


图1 水平井含水上升模式

凹型:水平井水淹模式为前期水线推进较均匀,后期水平段整体水淹。生产上表现为中低含水期含水上升缓慢,主要采油期为中低含水期,中低含水阶段累产油占油井总产量的65%左右,高含水阶段占油井总产量的32%。水平井一般部署在厚度较大的坝主体顶部或者水下分流河道的顶部。

凸型:水平井水淹模式为单点或多点突破,含水上升快,水平段动用不均衡。生产上表现为中低含水期较短、含水上升较快,主要产油期为高含水及特高含水期,占油井总产量的70%左右。水平井一般部署在河道-坝主体、坝主体-坝缘复合沉积相。

直线型:水平井水淹模式为水平段整体水淹。生产上表现为无中低含水期,投产后含水迅速上升

到高含水,主要采油期为高含水及特高含水期,占油井总产量的90%左右。水平井一般部署在河道-坝主体、坝主体-坝缘复合沉积相,主要为强水淹砂体实施的挖潜水平井。

3 水平井关键开发指标预测方法

3.1 主控因素分析

基于油田水平井的三种含水上升模式,利用正交试验方法分别对影响水平井初期产能、含水的6个因素(渗透率、储层厚度、原油黏度、采出程度、井区定向井产液强度、布井区域含水)进行分析,确定影响水平井生产规律的主控因素为采出程度、储层厚度、布井区域含水(见表1)。

表1 水平井生产规律主控因素正交实验结果

影响因素			参数取值					关联度	关联度排序
地质 条件	渗透率/ $10^{-3}\,\mu\text{m}^2$	500	1 500	2 500	3 500	4 500	0.597		4
	储层厚度/m	6	8	10	12	14	0.802		2
	原油黏度/($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	50	80	100	150	200	0.565		5
开发 条件	采出程度/%	15	20	25	30	35	0.821		1
	定向井产液强度/($\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$)	2	3	4	5	6	0.515		6
	周边定向井含水/%	50	60	70	80	90	0.705		3

3.2 多元非线性模型及回归公式建立

根据油田水平井实际生产数据,绘制三种含水上升模式下水平井初期产能、初期含水与井区采出

程度、储层厚度和布井区域含水的散点图(见图2、图3),可看出水平井初期产能、初期含水与各因素均表现出较好的线性关系。

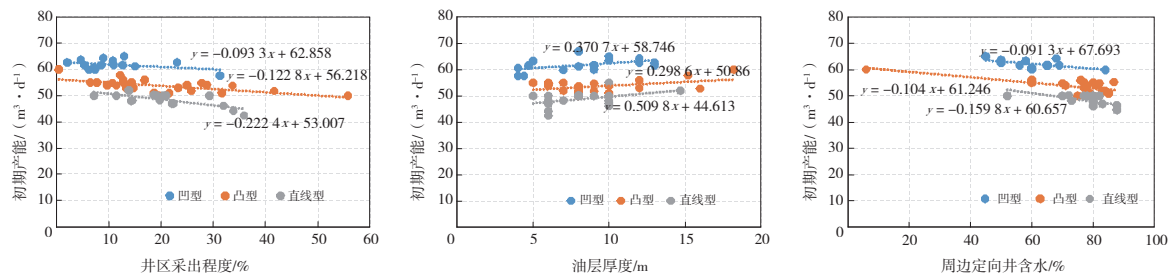


图2 水平井初期产量与井区采出程度、储层厚度和周边定向井含水的关系

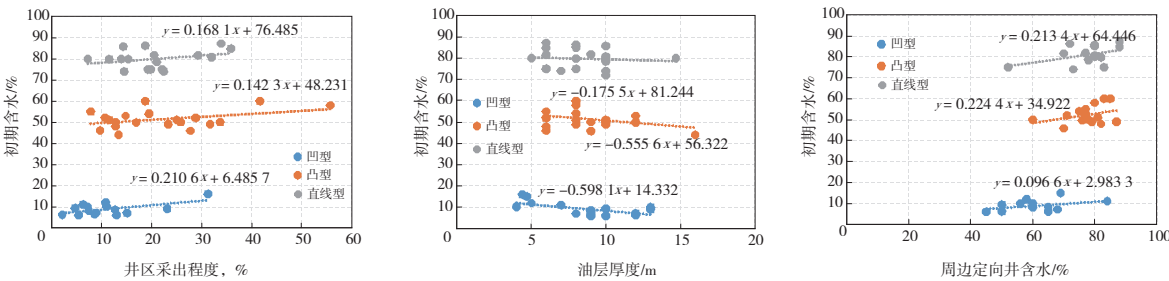


图3 水平井初期含水与井区采出程度、储层厚度和周边定向井含水的关系

将水平井初期产能、初期含水与井区采出程度、储层厚度、周边定向井含水进行相关公式的多元回归,得到水平井不同含水上升模式下初期产能、初期含水的多元回归公式(见表2),该公式重点考虑了布井区域动态因素的影响,更适合高含水后期水淹砂体的产能预测。

表2 初期产能、初期含水的多元回归公式

含水上升模式	初期产能公式	初期含水公式
凹型	$Q_{凹} = -0.025R + 0.13H - 0.028f_w + 63.14$	$f_{w凹} = 0.031R - 0.20H + 0.030f_w + 8.33$
凸型	$Q_{凸} = -0.028R + 0.11H - 0.032f_w + 55.89$	$f_{w凸} = 0.048R - 0.17H + 0.071f_w + 46.07$
直线型	$Q_{直线} = -0.072R + 0.18H - 0.050f_w + 53.29$	$f_{w直线} = 0.034R - 0.046H + 0.067f_w + 71.20$

式中, Q 为日产量, m^3/d ; R 为井区采出程度,%; H 为油层厚度,m; f_w 为初期含水,%。

3.3 水平井递减规律分析

选取油田90口水平井进行Arps递减分析^[6],首先根据实际生产数据建立无因次日产量与时间、无因次日产量与无因次累产油量关系曲线^[7-8];其次判断属于指数递减、调和递减和双曲递减三种形式中哪种类型。

通过曲线对比,确定油田水平井初期的产量递减规律符合指数递减形式,后期符合双曲递减形式(见图4);最后按不同含水上升模式建立产量递减

公式(见表3)。

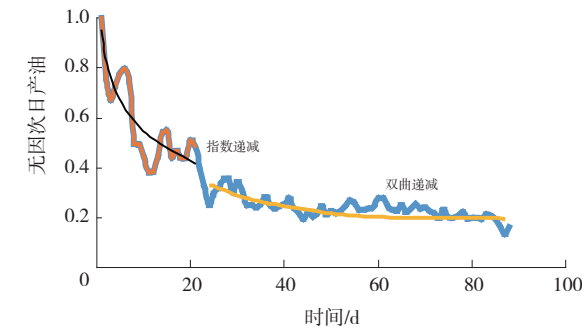


图4 水平井各生产阶段日产量递减曲线

表3 关键开发指标预测公式

含水上升模式	产量递减公式
凹型	$Q = [-0.21\ln(t) + 1.178] Q_0 \quad (t < 50)$
	$Q = Q_0 / [(1 + 0.0002t)^{25}] \quad (t > 50)$
凸型	$Q = [-0.197\ln(t) + 1.101] Q_0 \quad (t < 40)$
	$Q = Q_0 / [(1 + 0.002t)^{4.17}] \quad (t > 40)$
直线型	$Q = [-0.169\ln(t) + 1.035] Q_0 \quad (t < 20)$
	$Q = Q_0 / [(1 + 0.0179t)^{0.13}] \quad (t > 20)$

式中, Q 为日产量, m^3/d ; Q_0 为初期日产量, m^3/d ; t 为时间,d。

4 现场应用效果

在S油田近两年新投的4口水平井进行可靠性验证,首先判断4口井均属于直线型含水上升模式,用直线型含水上升模式下的初期产量、初期含水、产能递减公式进行计算,得到的关键开发指标与实

际值的相对误差在8%以内(见表4),说明在S油田依据不同含水上升模式拟合的产量及含水公式具有油田内普遍适应性,同时为后期新部署水平井的产能预测提供了计算依据。

表4 新投产水平井实际生产数据与新方法预测数据对比

井名	井区采 出程度/ %	含水上生 模式	实际			新方法预测			相对误差/ %
			初期日 产油/m ³	初期含水/ %	累产油/ 10 ⁴ m ³	初期日 产油/m ³	初期含水/ %	累产油/ 10 ⁴ m ³	
A1H	35.2	直线型	45	88.0	2.1	43.1	88.2	1.8	-4
A2H	37.9	直线型	41	87.5	2.3	38.2	89.7	1.4	-7
A3H	43.2	直线型	41	89.0	0.2	44.0	87.6	0.3	7
A4H	42.9	直线型	39	89.3	0.2	37.5	90.1	0.2	-4

5 结论

(1)基于S油田90口水平井的实际开发数据,在确定含水上升规律的基础上,利用多元回归法拟合出初期产能、初期含水以及产量递减公式,可为后期新调整水平井的产能预测提供依据,为油田的精准挖潜提供技术支持。

(2)通过实际水平井生产数据与新方法计算数据对比,证明此方法预测准确度高。

参考文献:

[1] 郇益华,张迎春,杨宝泉,等.复杂断块油田跨断层水平井产能预测及分段长度优化方法——以西非A深水油田为例[J].石油学报,2021,42(7):948-961.

[2] 贾晓飞,雷光伦,孙召勃,等.三维各向异性油藏水平

井产能新公式[J].油气地质与采收率,2019,26(2):113-119.

[3] 李进,龚宁,徐刚,等.渤海油田水平井出水规律特征及影响因素[J].断块油气田,2019,26(1):80-83.

[4] 李波,罗宪波,刘英,等.海上稠油油田合理单井产能预测新方法[J].中国海上油气,2008,20(4):243-245.

[5] 王大为,李小平.水平井产能分析理论研究进展[J].岩性油气藏,2011,23(2):118-123.

[6] 代丽.不同类型油藏水平井递减规律研究[J].化工管理,2015(26):79-80.

[7] 成亚斌,李凡华,李健.水平井递减规律分析[J].内蒙古石油化工,2009,35(4):118-120.

[8] 崔传智.水平井产能预测的方法研究[D].北京:中国地质大学,2005.

(编辑 谢 葵)

(上接第210页)

[24] 王增林,张贵才,靳彦欣,等.水驱油田采收率与注入孔隙体积的定量关系[J].中国石油大学学报(自然科学版),2021,45(1):94-100.

[25] 张金庆.水驱油理论研究及油藏工程方法改进[M].北京:中国石化出版社,2019:7-16

[26] 陈民锋,吕迎红,杨清荣.利用相对渗透率资料研究油藏水驱状况[J].断块油气田,1998,5(5):26-29.

[27] 刘晨,张金庆,李文忠,等.基于近似理论水驱曲线的油藏水驱体积波及系数动态计算方法[J].油气地质与采收率,2020,27(5):113-118.

[28] 苏彦春,李廷礼.海上砂岩油田高含水期开发调整实践[J].中国海上油气,2016,28(3):83-90.

(编辑 谢 葵)