

文章编号: 1000-8241(2012)12-0891-04

低渗岩性气藏建设地下储气库工作气量的确定

刘志军 兰义飞 冯强汉 王华 伍勇 游良容

低渗透油气田勘探开发国家工程实验室; 中国石油长庆油田公司勘探开发研究院, 陕西西安 710018

刘志军等. 低渗岩性气藏建设地下储气库工作气量的确定. 油气储运, 2012, 31(12): 891-894.

摘要: 储气库库容量与工作气量是储气库建设的核心问题, 工作气量与储气库运行压力、垫底气量及注采井数等相互制约。对于榆林气田低渗岩性气藏储气库建设, 储气库库容量评价与工作气量设计是研究重点和难点。分述了采用压降法、流动物质平衡法与产量不稳定分析法等计算动态储量的方法, 评价了榆林气田南区储气库库容量, 利用气藏工程方法确定储气库工作气量与库容量的比例为27.5%, 利用气藏工程多参数优化与岩心注采仿真模拟实验相结合的方法确定储气库工作气量比例为25%~30%, 综合以上结果, 确定储气库工作气量为库容量的25%~30%。

关键词: 低渗岩性气藏; 储气库; 库容量; 工作气量; 仿真模拟实验

中图分类号: TE822

文献标识码: A

doi: 10.6047/j.issn.1000-8241.2012.12.004

天然气储气库是下游用户用气调峰、国家能源安全的重要保障。长庆油田位于我国天然气骨架管网的枢纽位置, 战略地位十分重要。根据国家能源战略需求, 计划在长庆气区榆林气田南区山₂气藏建设地下储气库。该气藏为低渗岩性气藏, 若设计储气库上限压力为原始地层压力, 则储气库库容量为气藏计算的动态储量, 但榆林气田地层压力测试资料有限, 需利用实际动态资料优选其评价方法, 确定库区库容量, 在此基础上通过气藏工程研究和岩心注采仿真模拟实验, 优化低渗气藏储气库工作气量与库容量比例, 得到榆林气田南区建设储气库工作气量比例以及工作气量, 为储气库建设和方案编制提供依据。

1 低渗岩性气藏动态控制储量计算

榆林气田南区测压资料少、气井生产工作制度相对稳定, 为此, 充分利用已有动态资料, 采用压降法、流动物质平衡法、产量不稳定分析法多方法综合计算动态储量。

1.1 压降法

压降法是评价气井动态储量的常用方法之一, 其要求气井生产史中至少有两个关井测压数据点。压降法是物质平衡法的特殊形式, 常用于气藏动态储量计算, 计算公式为:

$$\frac{p}{Z} = \frac{p_i}{Z_i} \left(1 - \frac{G_p}{G}\right) \quad (1)$$

令
$$a = \frac{p_i}{Z_i}, \quad b = \frac{p_i}{Z_i G} = \frac{a}{G}$$

则方程(1)变为:

$$p/Z = a - bG_p \quad (2)$$

式中: G 为气井控制动态储量, 10^8 m^3 ; G_p 为累计采气量, 10^8 m^3 ; p_i 、 p 分别为原始压力和目前地层压力, MPa; Z_i 、 Z 分别为原始条件下的偏差系数和目前压力下的偏差系数。

由式(2)可知, 定容封闭气藏的视地层压力 p/Z 与累计采气量 G_p 呈线性关系, 由此可求解气井控制动态储量。榆林南区测压资料较少, 且气井必须满足采出程度大于10%, 否则计算误差较大, 因此可以利用该方法计算动态储量的气井有限。

1.2 流动物质平衡法

根据渗流力学理论^[1], 对于封闭气藏中定产井处于拟稳定流动时, 在任意点处:

$$p = p_i - \frac{4.242 \times 10^{-3} q \mu_g B_g}{Kh} \left[\lg \frac{r_c}{r} - 0.326 \right] - \frac{1.327 \times 10^{-2} q B_g t}{\phi h C_i r_c^2} \quad (3)$$

若不考虑流体物性随时间 t 变化, 则上式对时间 t 求导可得:

$$\frac{d\rho}{dt} = -\frac{1.327 \times 10^{-2} q B_g}{\phi h C_t r_e^2} = \text{Const} \tan t \quad (4)$$

式中： q 为气井标准产量， $10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ； μ_g 为地层气体粘度， $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ； B_g 为天然气体积因数； K 为地层有效渗透率， $10^{-3} \mu\text{m}^2$ ； h 为地层有效厚度， m ； r_e 为供给半径， m ； r 为定产井的半径， m ； t 为气井生产时间， h ； ϕ 为孔隙度； C_t 为综合压缩系数， MPa^{-1} 。

由(4)式可知，当气井渗流达到拟稳定状态时，地层各点压降速率相同。此时，井口压力与地层压力变化趋势相似，根据视井口压力与累计产气量关系曲线确定直线段斜率，结合原始地层压力测试点，即可得到气井控制动态储量。该方法为压降法的扩展运用，其优点是不需要关井测压资料，但要求气井工作制度相对稳定，该方法在榆林气田得到广泛应用。

1.3 产量不稳定分析法

基本原理：在常规递减分析的基础上，引入拟等效时间处理变压力/变产量生产数据，将其等效为定流量生产数据。利用单井生产历史数据与典型图版^[2-4]进行数据拟合，进而计算气井控制动态储量。目前该方法已软件化，利用气井井口产量与压力数据进行典型图版及生产历史数据拟合，从而综合确定气井的泄流半径、控制动态储量、储层渗透率等参数。该方法基于常规的井口产量、压力等动态参数，能够适应气井工作制度的频繁改变，对地层压力测试点的依赖程度较低，且气井生产时间越长，计算精度越高，因此在榆林气田具备广泛的使用条件。

2 工作气量确定

工作气量为储气库从运行上限压力降到下限压力时的总采出气量，其反映了储气库实际调峰能力。工作气比例为工作气量与库容量的比值，其反映了储气库实际运行效率。国内外储气库主要以构造性油气藏为主，该气藏储层物性条件好，在一定库容量条件下，工作气量较大，工作气比例较高。国内外不同类型储气库工作气比例介于25%~70%之间，区间范围大，无统一标准，特别对于类似榆林气田的低渗岩性气藏建设储气库，国际尚无先例。以下通过气藏工程方法优化了工作气量，对比储气库建设前期评价井天然岩心注采仿真模拟实验结果，确定工作气比例及榆林气田南区储气库工作气量。

2.1 气藏工程方法

当储气库库容量一定时，储气库运行下限压力越小，工作气量越大。确定榆林气田南区储气库运行下限压力主要考虑两个因素：①储气库具备一定的工作气规模，以提高储气库运行效率；②保证储气库采气末期最低调峰能力和维持单井最低生产能力。当降低气藏运行下限压力，储气库工作气量将增大，但下限压力降低后导致单井下限产能降低，因此，当需要达到一定的调峰产能时，储气库注采井数增加，即增大工作气量将导致储气库建井数不断增加(图1)。

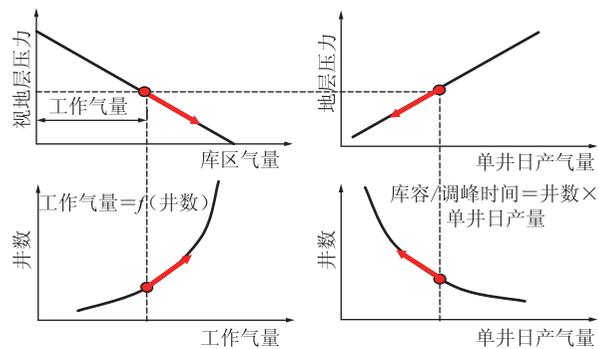


图1 工作气量与单井产能及井数相互关系曲线

研究储气库工作气量，必须明确不同地层压力条件下单井的生产能力，通过理论研究或产能试井测试，确定气井产能方程，再利用流入、流出曲线节点分析方法^[5]，得到某一油管尺寸条件下不同地层压力对应的气井产能(图2)。

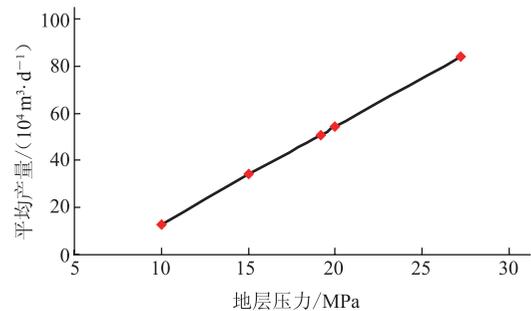


图2 单井产能与地层压力关系曲线

通过不同地层压力下气井注采能力论证结果，设计不同工作气量比例，计算得到不同工作气量对应的下限压力、单井产量及井数等参数。根据以上分析建立工作气量与注采井数关系 $G_{\text{work}} = f(\text{井数})$ ，随着工作气量增加，储气库建设井数开始呈线性关系增加，速度较慢，当工作气量达到一定值后，建井数呈指数关系迅速增加，曲线在 G_{rwork} 处出现拐点(图3)，因此，优选该值为最优工作气量，进一步评价榆林气田南区储气库工作气量与库容量比例为27.5%。

Liu Zhijun, et al: The determination of working gas volume of underground gas storage constructed for low permeability lithologic gas reservoirs

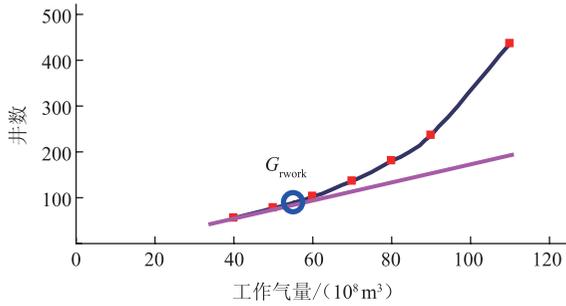
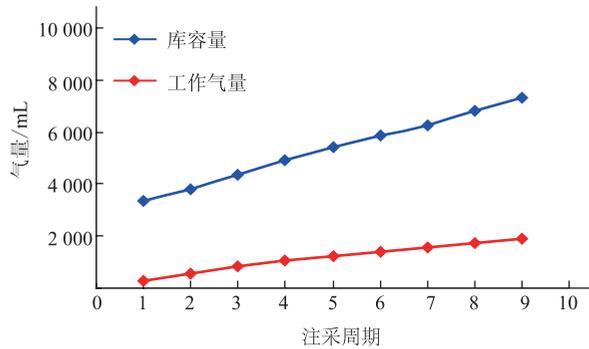


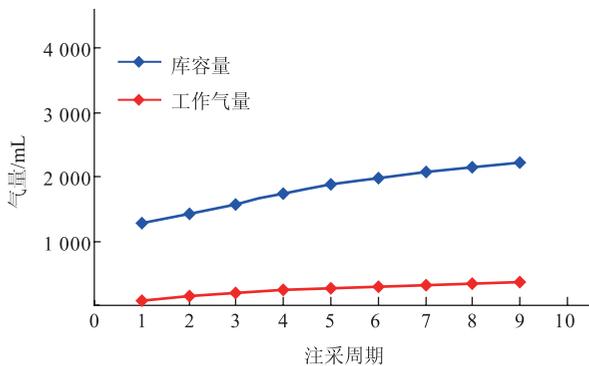
图3 储气库井数与工作气量关系曲线

2.2 岩心注采仿真模拟实验

前期评价针对砂岩气藏型地下储气库,设计全直径注采仿真模拟实验系统,在多周期注入条件下,研究储气库注采运行工作气量变化特征。实验用水为 1.5×10^4 mg/L 矿化度的标准盐水,实验用气为氮气,选取榆林气田储气库区评价井榆 43-2A 钻取的天然岩心作为储层模型,分别选取代表地下储气库相对高、低渗两类储层岩心。储层注采模拟^[6-7]进行建库中9次注采气循环实验,模拟地下储气库不同类型储层的建库注采过程。在高、低渗储层注采过程中,随运行时间延长,注采气过程中的排驱扩容作用使库容量与工作气量均呈现逐步上升趋势,但在各周期增加的幅度有限(图4)。



(a) 高渗储层



(b) 低渗储层

图4 库容量、工作气量与注采周期的模拟关系曲线

基于实测模拟动态资料,采用气藏工程方法对储气库可动用孔隙体积、库容量、垫气量及工作气量等指标进行计算和分析。注采模拟计算结果表明:9个注采周期后,高渗层可动含气饱和度由6.1%增至44.0%,库容比由20.4%增至68.2%,工作气比例由7.8%增至26.1%;低渗层可动含气饱和度由2.2%增至9.7%,库容比由16.5%增至41.9%,工作气比例由6.3%增至16.0% (图5)。可见,高渗储层注采各项参数指标明显高于低渗层,因此高渗储层对于储气库建设与注采规模起决定性作用。

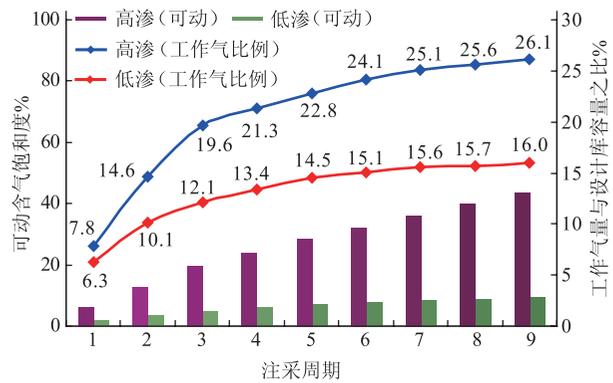


图5 储气库高、低渗储层工作气比例与注采周期的关系曲线

随着注采时间延长,工作气比例有进一步增加的趋势,但增加幅度有限,说明对于榆林气田储层条件,工作气比例在20%~30%之间。由于储气库建设优选了气田储层物性较好区域作为建设区,参考高渗储层工作气比例,榆林南区储气库工作气量与库容量比例约为30%。结合通过气藏工程方法获得的工作气比例结果27.5%,确定榆林气田储气库较优的工作气比例25%~30%。

根据动态储量评价方法,多方法综合计算榆林南储气库库区动态储量即库容量G,由工作气量比例研究成果,易得到储气库工作气量为库容量的25%~30%。

3 结论

针对榆林气田地层压力测试资料少、气井产量相对稳定的生产动态特征,提出了压降法、流动物质平衡法和产量不稳定分析法等低渗气藏动态控制储量计算方法,并明确了每种方法的优点与适用条件,在此基础上多方法综合评价了榆林南储气库库容量,为工作气量设计奠定了基础。利用气藏工程多参数优化与岩心

注采仿真模拟实验相结合,确定榆林气田低渗岩性气藏储气库工作气量与库容量比例为25%~30%,即工作气量为库容量的25%~30%。该研究成果可为同类型气藏地下储气库建设提供借鉴。

参考文献:

[1] 张建国,杜殿飞,侯健,等. 油气层渗流力学[M]. 东营:中国石油大学出版社,2009:139-142.
 [2] 刘晓华,邹春梅,姜艳东,等. 现代产量递减分析基本原理与应用[J]. 天然气工业,2010,30(5):50-54.
 [3] 朱斌,熊燕莉. 气井控制储量计算方法评价[J]. 天然气勘探与开发,2011,34(1):13-17.
 [4] 张明禄. 长庆气区低渗非均质气藏可动态储量评价技术[J]. 天然气工业,2010,30(4):50-53.

[5] 金忠臣,杨川东,张守良. 采气工程[M]. 北京:石油工业出版社,2004:91-95.
 [6] 汪周华,郭平,周道勇,等. 注采过程中岩石压缩系数、孔隙度及渗透率的变化规律[J]. 新疆石油地质,2006,27(2):192-193.
 [7] 何顺利,门成全,周家胜,等. 大张坨储气库储层注采渗流特征研究[J]. 天然气工业,2006,26(5):90-92.

(收稿日期:2011-12-31;编辑:谷英翠)

作者简介:刘志军,工程师,1979年生,2006年硕士毕业于长江大学油气田开发工程专业,现主要从事气藏工程、数值模拟及试井等方面的研究工作。

电话:13636702381;Email:liuzj_cq@petrochina.com.cn

(上接第886页)

在西气东输一线管道工程的设计中,对RR、GE、DR等公司的压缩机组曲线进行了仿真拟合,并对上述厂商压缩机组的适用性进行了模拟;在西气东输一线管道增输工程的设计中,广泛利用了压缩机组适用性分析对管道失效工况进行了模拟;在西气东输二线管道工程的设计中,也广泛采用该项技术,完成了很多以往无法开展的水力工况分析工作,包括:管道极限工况分析、机组失效模拟、压缩机组参与调峰分析、管道启停输分析、压缩机组运行优化、压缩机站合理投运计划分析、压缩机组采办技术支持。

综上所述,压缩机站等负荷率布站设计技术、压缩机组备用方案定量评价方法、压缩机组适用性分析技术是近年在天然气长输管道压缩机站工艺设计实践过程中发展起来的新技术。已经建成的西气东输二线干线管道和正在设计中的西气东输三线管道均采用等负荷率布站技术完成了压缩机站布置,利用定量评价方法确定了压缩机组备用方案,并采用压缩机组适应性分析技术开展了管道在不同工况下的水力计算分析。实

践证明,上述技术的采用能够有效降低管道的投资和运行成本,优化压缩机组的运行工况,对于进一步提高国内天然气长输管道工程的设计水平,具有显著意义。

参考文献:

[1] 姚光镇. 输气管道设计与管理[M]. 东营:石油大学出版社,1991:5-6,30.
 [2] Sidney Pereira dos Santos. Compressor station availability-managing its effects on gas pipeline operation[C].IPC 2006-10560,2006.

(收稿日期:2012-02-16;编辑:关中原)

作者简介:李广群,高级工程师,1972年生,1996年毕业于石油大学(华东)油气储运专业,现主要从事油气储运工程的市场管理工作。

电话:0316-2171570;Email:liguangqun@cnpc.com.cn