

多层气藏一井多层开采技术界限研究

熊钰¹ 张烈辉² 阳仿勇¹ 鲁友常³ 胡述清³

(1.西南石油学院 2.“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室 3.中国石油西南油气田分公司蜀南气矿)

熊钰等.多层气藏一井多层开采技术界限研究.天然气工业,2005;25(7):81~83

摘要 在气藏开发中,所遇到的气藏基本上都为多层气藏,而在气藏开发方案的决策中,多层气藏的开发层系的划分主要基于开发油井时的层系划分原则,并没有对多层气藏开采中的分层采气和多层合采的划分方法进行系统、定量的研究。而研究多层气藏合采和分采的技术界限对划分多层气藏的开发层系和单井采气方式的确定具有明显的工程意义。文章在建立层间无串流双层模型的基础上,利用数值模拟的方法,从气藏压力、储层物性方面采用单因素和正交因素分析方法入手,获得了多层气藏开发单井合采(分采)技术界限和界限方程,并通过实例应用说明了图版解释方法。实例应用研究表明,该方法可为多层气藏开发层系划分提供正确的理论工具。

关键词 多层 油气藏 开采 数学模拟 图版 四川盆地 中

一、引言

随着我国经济的发展,对能源的需求正逐步增加,天然气的开发利用正成倍的增长。国内外对天然气开采研究的方法和手段都在不断的进步,大量采用了计算机预测分析、数值模拟研究和实验室分析的方法对各类特殊气藏进行研究^[1~4],对多层天然气气藏的开采时的层系划分方面主要沿用的是油藏工程中开发层系的划分方法^[5]。对多层气藏开发时单井开采方式上,廖萍芳、管志强等^[6]开始了初步研究,他们通过对柴达木盆地涩北一号气田多层合采的理论研究,对多层合采情况下的层间干扰进行了模拟计算,提出了较为合理的最佳射孔跨度及其有效厚度,同时在实际生产过程中对理论研究加以论证,但并没有对多层合采和分层采气的技术界限进行研究。因此搞清气藏多层合采和分采的技术界限,进而对气藏的开发层系进行划分,减少钻井费用,提高整个气藏的开发效益,开展一井多层开采方式研究具有明显的工程意义。

二、基本模型

为了适合大多数多层油气藏,笔者在简化处理的基础上,建立了双层无窜流均质气藏模型。模型的基本参数为:埋深 2500 m、孔隙度为 0.1、渗透率

为 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、垂向渗透率为零、储层有效厚度为 10 m、原始地层压力为 20.56 MPa、数值计算网格为 $30 \times 30 \times 3$ 。在模型中只有上下两层为目的层,中间为不渗透隔层,模型总储量为 $7.56 \times 10^8 \text{ m}^3$,给定两层合采配产量为 $30 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。按单一因素和正交分析的方法,研究上下两个产层的物性参数和压力对于气藏开采的影响,共分析研究了 1120 种可能情况。

三、单一参数敏感性分析

对于多层合采,针对气井储层物性参数和压力的差异性变化,在研究中运用渗透率倍比与压力系数两个参数对两层合采与分采进行了敏感性分析。同时,需要指明的是,对于储层物性参数的影响研究是基于一个相同的压力系数;而对于地层压力的影响研究则是基于一个不变的渗透率倍比。

1. 关于气藏稳产期

无论上产层渗透率是大于下产层渗透率还是小于下产层,气藏的稳产期增加,但当上下产层渗透率倍比大于 19 时,气藏无稳产期。无论上产层压力是大于下产层压力还是小于下产层,气藏的稳产期增加,但当上下产层压力系数比大于 1.411 时,气藏无稳产期。

2. 渗透率对产量贡献的影响

在研究渗透率对产量贡献的影响时,分别研究

* 本文受四川省天然气开采重点实验室基金项目资助(编号:GPL04-07)。

作者简介:熊钰,1968年生,副教授,在读博士研究生;现主要从事油气藏工程、油气藏流体相态理论与测试及注气提高采收率方面的教学和研究。地址:(610500)四川省成都市新都区。电话:(028)83032101。E-mail:xiongyu-swpf@126.com

了当上产层压力大于下产层压力和上产层压力小于下产层压力的情况。当上下产层的压力系数比接近时,主要反映储层物性的影响,如彩插图版 5、6 所示。

当上产层渗透率大于下产层时,上产层产量贡献明显大于下产层,上产层产量贡献随着生产时间的延长而下降,下产层产量贡献随之增加;即在投产初期上产层对下产层具有明显的抑制作用,随开采时间的延长,其抑制作用相应的降低。反之,当上产层渗透率小于下产层时,上产层产量贡献明显小于下产层,上产层产量贡献随着生产时间的延长而增大,下产层产量贡献随之减小。在投产初期下产层对上产层具有明显的抑制作用,随开采时间的延长,其抑制作用相应的降低。

当上下产层的物性相同或相近时,上下产层的产量贡献基本相当,随生产时间的延长,产量贡献基本相同。当上产层渗透率大于下产层的 5 倍时,在投产初期下产层的产量仅占产出总产量的 10% 左右,上产层为主要贡献层;当上产层渗透率大于下产层的 5 倍后,上产层对下产层的抑制作用进一步增强,但增加幅度不如 5 倍以内大,上产层产量贡献随生产进行的下降幅度明显变大,下产层产量贡献的增加幅度相应增大。反之,当上产层渗透率小于下产层的 5 倍时,上下产层产量贡献的变化趋势与前者相反。总体上看,虽然随渗透率倍比的增大,高渗层对低渗层的干扰进一步增加。

3. 地层压力对产量贡献的影响

当 $K_{\pm}/K_{\mp}=4$ 时, p_{\pm}/p_{\mp} 从 1.053~1.633 变化时,可以得到压力系数比对上下产层的产量贡献的影响,如彩插图版 7 所示,当上产层的压力系数达到下产层的 1.481 倍以后,下产层将被完全抑制; p_{\pm}/p_{\mp} 从 0.612~0.950 变化时,可以得到压力系数比对上下产层的产量贡献的影响,如彩插图版 8 所示。即当上产层储层物性好于下产层物性,上面的压力系数即使只有下产层压力系数的 0.612,上产层的产量贡献还是可以达到 60% 以上。

当 $K_{\mp}/K_{\pm}=4$, p_{\pm}/p_{\mp} 从 1.053~1.633 变化时,其压力系数比对上下产层的产量贡献的影响如彩插图版 9 所示。从中可以看出,即使上产层的压力大于下产层的压力,如果下产层的储层物性明显好于上面产层时,上面产层的产量贡献不会超过 30%,随生产时间的延长,到稳产期结束上产层的产量贡献也没有超过 35%。

当 $K_{\mp}/K_{\pm}=4$, p_{\pm}/p_{\mp} 从 0.612~0.950 变化

时,其压力系数比对上下产层的产量贡献的影响如彩插图版 10 所示。在投产初期,上产层对整个气井产量的贡献小于 10%。

四、层系划分的技术界限

从上面的单因素分析可以看出:压力对气层的动用的影响弱于储层物性对气层动用的影响。但它们对气层动用的影响是相互作用的。为此,运用正交方法对气井储层物性和压力的差异性分析,正交参数敏感性分析,进行大量的计算和统计分析工作,得到如图 1 所示的技术界限图。从图中可以得到式(1)的技术界限关系:

$$Y = 1.3784 X^{-0.1502} \quad (1)$$

式中: X 为上下产层渗透率比; Y 为当上产层被完全抑制的压力系数比。

当气井储层之间的基本参数比落在曲线的上方(含曲线),则两层合采时,其中一层将被完全抑制或产生倒灌现象;当气井储层之间的基本参数比处于曲线的下方,当数据点越接近曲线,层间干扰就越严重。

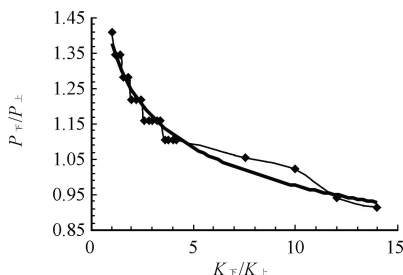


图 1 一井多层开采技术界限图

同时,从中还可以看到:随着下产层储层物性的改善,即使是上下产层的压力接近,也可能发生上产层被抑制的现象。

五、实例分析

1. 区域地质及气藏特征

麻柳场含气构造位于四川盆地川中古隆起平缓构造区自流井凹陷的西南部,西与大窝顶构造斜鞍相接,东、南、北面分别被柳嘉向斜、中林场—炭库向斜、龙孔向斜所围。构造核部出露侏罗系中统沙溪庙组,向斜部位出露自垩系砖红色厚层状块状砂岩。嘉陵江组横剖面的对比表明:麻柳场嘉陵江组分布稳定,厚度变化不大,各岩性段和亚段在全区范围内具有良好的可对比性,甚至亚段中的小层也可很好对比。

2. 气藏压力体系的确定和划分

麻柳场构造嘉陵江组产层在大范围内具有连续成片分布的特征,在一定的地质时期具有大致相同的地质压力(系数),气藏的压力系数变化一般反映在含气柱高度的变化上。从目前钻井、测井、试采等资料综合分析,大致可以确定嘉四³、嘉四¹、嘉二段气藏为3个独立的含气单元,含气单元内部各井是连通的,属同一压力系统。在试采过程中表现出嘉二与嘉四¹层的连通性较弱。岷江东部与西部的连通性很弱,基本上可认为岷江东部和西部为两个独立的压力系统。本次研究中主要分析麻9井、麻7井和麻13井的多层合采问题,3口井的基本物性参数见表1、表2和表3。

表1 麻9井嘉二段、嘉四¹层和嘉四³层基本物性表

层位	原始压力 (MPa)	压力系数	压力系数比	渗透率 ($10^{-3} \mu\text{m}^2$)
嘉四 ³ 层	24.24	1.177		0.058
嘉四 ¹ 层	23.17	1.098	0.933207	0.135
嘉二段	24.36	1.068	0.972969	0.041

表2 麻7井嘉二段、嘉四¹层基本物性表

层位	原始压力 (MPa)	压力系数	压力系数比	Kh
嘉二段	24.473	1.143	1.108	20.5
嘉四 ¹ 层	21.3619	1.032		4.908

表3 麻13井嘉二段、嘉四¹层基本物性表

层位	原始压力 (MPa)	压力系数	压力系数比	渗透率 ($10^{-3} \mu\text{m}^2$)
嘉四 ³ 层	24.14	1.111		0.053
嘉四 ¹ 层	23.08	1.039	0.934575	0.53

经过计算,麻柳场构造各单井3层的压力系数比介于0.982~1.108之间,单从压力系数方面进行分析,即使是压力较高的嘉四³气藏和嘉四¹气藏合采,也不会形成倒灌现象。

把以上3口井的基本参数放到图1上可得到图2所示的3口井的开采方式分析图。

从图中可以看出:麻9井嘉二段、嘉四¹层、嘉四³层层间干扰不突出,可以合采;麻7井3产层合

采时,嘉四¹层将会对嘉二段产生严重干扰,因此麻7井采用单管单封隔器油套分采工艺实行在岷江东部单采嘉四¹层和嘉二段产层;麻13井嘉四¹层、嘉四³层两层合采时,嘉四¹层对嘉四³层将产生抑制作用,可采用合采的方式开采。

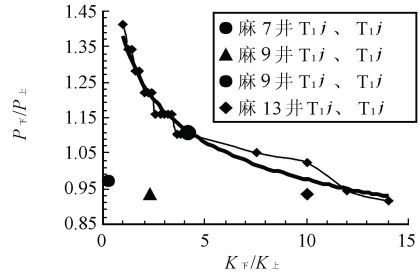


图2 开采方式分析图

六、结论

(1)当层间压力系数接近时,层间干扰主要因储层物性的差异性产生的。

(2)在进行多层气藏开发层系划分时,储层物性是首要考虑的因素,压力对层间干扰的影响低于储层物性的影响。

(3)文中通过正交分析得到的多层气藏开发层系划分的技术界限是合理可行的。

(4)实例研究表明所提出的多层开采技术界限可正确反映层间干扰情况,并能估算气井开发初期层间产量贡献的大小。

参 考 文 献

- 1 孙福街,韩树刚,陈林松等.低渗气藏压裂水平井渗流与井筒管流耦合模型.西南石油学院学报,2005;(1)
- 2 严文德,郭肖,贾英.考虑滑脱效应的低渗透气藏气—水两相渗流数值模拟器.新疆石油地质,2005;(2)
- 3 熊钰,孙雷,孙良田等.非瞬时平衡相态对凝析气近井高速流动区动态饱和度的影响研究.天然气工业,2003;(1)
- 4 熊钰,胡述清,曲林.非均质气藏局部封存水体性质及水侵动态分析方法研究.天然气工业,2004;(2)
- 5 王鸣华.气藏工程.北京:石油工业出版社,1997
- 6 廖萍芳,管志强.涩北一号气田多层合采提高单井产量研究及现场试验总结.青海石油,2002;(3)

(收稿日期 2005-05-10 编辑 韩晓渝)