

番禺油田薄层边底水稠油油藏 水平井含水率上升特征

李 林¹, 罗东红¹, 陶 彬¹, 贺小慧^{2*}, 薛永超², 杜玉桥²

(1.中海石油(中国)有限公司深圳分公司,广东深圳 518067; 2.中国石油大学(北京)石油工程学院,北京 102249)

摘要:以番禺油田薄层边底水稠油油藏水平井为例,将水平井含水率上升特征类型划分为开井水淹型、快速水淹型、阶梯上升型和爬坡型4类,根据油藏实际地质特征、流体特征和水平井生产动态,分析水平井含水率上升类型影响因素,并用灰色关联法对影响因素进行排序。研究表明,各因素对水平井含水率上升特征影响程度由大到小依次为:夹层范围、原油粘度、避水高度和水体厚比。夹层范围越大,原油粘度越小,单井含水率上升越缓;避水高度越小,水体厚比越大,单井含水率上升则越快。水平井含水率上升类型是驱替模式、原油粘度、水平井避水高度和油藏水体厚比等耦合影响而得到的结果,由此制作薄层边底水稠油油藏水平井不同含水率上升类型影响因素定量组合表,该表可广泛应用于预测单井生产动态类型、水平井是否存在工程问题及历史拟合迭代建模等。

关键词:薄层边底水油藏 水平井 含水率上升特征 番禺油田

中图分类号:TE345

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2016)03-0106-05

Water cut rising performance of horizontal wells in thin-bed heavy oil reservoir with edge-bottom water in Panyu oilfield

Li Lin¹, Luo Donghong¹, Tao Bin¹, He Xiaohui², Xue Yongchao², Du Yuqiao²

(1.Shenzhen Branch of CNOOC Ltd., Shenzhen City, Guangdong Province, 518067, China; 2.College of Petroleum Engineering, China University of Petroleum(Beijing), Beijing City, 102249, China)

Abstract: Taking thin-bed heavy oil reservoir with edge-bottom water in Panyu oilfield as an example, water cut increase of the horizontal wells was classified into four types: open drowning type, rapid drowning type, rising ladder type and hill-climbing type. Influencing factors of the water cut rising type were analyzed according to the geological condition, fluid characteristic and production performance of the horizontal well. The effect sequence was given by the gray correlation method. Results indicate that the effect sequence is interlayer range > oil viscosity > distance between wellbore and water oil contact > ratio of water layer thickness to overall thickness. The larger the interlayer range is and the smaller the oil viscosity is, the slower the water cut rises in single horizontal well; the smaller the distance between wellbore and water oil contact and the larger the ratio of water layer thickness to overall thickness, the faster the water cut rises in single horizontal well. The type of water cut rising is the result caused by the combination effect of drive patterns, oil viscosity, distance between wellbore and water oil contact and ratio of water layer thickness to overall thickness. Quantitative combination table of the influencing factors was given and can be used to predict production performance type of single horizontal well, to determine whether there is engineering problem and in historical-matching iterative modeling for the horizontal wells.

Key words: thin beds; edge-bottom water oil reservoir; horizontal well; water cut rising performance; Panyu oilfield

番禺油田位于中国南海珠江口盆地东沙隆起西端,包含31个油藏,其中稠油油藏有15个,油藏

收稿日期:2016-03-11。

作者简介:李林(1970—),男,山东高密人,工程师,从事油藏管理和研究工作。联系电话:(0755)2821128, E-mail: lilin5@cnooc.com.cn。

*通讯作者:贺小慧(1990—),女,陕西延安人,在读硕士研究生。联系电话:(010)89731693, E-mail: hxhwoaiyanan@163.com。

基金项目:国家科技重大专项“海上稠油水驱及注聚开发方式下不同井型生产能力与注入能力评价方法研究”(2011ZX05024-002-006)。

的平均厚度为3.2~14.5 m,平均含油高度为0.1~8.8 m,含油高度大于2 m的油层有10个,属于薄层强边底水普通稠油油藏。

水平井具有泄油面积大、能有效抑制含水率上升、提高油井产能等优点,被广泛应用于边底水油藏^[1-2],其开发效果受多种因素影响^[3-5],并且是多种因素耦合影响的结果。以往的研究大多利用数值模拟^[6-9],缺少实际油田生产动态资料。在开发过程中,薄层边底水油藏油水分布模式与普通砂岩油藏差别较大^[10],目前针对薄层边底水稠油油藏水平井开发效果影响因素的研究较少。为此,笔者对薄层边底水稠油油藏水平井含水率上升影响因素进行分析,并确定含水率上升影响因素之间的定量耦合关系,以期为油田生产预测及历史拟合迭代建模等提供依据。

1 水平井含水率上升差异

番禺油田的15个稠油油藏中有底水油藏14个、边水油藏1个(BO17.20油藏),截至2014年底,已动用的8个油藏分别为BO16.40, BO16.50, BO16.60, BO16.80, BO17.20, BO17.25, BO17.42和BO17.46。研究发现:底水油藏比边水油藏含水率上升快,产油量递减快;不同底水油藏的单井含水率上升及产油量递减率也不相同;处于同一油层的不同单井,其生产动态同样存在较大差异。根据油藏目标区单井含水率上升快慢分为开井水淹型、快速水淹型、阶梯上升型和爬坡型4种类型(图1)。开井水淹型指水平井开井后几天之内含水率即达到80%以上;快速水淹型指水平井开井后中、低含水率

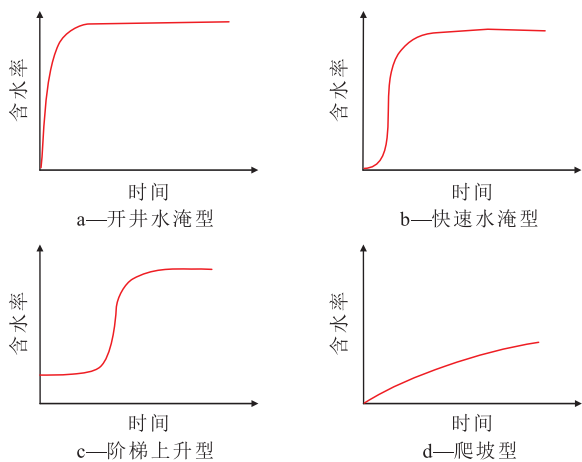


图1 番禺油田边底水稠油油藏水平井含水率上升类型示意

Fig.1 Schematic diagrams of water cut rising types of horizontal wells in edge-bottom water heavy oil reservoirs of Panyu oilfield

期生产时间持续1个月左右,之后含水率迅速达到80%以上;阶梯上升型指水平井中、低含水率期生产时间持续0.5 a至1 a后进入高含水率期;爬坡型指水平井中、低含水率期生产时间达1 a以上。

2 影响因素

2.1 夹层

由番禺油田精细地质描述得到夹层分布情况,根据其于边底水关系,提出5种水驱模式,即原生底水驱、次生边水—底水混合驱、近距离次生边水驱、次生底水驱和原生边水驱(图2)。不同类型的夹层对底水的阻碍能力不同。

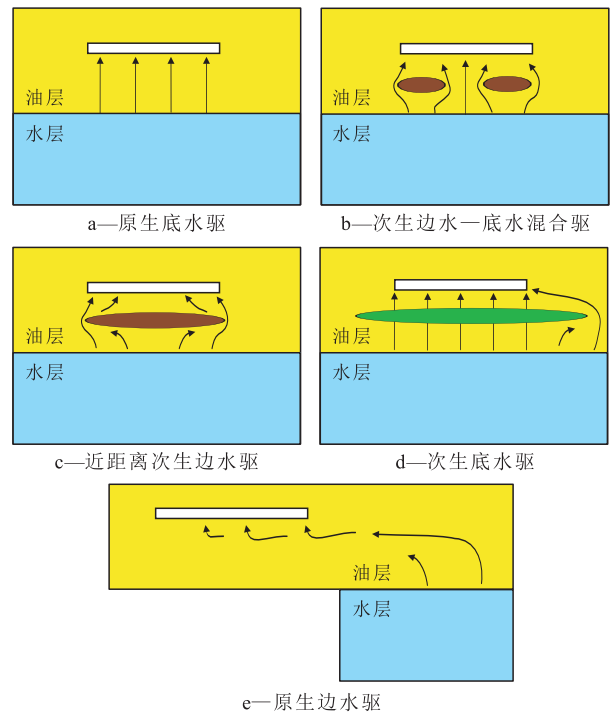


图2 番禺油田边底水稠油油藏水驱模式示意

Fig.2 Schematic diagrams of water drive patterns in edge-bottom water heavy oil reservoirs of Panyu oilfield

夹层与边底水主控的水驱模式影响水平井含水率上升特征。B24H, B21H, B14H及B22H等4口井的含水率上升影响因素统计结果(表1)表明,其原油粘度、避水高度和水体厚比(水柱高度与储层厚度的比值)均为中等范围,而夹层及边底水类型不同导致水驱模式不同。由不同水驱模式水平井对应的含水率上升状况(图3)可知, B24H井为原生底水驱,其含水率上升类型为开井水淹型; B21H井为次生边水—底水混合驱,其含水率上升类型为快速水淹型; B14H井为近距离次生边水驱,含水率上升类型为阶梯上升型; B22H井为原生边水驱,含水

表1 番禺油田不同水驱模式水平井含水率上升影响因素统计

Table1 Influencing factors of water cut rising of horizontal wells with different water drive patterns in Panyu oilfield

井号	原油粘度/ (mPa·s)	水驱模式	夹层 类型	避水高 度/m	水体 厚比	含水率 上升类型
B24H	138.0	原生 底水驱	无夹层	5.82	0.48	开井 水淹型
B21H	137.0	次生边水— 底水混合驱	零星 夹层	5.00	0.48	快速 水淹型
B14H	135.4	近距离次 生边水驱	小范围 夹层	5.56	0.51	阶梯 上升型
B22H	77.8	原生 边水驱				爬坡型

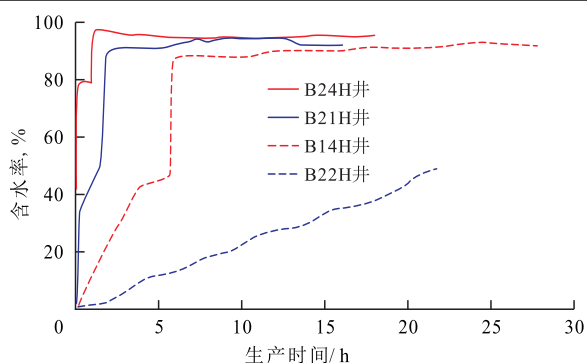


图3 番禺油田不同水驱模式水平井对应的含水率上升状况

Fig.3 Water cut rising of horizontal wells with different water drive patterns in Panyu oilfield

率上升类型为爬坡型。由此可见,含水率上升类型与夹层及边底水类型主控的水驱模式呈良好相关性。

2.2 原油粘度

由B08H井与A16H井对应的含水率上升状况(图4)可知,B08H井含水率上升类型为开井水淹型,A16H井含水率上升类型为快速水淹型。2口井的避水高度分别为5.95和5.27 m,水体厚比分别为0.42和0.41,均处于中等范围、无夹层,且水驱模式均为原生底水驱。B08H井所在油藏为BO16.40油

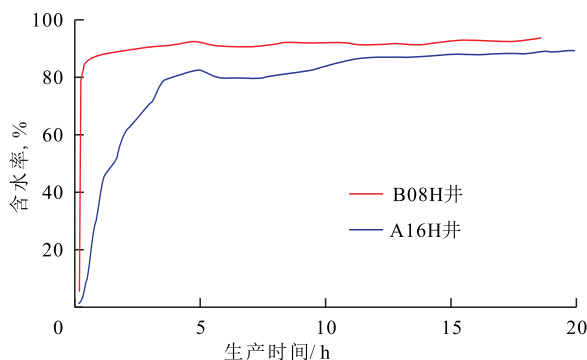


图4 B08H井与A16H井含水率上升变化

Fig.4 Water cut curves of Well B08H and Well A16H

藏,原油粘度较高,为138 mPa·s;A16H井所在油藏为BO17.46油藏,原油粘度较低,为31.7 mPa·s。说明当边底水稠油油藏水平井水驱模式相同时,原油粘度越高,含水率上升越快。

2.3 避水高度及水体厚比

由BO16.80油藏单井动态影响因素统计结果(表2)可知,4口井的原油粘度相同,皆为135.4 mPa·s;水驱模式为次生底水驱和近距离次生边水驱,均对底水上升具有减缓作用;但避水高度和水体厚比不同,B11H,B12H和B14H井避水高度均较大,含水率上升类型为阶梯上升型,而B27H井避水高度较小且水体厚比较大,为快速水淹型。说明水驱模式及原油粘度相同情况下,避水高度越高,水体厚比越小,含水率上升越慢。

表2 BO16.80油藏单井生产动态影响因素统计
Table2 Influencing factors of production performance of single well in reservoir BO16.80

井号	原油粘度/ (mPa·s)	水驱 模式	夹层 类型	避水高 度/m	水体 厚比	含水率 上升类型
B11H	135.4	次生 底水驱	大范围 物性夹层	8.80	0.58	阶梯 上升型
B12H	135.4	次生 底水驱	大范围 物性夹层	9.80	0.57	阶梯 上升型
B14H	135.4	近距离次 生边水驱	小范围 夹层	5.56	0.51	阶梯 上升型
B27H	135.4	次生 底水驱	大范围 物性夹层	3.81	0.73	快速 水淹型

2.4 影响因素排序及组合

灰色关联是在信息不完全时,对2个系统之间的因素进行分析,根据因素之间发展趋势的相似或相异程度即灰色关联度来体现两者关联程度^[11]。利用灰色关联法对番禺油田边底水油藏含水率上升影响程度进行排序,选用单井含水率为80%时的累积产油量作为含水率上升快慢的表征量,累积产油量越高,表示单井含水率上升越慢。从各影响因素的关联系数(表3)可见,番禺油田边底水稠油油藏的单井含水率上升影响程度由大到小依次为夹层范围、原油粘度、避水高度和水体厚比。

分析可知,若油藏原油粘度、避水高度和水体厚比均适中,则水驱模式与含水率上升类型具有良好的对应关系。但在水驱模式、原油粘度、避水高度和水体厚比的共同影响下,水平井含水率上升类型形成机制由多因素耦合作用而成。为此,根据番禺油田单井生产动态及其对应的影响因素分析,得到含水率上升类型影响因素组合(表4)。

表3 番禺油田边底水稠油油藏单井含水率为80%时累积产油量影响因素关联系数

Table3 Correlation coefficient of the influencing factors of cumulative oil production ($f_c=80\%$) in edge-bottom water heavy oil reservoirs of Panyu oilfield

井号	夹层范围	地层原油粘度	避水高度	水体厚比
B08H	139.07	139.07	2.86	2.23
B16H	10.43	10.43	1.67	2.90
B17H	14.39	14.39	3.56	1.93
B18H	2.03	139.07	20.88	139.07
B24H	150.00	150.00	2.98	2.72
B26H	10.18	10.18	1.52	3.35
B21H	2.73	8.01	15.52	4.28
B11H	2.41	1.78	4.03	2.75
B12H	150.00	1.02	150.00	1.31
B14H	2.68	1.65	2.99	1.67
B27H	1.21	6.63	5.79	5.79
B19H	2.35	1.89	3.34	8.56
A16H	4.09	1.32	150.00	4.42
B20H	1.70	2.42	2.74	2.42
平均	35.23	34.85	26.28	13.10

表4 番禺油田含水率上升类型影响因素组合

Table4 Combination of the influencing factors of water cut rising in Panyu oilfield

含水率上升类型	水驱模式	原油粘度/ (mPa·s)	避水高度/m	水体厚比	单井实例
开井水淹型	原生底水驱	>100	<7	>0.4	B08H井、B24H井
	次生边水—底水混合驱	>100	<5	>0.6	B18H井
快速水淹型	原生底水驱	>100	>7	<0.4	B16H井、B17H井、B26H井
	原生底水驱	<50	<7	<0.6	A16H井
	次生边水—底水混合驱	>50	5~7	0.4~0.6	B19H井、B21H井
阶梯上升型	次生底水驱	>100	<5	>0.6	B27H井
	原生底水驱	<50	>7	<0.4	B20H井
爬坡型	近距离次生边水驱	>100	>5	<0.6	B14H井
	次生底水驱	>100	>5	<0.6	B11H井、B12H井
爬坡型	原生边水驱	<100			B22H井、B28H井

3 应用实例

3.1 生产状况预测

在实际生产过程中,根据番禺油田含水率上升

类型影响因素组合,结合其新投产水平井的地质特征及流体性质可预测出含水率上升类型,并可推断水平井是否存在工程因素的影响。如新投产井B29H, B07H和B25H井,预测B29H和B07H井含水率上升类型均为快速水淹型(表5),与实际生产动态一致;而预测B25H井含水率上升类型为快速水淹型,实际为开井水淹型,经检测和分析可知,B25H井生产过程中存在工程问题,导致其开井水淹。

表5 含水率上升影响因素单井生产动态数据及类型

Table5 Influencing factors and type of practical water cut rising of single horizontal well

井号	原油粘度/ (mPa·s)	水驱模式	避水高度/m	水体厚比	含水率上升类型
B29H	135.4	次生底水驱	4.3	0.75	快速水淹型
B07H	31.7	原生底水驱	5.8	0.23	快速水淹型
B25H	137.0	次生边水—底水混合驱	5.1	0.43	开井水淹型

3.2 历史拟合及迭代建模

含水率上升类型影响因素分析结果对地质模型建立过程中夹层的井间预测具有借鉴意义。在番禺油田边底水稠油油藏地质模型建立过程中,由于井间建模的不确定性,B02H井下方某小层夹层平面展布可能出现小范围不渗透性夹层和大范围物性夹层2种情况(图5)。B20H井位于BO17.46油藏,原油粘度为31.7 mPa·s,避水高度较小,为3.8 m,

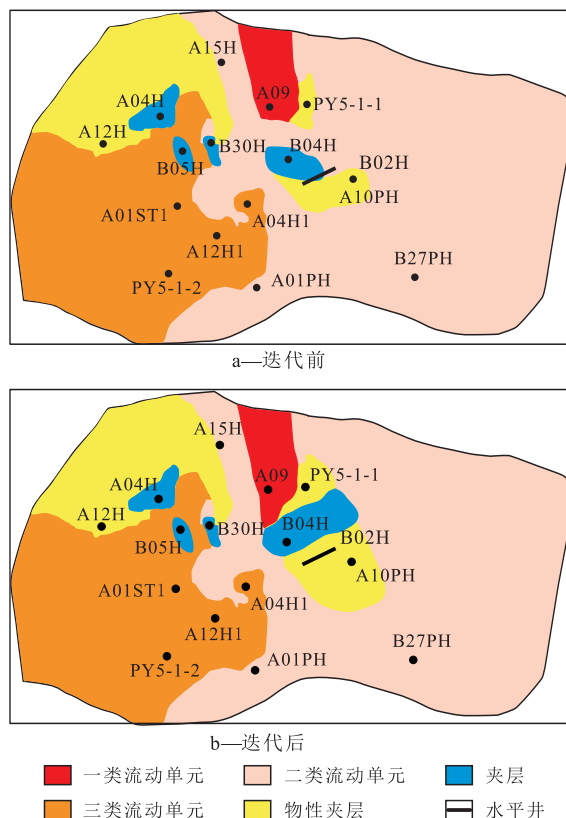


图5 B02H井下方夹层平面展布状况
Fig.5 Interlayer distribution under Well B02H

水体厚比为0.17,根据表5,若夹层平面展布如图5a所示,则含水率上升类型应为快速水淹型,而实际含水率上升类型为阶梯上升型,故推断夹层平面展布应为图5b所示。历史拟合过程中,若夹层平面展布如图5a所示,则模型计算得到的含水率较实际含水率偏高,若夹层平面展布如图5b所示,则模型计算得到的含水率与实际含水率相近。含水率上升类型影响因素组合关系在历史拟合迭代建模过程中对夹层的井间预测准确性较高。

4 结束语

夹层对薄层底水油藏水平井含水率上升特征影响最大,其次是原油粘度、避水高度和水体厚比。根据薄层边底水稠油油藏水平井不同含水率上升类型影响因素定量耦合关系,预测单井含水上升率特征类型。若水平井实际含水率上升较预测结果更快时,则该井可能存在工程问题。水平井不同含水率上升类型影响因素定量组合表也可用于历史拟合迭代建模,提高夹层井间预测结果的准确性。由于目标区水平井日产液量相近,未考虑日产液量对水平井含水上升特征的影响,在今后的研究中可采用类似的研究方法加入日产液量对水平井含水率上升特征的影响分析,并将各影响因素定量耦合关系制成图版,更加便于应用。

参考文献:

- [1] 孙彦春,王群会,张雷,等.底水油藏水平井出水位置识别方法[J].特种油气藏,2014,21(6):109-111.
Sun Yanchun, Wang Qunhui, Zhang Lei, et al. Water-break-through interval identification in bottom-water oil reservoirs [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2014, 21(6): 109-111.
- [2] Wibowo W. Behavior of water cresting and production performance of horizontal well in bottom water drive reservoir: a scaled model study [C]. SPE 87046, 2004.
- [3] 林承焰,谭丽娟,于翠玲.论油气分布的不均一性(I)——非均质控油理论的由来[J].岩性油气藏,2007,19(2):16-21.
Lin Chengyan, Tan Lijuan, Yu Cuiling. Research on the heterogeneous distribution of petroleum (I) [J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(2): 16-21.
- [4] 林承焰,谭丽娟,于翠玲.论油气分布的不均一性(II)——非均质控油理论探讨[J].岩性油气藏,2007,19(3):14-22.
Lin Chengyan, Tan Lijuan, Yu Cuiling. Research on the heterogeneous distribution of petroleum (II) [J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(3): 14-22.
- [5] Ibrahim A, Massabi A A, Bellah S. Challenges in operating and developing strong bottom water drive reservoir [C]. SPE 125466, 2009.
- [6] 屈亚光,安桂荣,周文胜,等.底水油藏水平井开发效果影响因素分析[J].科学技术与工程,2013,13(12):3406-3409.
Qu Yaguang, An Guirong, Zhou Wensheng, et al. The analysis of influencing factors on development of horizontal wells in bottom water drive reservoir [J]. Science Technology and Engineering, 2013, 13(12): 3406-3409.
- [7] 王涛,赵进义.底水油藏水平井含水变化影响因素分析[J].岩性油气藏,2012,24(3):103-107.
Wang Tao, Zhao Jinyi. Influencing factors of water cut for horizontal wells in bottom water reservoir [J]. Lithologic Reservoirs, 2012, 24(3): 103-107.
- [8] 党胜国,冯鑫,闫建丽,等.夹层研究在水平井开发厚层底水油藏中的应用——以曹妃甸11-6油田 Massive 砂体为例[J].油气地质与采收率,2015,22(1):63-67.
Dang Shengguo, Feng Xin, Yan Jianli, et al. Interlayer research application in horizontal well development of thick bottom water reservoir—a case of Massive sand in Caofeidian 11-6 oilfield [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(1): 63-67.
- [9] 杨俊峰,刘仁静,姜汉桥.底水油藏水平井开发影响因素研究[J].科学技术与工程,2011,11(20):4870-4873.
Yang Junfeng, Liu Renjing, Jiang Hanqiao. Study on affecting factor of horizontal well in bottom water reservoir [J]. Science Technology and Engineering, 2011, 11(20): 4870-4873.
- [10] 杨兵,李敬松,张贤松,等.稠油油藏水平井多元热流体吞吐高效开采技术[J].油气地质与采收率,2014,21(2):41-44.
Yang Bing, Li Jingsong, Zhang Xiansong, et al. Study on horizontal well multi-component thermal fluid stimulation high efficiency recovery technology for heavy oil reservoir [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(2): 41-44.
- [11] 赵建军.大庆齐家高台子致密油藏产能影响因素排序研究[J].长江大学学报:自科版,2014,11(20):92-95.
Zhao Jianjun. The order of productivity influence factors in tight reservoir of Qijiagaotaizi area of Daqing oilfield [J]. Journal of Yangtze University: Natural Science Edition, 2014, 11(20): 92-95.

编辑 王星