

# 涩北气田多层气藏储量动用程度分析

万玉金 孙贺东 黄伟岗 朱华银 钟世敏

中国石油勘探开发研究院廊坊分院

万玉金等. 涩北气田多层气藏储量动用程度分析. 天然气工业, 2009, 29(7): 58-60.

**摘要** 柴达木盆地涩北气田合计含气小层介于54~90层,是典型的多层气藏,生产动态资料系统分析表明层间储量动用程度存在较大差异。采用实验模拟、气藏工程和数值模拟等多种方法研究了储层非均质性、层间储量分布、气井出水等对储量动用程度的影响。结果表明:层间的非均质性是影响多层气藏储量动用程度的主要因素,渗透率级差越大,低渗层储量动用程度越差。对于该类气藏,可以通过合理划分合采层系、优化射孔和优化配产等策略提高多层气藏储量的动用程度。

**关键词** 涩北气田 储集层 多层气藏 开发 储量动用程度

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2009.07.018

## 0 引言

柴达木盆地涩北气田合计含气小层介于54~90层,是典型的多层气藏<sup>[1-2]</sup>。气田开发主体采用细分层系的多层合采技术,通过生产测井产气剖面分析,分层产量差异大,表现出分层储量明显动用不均衡。

1996年,Ahmed H. EI-Banbi等<sup>[3]</sup>利用物质平衡方程与产能方程联立,分析了两层模型产量变化规律。2008年孙贺东等<sup>[4]</sup>应用物质平衡法分析了非均质性对于动态储量的影响,并提出合理配产提高储量动用程度的方法。

笔者应用物理模拟技术、气藏工程分析方法和数值模拟技术探讨了多层合采时气藏储量动用程度的主要影响因素,系统分析了涩北一号气田一个典型开发层系的多层合采开发状况,最后提出了提高储量动用程度的措施和建议。

## 1 储量动用程度影响因素分析

### 1.1 储层非均质性的影响

气藏工程方法研究表明:层间非均质性越强,即渗透率级差越大,计算的动态储量越小。等厚的两层(10 m)模型,当渗透率级差为99时,计算动态储量仅为地质储量的48.5%<sup>[4]</sup>。

物理模拟实验研究结果也证实了这一结论:两

层合采时, $K_1$ 层产量贡献率随 $K_2/K_1$ 比值增加而降低,当两层渗透率相同时各产层产量贡献率几乎相同,即两层都能被充分动用(图1)。

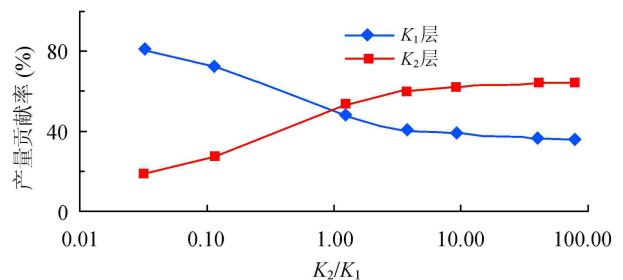


图1 气藏非均质性对单层产量贡献影响图

采用数值模拟描述分层的储量动用情况与前两者一致,随着渗透率级差的增大,高渗层(恒为 $25 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ )储量动用变化不大,而低渗层的储量动用越来越差,当级差为6时,采收率为63%,低渗层只采出47%(图2)。

### 1.2 储量分布对采收率的影响

假设总储量和渗透率级差等参数不变,单井数值模拟模型结果表明采收率随高渗层储量的减少而变小,当高、低渗层储量比为1:1时,采收率为63.1%,当比值为1:3时,采收率仅为57.7%。

### 1.3 气井出水的影响

根据涩北气田水体能量,水体体积大小为20倍

**作者简介** 万玉金,1968年生,博士,高级工程师;长期从事天然气开发评价研究工作,包括开发实验与开发机理研究、煤层气开发和常规天然气开发等。地址:(065007)河北省廊坊市万庄44号信箱。电话:(010)69213278。E-mail:wanyj69@pet-rochina.com.cn

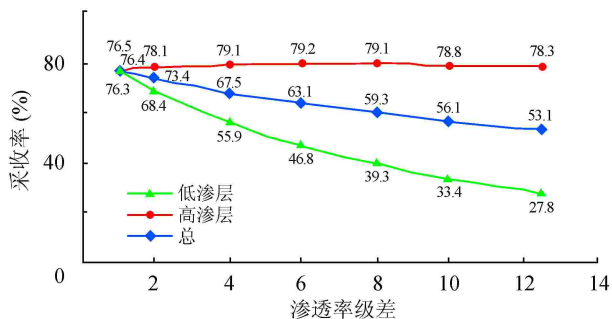


图2 层间非均质性对采收率影响图

烃类体积,日产气量  $2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。应用数值模拟单井模型,边水采用网格水体,模拟表明:渗透率级差越大,储量动用程度越低,边水对采收率影响越大。多层合采开发,边水对高渗层影响大,由图3可以看出高渗层的分层采收率,存在边水条件下比定容气藏减少 16.3%~16.9%,低渗层则只减少 8.4%~10.8%。模拟表明:高渗层压力下降速度明显高于低渗层,边水突破后严重影响低渗层储量动用。

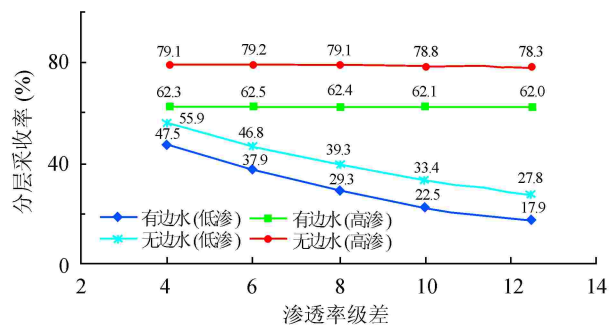


图3 边水对采收率影响图

### 1.4 选择与低渗层相匹配的产量可以提高储量动用程度

应用气藏工程方法模拟,首先以一定产量进行生产,在后期适当降低产量,与低渗层供给能力相适应,则可以有效提高储量动用程度。应用两层模型,当配产为  $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  时储量动用程度只有 73.5%;配产调整为  $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  时储量动用程度可以达到 84.5%;配产为  $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  时储量动用程度可以达到 95.5%<sup>[4]</sup>。

## 2 典型开发层系储量动用程度分析

### 2.1 涩北一号四-1 单元简况

涩北一号气田四-1 单元包含 7 个含气小层,储层孔隙度平均为 29.5%,渗透率平均为  $18.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,含气面积  $15.4 \sim 33.7 \text{ km}^2$ 。截至 2007 年底,探明地质储量的采出程度为 18.4%。

### 2.2 开发主要矛盾

四-1 单元生产时间较长,目前面临着以下几个主要问题:①单井产量具有明显的下降趋势;②部分气井产水较大,影响气井生产,如新涩 4-8、涩 4-20 等井日产水大于  $10 \text{ m}^3$ ,水气比为  $4.5 \text{ m}^3/10^4 \text{ m}^3$ ;③动态储量远低于地质储量,应用压降法、现代递减分析法等计算的动态储量与地质储量差异较大,不足地质储量的 70%。

### 2.3 储量动用程度分析

应用气藏工程方法与数值模拟技术,结合生产动态资料、产气剖面对四-1 单元的储量动用情况进行系统分析,主要有以下几方面的认识。

#### 2.3.1 储层非均质性强,纵横向分层产量贡献差异均较大

涩北一号气田四-1 单元各井渗透率  $5.4 \times 10^{-3} \sim 49.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,渗透率级差为 1.8~54.7,各井表现为强—中等非均质性。产气剖面测试结果表明,各井在纵向上产量贡献差异非产大。如涩 4-9 井最大渗透率为  $16.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,渗透率级差为 3.7,地层系数越高(图 4-a),分层产量也越高(图 4-b),由此可见,多层合采时层间非均质性严重影响低渗层的储量动用。

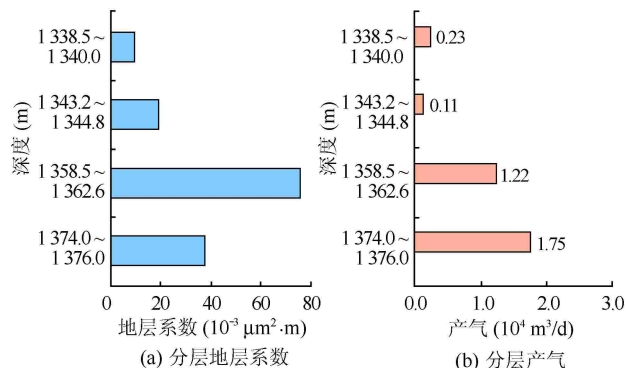


图4 涩4-9井分层地层系数与产气剖面图

#### 2.3.2 部分产层出水,影响分层储量动用效果

四-1 单元大部分气井产水主要以凝析水或层内可动水为主,对气井生产基本没有影响。出水量大的井主要是边水突进或层间水窜。如涩 4-20 井,从 2006 年 10 月起产水量逐渐增加,根据产气剖面测试结果表明,该井下部储层(1304.8~1308.0 m)边水突进,由于该层物性较好,分层产量高,气井见水后产水上升快。气井产能严重损失,就目前情况来看,产能降低 50% 以上,严重地影响了该层的储量动用。另外,由于气井出水增大了井筒管损,降低了井底流动压力,使其他储层无法得到合理动用。

### 2.3.3 高渗层储量有限,难以满足高产量配产条件下的气井稳产

选用该射孔单元共17口井55井次产气剖面测试数据,同一口井多次测试分层产量选取其平均产量。按渗透率由大到小进行排序,对各小层的产量、地层系数( $Kh$ )和储容系数( $\varphi h S_g$ )进行累加,作累积产量分布频率与累积地层系数关系图(图5)。

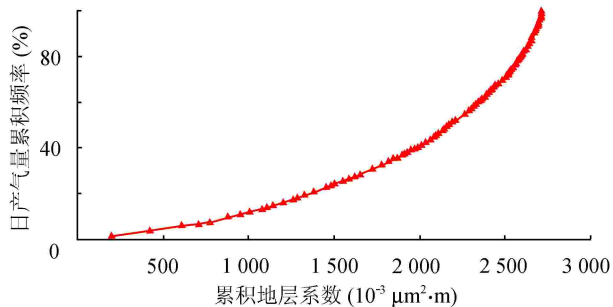


图5 累积产量分布频率与累积地层系数关系图

多层合采气井累积分层产量与累积地层系数的关系,在渗透率呈递减排列时,曲线应向上凸,而非向下凹(图6)。上述结论的前提是分层储量相同。

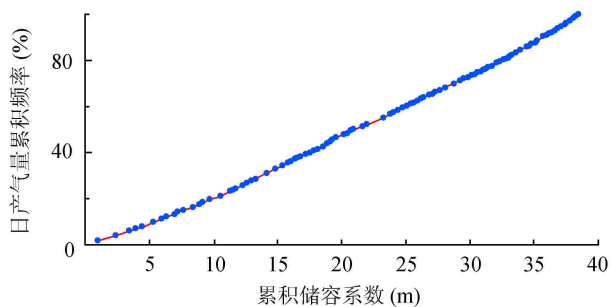


图6 累积产量分布频率与累积储容系数关系图

由图6可以看出:日产气量与累计储容系数相关性很好。表明分层产量除受地层系数影响外,还与储容系数有关,即高渗层的储量决定了气井的产量水平和稳产能力。综合分析认为,四-1单元高渗层中储量所占比例较少,不能满足目前气井配产的稳产需求,由此表现出气井产量递减。

依据理论研究和生产动态分析成果,要提高多层气藏储量动用,主要技术途径为:①合理划分开发层系,一是减少合采层数,二是尽可能降低层间渗透率级差;②优化射孔,低渗层后期补孔动用;③合理配产,依据平均储层物性和储量分配确定合理气井

产量;④优化井网井距,远离边水布井,降低边水影响,提高采收率;⑤对于低渗层进行增产改造。

由于涩北气田气水关系复杂,埋藏浅、胶结弱,隔层条件较差,增产改造难度大,由此需要通过优化设计<sup>[5-6]</sup>提高多层气藏储量动用率,提高涩北气田的开发效果。

## 3 认识与结论

通过对多层气藏储量动用程度分析研究,初步得出以下几点认识:

1)对于多层合采,动态储量主要受层间非均质性和最高渗透率两种因素控制。非均质性越强,低渗层越难以动用,计算的动态储量越小。在相同的渗透率级差下,渗透率越高,储量动用越充分。

2)涩北气田层间非均质性强,产气剖面表明分层产量差异大,且单井产量变化大,采用长井段多层合采在一定程度上影响了储量动用。

3)在渗透率级差一定条件下,高渗层储量比例越大,气井稳产水平与最终采收率也越高。

4)对于涩北气田,可以通过优化井网部署、层系划分、合理配产、防止边水影响等优化设计技术,提高储量的动用程度。

### 参考文献

- [1] 中国石油青海油田公司勘探开发研究院,中国石油勘探开发研究院廊坊分院. 涩北一号气田开发实施方案[R]. 敦煌:中国石油青海油田公司勘探开发研究院,2004.
- [2] 中国石油青海油田公司勘探开发研究院,中国石油勘探开发研究院廊坊分院. 涩北二号气田开发实施方案[R]. 敦煌:中国石油青海油田公司勘探开发研究院,2005.
- [3] BANBIE, AHMED H, ROBERT A. Analysis of commingled tight gas reservoirs [C]// SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Denver, Colorado, SPE, 1996.
- [4] SUN H D, WAN Y J, ZHONG S M, et al. Discussion on dynamic reserves estimation of multilayer gas reservoir with material balance method [C]// CIPC/SPE Gas Technology Symposium 2008 Joint Conference, Alberta, Canada, SPE, 2008.
- [5] 万玉金, 钟世敏, 陈建军, 等. 多层疏松砂岩气田开发优化设计[M]. 北京:石油工业出版社, 2005: 44-47.
- [6] 孙贺东, 钟世敏, 万玉金, 等. 涩北气田多层合采优化配产及动态预测[J]. 天然气工业, 2008, 28(12): 86-88.

(修改回稿日期 2009-05-15 编辑 韩晓渝)