

基于单井控制储量与井网密度的老油田 经济极限井网密度计算新方法

梁 淞¹, 贾京坤², 杨 航³

(1.东北石油大学 地球科学学院, 黑龙江 大庆 1633182; 2.中国石油大学(北京) 地球科学学院, 北京 102249; 3.中国石油大学 胜利学院 石油工程系 山东 东营 257097)

摘要:随着油田开发程度的加深,加密井调整所产生的经济效益逐年变差,已开发老油田经济极限井网密度成为油田开发决策的关键指标。在传统井网密度计算方法的基础上,研究了胜利油区15个典型开发单元不同阶段加密井平均单井控制可采储量与井网密度的变化规律,建立了井网密度与阶段平均单井控制可采储量的关系,并结合单井控制经济极限可采储量的政策界限研究,提出了已开发老油田经济极限井网密度计算的新方法。应用新方法计算了特高含水期开发阶段胜坨油田二区沙一段油藏不同油价下经济极限井网密度,结果表明,在高油价下具有一定的加密潜力,并且随着油价的升高,井网加密的潜力也越大。

关键词:加密井 经济极限 井网密度 单井控制可采储量 老油田 胜利油区

中国分类号: TE319

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2014)04-0104-03

在油田开发初期,井距大,井网密度小,随着油田开发程度的不断加深,井距变小,井网密度变大。中国20世纪60年代投产的油田井距一般为500 m,渗透率较低的油田井距为300~400 m。如1954年投产的老君庙L油层初期井距为400 m,经过多次井网加密,井距缩小到273,217和183 m;新疆油田九区齐古组稠油初期采用200 m×200 m五点法井网进行蒸汽吞吐,随后采用100 m×100 m反九点井网蒸汽开采,1996—1998年加密为70 m×100 m反九点井网。井网密度不可能无限增大,经济上允许的最高采收率相应的井网密度是有限的。决定油藏经济极限井网密度的主要因素是地质、开发条件 and 经济技术指标,判断经济极限井网密度的主要依据是经济投入产出的关系,即当最后1口加密井新增的经济效益为0时,此时的井网密度即为油藏经济极限井网密度。

目前确定油田经济极限井网密度的方法主要是基于前苏联学者谢尔卡乔夫于20世纪60年代末根据已开发油田实际数据统计,提出的井网密度与采收率的关系模型,进一步推导出经济极限井网密度的计算方法^[1-6]。在具体应用过程中不同的人根据不同的地区特点形成了各具特色的经验公式。

传统的计算方法在油田开发的初、中期起到很好的指导作用;在油田开发后期,部分单元实际井网密度已经大于传统方法计算所用的经济极限井网密度。笔者在研究已开发老油田不同阶段加密井平均单井控制可采储量与井网密度之间规律的基础上,结合经济上计算的平均单井经济极限可采储量,提出了已开发老油田经济极限井网密度计算的新方法。

1 计算方法建立

单井控制可采储量是体现单元井网密度是否合适的最直接、最关键的指标,影响单井控制可采储量的因素很多,主要有地质、开发和管理等因素。其中地质因素包括油藏类型、储量丰度、流动系数、储层的非均质性、油层温度和孔隙度等;开发因素包括开发方式、开发阶段、井型、井网密度和注采对应等;管理因素包括工作制度和措施。这些因素都会综合反映到油藏单井控制可采储量中,一般先期投产井的单井控制可采储量要大于后期加密井的单井控制可采储量。

结合胜利油区开发状况,筛选了15个石油地质

储量规模为 $1\ 000 \times 10^4$ t 以上,开发时间为 25 a 以上,在水驱开发阶段井网经过多次加密调整,截至 2009 年底已进入开发中后期的中高渗透砂岩油藏开发单元。这些开发单元的地质特点、开发策略和开发调整措施都不同,但不同开发阶段的新井平均单井控制可采储量与井网密度之间都具有较好的半对数关系。

胜坨油田二区沙一段油藏含油面积为 9.2 km^2 ,石油地质储量为 $1\ 813 \times 10^4$ t,自 1966 年投入开发以来,经过多次逐步加密调整,截至 2009 年底投产井数为 137 口,井网密度为 14.89 口/km^2 。不同时期投产的新井单井控制可采储量不同,如 1972 年以前投产的 22 口井,平均单井控制可采储量为 20.35×10^4 t/口;2000 年以后投产的 24 口井,平均单井控制可采储量为 1.43×10^4 t/口。随着投产井数的增加,井网密度逐渐增大,平均单井控制可采储量逐渐减小(表 1)。

表 1 胜坨油田二区沙一段油藏不同阶段平均单井控制可采储量与井网密度

年份	投产井数/口	累积投产井数/口	井网密度/(口·km ⁻²)	平均单井控制可采储量/(t·口 ⁻¹)
1966—1971	22	22	2.39	20.35
1972—1978	11	33	3.59	16.51
1979—1984	13	46	5.00	7.86
1985—1987	15	61	6.63	5.11
1988—1990	12	73	7.93	4.09
1991—1993	14	87	9.46	4.07
1994—1997	13	100	10.87	2.37
1998—2000	13	113	12.28	1.75
2001—2003	17	130	14.13	1.56
2004—2005	7	137	14.89	1.11

胜坨油田二区沙一段油藏平均单井控制可采储量与井网密度具有较好的指数关系(相关系数为 0.981),其表达式为

$$N_{aj} = 28.66e^{-0.221f} \quad (1)$$

式中: N_{aj} 为平均单井控制可采储量, 10^4 t/口; f 为井网密度, 口/km^2 。

按照相同的方法对筛选出来的其他 14 个单元做了同样的分析,从表 2 可以看出,各开发单元投产井的平均单井控制可采储量与井网密度都具有较好的指数关系,相关系数平均为 0.945。因此,应用已开发老油田平均单井控制可采储量与井网密度之间的关系式,结合经济上计算不同油价下老油田单井控制经济极限可采储量^[7-10],就可以外推出老油田不同油价下经济极限井网密度。

表 2 15 个开发单元平均单井控制可采储量与井网密度的关系

油田	单元	关系式	相关系数
孤东	七区西 Ng5 ⁴ -6 ¹	$N_{aj}=15.72e^{-0.089\ 1/f}$	0.958
孤东	七区西 Ng6 ³⁺⁴	$N_{aj}=18.578e^{-0.092\ 3/f}$	0.889
胜坨	二区 Es ₂ 8 ³⁻⁵	$N_{aj}=25.552e^{-0.190\ 3/f}$	0.965
胜坨	二区 Es ₁	$N_{aj}=28.66e^{-0.221/f}$	0.981
胜坨	坨 7Es ₂ 8-10	$N_{aj}=24.744e^{-0.071\ 8/f}$	0.982
埕东	埕 4	$N_{aj}=18.663e^{-0.041\ 5/f}$	0.961
王家岗	通 61Es ₂	$N_{aj}=16.239e^{-0.084\ 2/f}$	0.953
东辛	营 8	$N_{aj}=12.92e^{-0.067\ 4/f}$	0.932
河滩	河滩	$N_{aj}=20.866e^{-0.048\ 5/f}$	0.915
胜坨	三区 Es ₁	$N_{aj}=6.253\ 9e^{-0.120\ 3/f}$	0.905
孤东	八区 Ng5-6	$N_{aj}=11.143e^{-0.054\ 6/f}$	0.968
孤岛	中一区 Ng3-4	$N_{aj}=16.824e^{-0.057\ 1/f}$	0.939
孤岛	中二北 Ng3-4	$N_{aj}=14.133e^{-0.037\ 9/f}$	0.954
孤岛	中二中 Ng3-5	$N_{aj}=12.104e^{-0.002\ 3/f}$	0.905
胜坨	一区 Es ₁	$N_{aj}=25.82e^{-0.172\ 9/f}$	0.963

2 实例应用

胜坨油田二区沙二段 8^{3-5} 油藏含油面积为 8.2 km^2 ,石油地质储量为 $2\ 296 \times 10^4$ t,油藏埋深为 $2\ 142\text{ m}$,截至 2009 年底,井网密度为 17.4 口/km^2 ,采出程度为 36.2%,综合含水率为 97.1%。

根据盈亏平衡原理^[3]计算了不同油价下平均单井控制经济极限可采储量(图 1),随着油价增加,平均单井控制经济极限可采储量逐渐减小,当油价为 80 美元/bbl 时,计算的平均单井控制经济极限可采储量为 3 935 t/口。

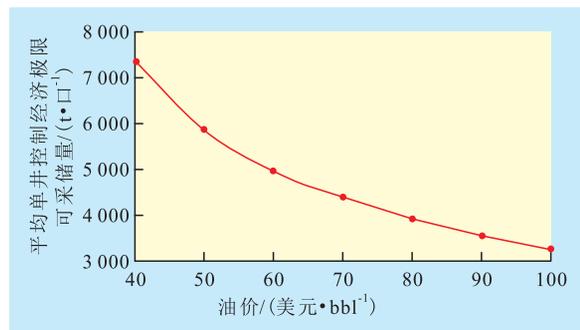


图 1 胜坨油田二区沙二段 8^{3-5} 油藏平均单井控制经济极限可采储量随油价的变化

将不同油价下计算的平均单井控制经济极限可采储量代入表 2 中的关系式,可得到不同油价下经济极限井网密度(图 2)。从图 2 可知,随着油价的不断增加,经济极限井网密度也随之增加,当油价从 40 美元/bbl 增加到 100 美元/bbl 时,经济极限井网

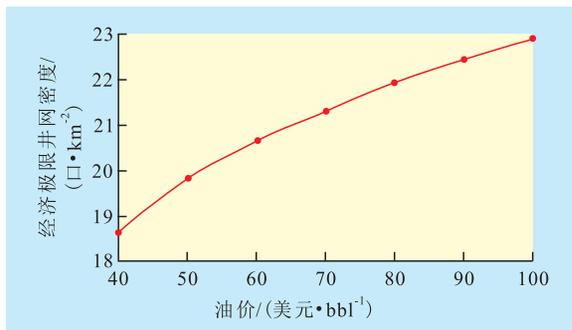


图2 胜坨油田二区沙二段8³⁻⁵油藏不同油价下的经济极限井网密度

密度由18.6口/km²上升到22.9口/km²。根据计算的经济极限井网密度,再结合目前的井网密度状况,就可以计算当油价从40美元/bbl增加到100美元/bbl时,加密井的潜力也相应地由10口上升到45口。

3 结束语

不同开发单元在不同阶段平均单井控制可采储量差异较大,但同一开发单元平均单井控制可采储量与井网密度之间具有较好的相关性,从胜利油田筛选的15个典型开发单元来看,平均单井控制可采储量与井网密度具有较好的指数关系,应用其指数关系,再结合经济上计算的不同油价平均单井控

制经济极限可采储量,就可以计算出各个开发单元在不同油价下的经济极限井网密度。处于特高含水后期的开发单元仍然具有一定的井网加密潜力,随着油价升高,井网加密的潜力越大。

参考文献:

- [1] 邹存友,韩大匡.建立采收率与井网密度关系的方法探讨[J].油气地质与采收率,2010,17(4):43-47.
- [2] 刘世良,郑应钊.确定老油田合理井网密度和极限井网密度的新方法[J].新疆石油地质,2004,25(3):310-311.
- [3] 黄金山.油田经济极限井网密度计算新方法[J].油气地质与采收率,2013,20(3):53-55,59.
- [4] 解宏伟,田世澄.老油田加密调整中合理实用井网密度研究[J].石油天然气学报,2010,32(1):318-319.
- [5] 俞启泰.油田趋势性最大井数确定与加密井效果评价方法[J].大庆石油地质与开发,2001,20(3):22-25.
- [6] 朱文娟,喻高明,严维峰,等.油田经济极限井网密度的确定[J].断块油气田,2008,15(4):66-67,75.
- [7] 凌建军,张方礼,陈和平,等.确定极限井网密度的新方法[J].江汉石油学院学报,1997,19(3):61-63.
- [8] 陶树人.技术经济学[M].北京:石油工业出版社,2003.
- [9] 张树林,黄耀琴.净现值法——一种计算经济极限井网密度的新方法[J].地质科技情报,2004,23(1):78-80.
- [10] 刘春枚,刘刚,王高文.水驱油田开发后期井网密度的确定[J].新疆石油地质,2008,29(5):616-618.

编辑 王星

(上接第96页)

参考文献:

- [1] 窦之林.塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏开发技术[M].北京:石油工业出版社,2012:64-72.
- [2] 荣元帅,李新华,刘学利,等.塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏多井缝洞单元注水开发模式[J].油气地质与采收率,2013,20(2):58-61.
- [3] 李阳.塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏开发理论及方法[J].石油学报,2013,34(1):116-117.
- [4] 李爱芬,张东,高成海.封闭定容型缝洞单元注水替油开采规律[J].油气地质与采收率,2012,19(3):94-97.
- [5] 程倩,李江龙,刘中春,等.缝洞型油藏分类开发[J].特种油气藏,2012,19(5):93-96.
- [6] 肖阳,江同文,冯积累,等.缝洞型碳酸盐岩油藏开发动态分析方法研究[J].油气地质与采收率,2012,19(5):97-99.
- [7] 刘常红,陈志海.塔河碳酸盐岩油藏产量递减特征与影响因素分析[J].特种油气藏,2010,17(6):72-74.
- [8] 刘中春.塔河油田缝洞型碳酸盐岩油藏提高采收率技术途径[J].油气地质与采收率,2012,19(6):66-68,86.
- [9] 刘鹏飞,姜汉桥,徐晖,等.缝洞型油藏开发室内模拟研究[J].石油钻采工艺,2009,31(5):72-76.
- [10] 郭平,袁恒璐,李新华,等.碳酸盐岩缝洞型油藏气驱机制微观可视化模型试验[J].中国石油大学学报:自然科学版,2012,36(1):89-93.
- [11] 刘学利,郭平,靳佩,等.塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏注CO₂可行性研究[J].钻采工艺,2011,34(4):41-44.
- [12] 惠健,刘学利,汪洋,等.塔河油田缝洞型油藏注气替油机理研究[J].钻采工艺,2013,36(2):55-57.
- [13] Gandomkar A, Kharrat R, Motealleh M, et al. An experimental investigation of foam for gas mobility control in a low-temperature fractured carbonate reservoir[J]. Petroleum Science and Technology, 2012, 30(10): 976-985.
- [14] John Zuta. Mechanistic modeling of CO₂-foam processes in fractured chalk rock: effect of foam strength and gravity forces on oil recovery[R]. SPE 144807, 2011.
- [15] 刘中春,李江龙,吕成远,等.缝洞型油藏储集空间类型对油井含水率影响的实验研究[J].石油学报,2009,30(2):271-274.
- [16] 李爱芬,张东,姚军,等.缝洞单元注水开发物理模拟[J].中国石油大学学报:自然科学版,2012,36(2):130-135.

编辑 常迎梅