

柿庄地区煤储层压力类型划分及排采制度优化

邓志宇 刘羽欣 魏康强 范志辉

中联煤层气有限责任公司 山西太原 030000

摘要: 由于煤储层独特的吸附和解吸特性,煤层气开发过程中储层压力呈现规律性的动态变化过程。为了更好地利用控压指导煤层气的排采生产,以柿庄地区3号煤层为研究对象,利用体积守恒原理、气水相物质平衡方程等推导了基于等效排采面积动态变化的气藏压力计算模型。结果表明,根据储层降压特征柿庄地区生产井具体可分为“快速下降型”、“中期稳定型”、“缓慢下降型”及“波动型”4种储层压力类型,应用模型对通过不同类型井的不同生产阶段的压力控制分析,可指导优化煤层气井排采制度。

关键词: 压力变化;渗透率;排采制度;柿庄地区;沁水盆地

煤层气开发的主要方式为排水-降压,生产过程可分为三个阶段:饱和单相水流、非饱和单相水流、气水两相流阶段。沁水盆地柿庄地区3号煤储层为欠饱和煤层,只有在储层压力降至临界解吸压力以下才会产生解吸产气,煤层气生产井必须经历长时间的排水降压阶段,因此准确预测煤储层压力对评价储层潜力和制定合理的开发方案至关重要。

1 煤储层压力模型建立

改进储层压力计算模型有3个步骤:首先根据相同温压条件下体积守恒原理,在生产过程中建立气相物质平衡方程;其次改变水相物质平衡方程的形式,使等效排采面积随产水量的增加而增加;将等效排采面积公式代入气相物质平衡方程。因此可推导出考虑等效排采面积动态变化的气藏压力计算模型。据此模型可利用煤层地质参数和单井实际生产数据预测储层压力。

传统的储层压力计算模型不考虑排采面积的动态变化,具体以井间距表示单井控制范围,而井距并不等同于压降范围。同时气井的工作制度是排水降压,排采面积随着生产的进展会不断变化。在计算储层压力时,如果用固定面积代替动态排采面积,计算结果显然是不合理的。以柿庄地区T1井为例,分别采用两种模型计算储层压力,其中传统预测模型井控半径分别设定为100、150、200m,两种模型的平均储层压力

计算结果如图所示。

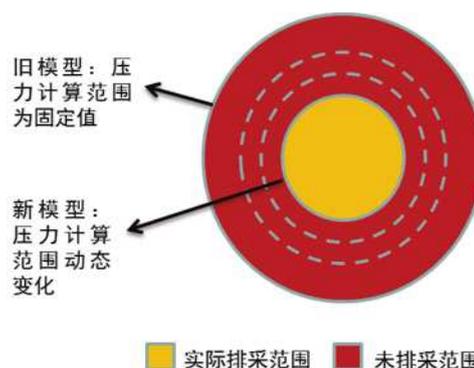


图1 平均压力计算模型中排采面积变化对比图

在不考虑动态排采面积的情况下,通过不同排采面积计算得到的储层压力相差较大;等效排采面积越大,储层压力下降越慢。当排采半径设为恒定100m时,模型计算结果与传统模型一致,表明若该区固定值小于实际排采范围,计算出的储层压力下降;而随着设定面积增大,未降压的储层范围增大,计算结果变大。而当用新模型计算储层压力时,排采面积会随着实际产水产气的变化而变化,从而更有效地利用流体与压力的联动关系,因此结果更能反映实际情况。

应用该模型计算T1井平均储层压力时,压降曲线与实际生产曲线吻合较好。从投产到生产300天,储层平均压力迅速下降;此后至1200天,平均压力则相对稳定;后期呈现持续下降。对应该井的生产数据表明,由于排水降压作用,初期井筒周围压力迅速下降,排采范围由井筒向远处延伸;当生产进入生产中期,气井的产水、产气趋于稳定,排采范围逐渐向远处延伸;随着流体补充平衡,后期等效排采面积稳定,该区储压快速下降,煤层气大量解吸,产气量迅速增加。

作者简介: 邓志宇,男、汉族、1988.1.17、籍贯:山东、学历:硕士、职称:工程师、毕业院校:中国地质大学(武汉)、单位名称:中联煤层气有限责任公司研发中心、研究方向:煤层气勘探开发方面的工作、邮箱:dengzhy4@cnooc.com.cn。

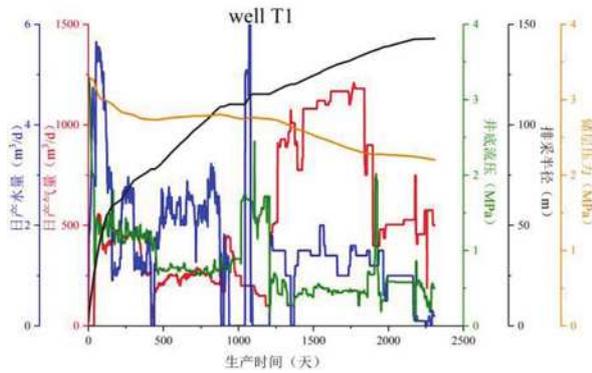


图2 T1井生产数据及模型计算结果

2 柿庄地区储层压力类型划分

基于上述结果，由于所提出的储层压力计算模型计算平均储层压力更准确，故选取柿庄地区部分目标井进行进一步计算，并根据储层降压特征对这些井进行了分类。此外，由于储层压力是计算开发过程中储层渗透率动态变化的关键因素，将计算结果输入不同井的渗透率动态变化模型中，研究储层压力对煤层渗透率动态变化的影响。不同井的压降曲线形态不同，可具体分为“快速下降型”、“中期稳定型”、“缓慢下降型”和“波动型”。

储层压力“快速下降型”的井的特征为：产气特点是初始见气时间短、上产快，后期产量稳定；产水特征为初期大，中期产水量迅速下降；在生产过程中，典型井的储层压力降低速率快，而随着储压降低，渗透率迅速增加。储层压力“中期稳定型”的井的特征为：早期产水较高，中期下降但下降速率小，后期基本不产水；典型井的储层平均压力在前期迅速下降，然后经历一段时间的稳定后快速下降，对应渗透率在前期下降，后期上升。储层压力“缓慢下降型”的井的特征为：平均日产气量低、产水量高；生产过程中储层压力缓慢下降，而随着压力变化，渗透率持续下降。储层压力“波动型”的井的特征为：产气与产水均呈现波动特征，压力阶梯式下降，排采半径持续增加。

根据不同生产阶段的渗透率动态变化可对生产井储层进行分类。在单相水流阶段，根据有效应力对储层渗透性的损害程度，定义了特征压力，包括无伤、缓伤、转折及易伤压力，进一步把对渗透率伤害的变化划分为急速下降、快速下降、慢速下降、缓慢下降以及稳定阶段。基于此，在单相流阶段煤储层的类型可分为无伤储层、缓伤储层和易伤储层；在解吸阶段，根据基质收缩对渗透率的恢复作用，用回弹压力和恢复压力表征渗透率的恢复特性，进一步可以把煤储层又分为易恢复储层和难恢复储层两类。选取沁水盆地南部柿庄地区典型井，

分析了煤层气藏类型与煤层气井产量之间的对应关系，该研究有助于识别气藏的地质条件与产能潜力。

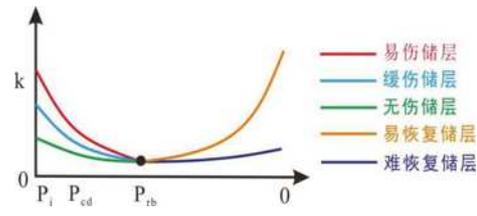


图3 煤储层分类图

3 排采制度优化

为优化研究区不同地质条件下煤层气井的排采制度，首先根据煤储层压降漏斗和渗透率的动态变化，准确描述了煤层气不同生产阶段的特征。具体来讲，排采生产的关键是在单相水流阶段和气水流动阶段分别将压力传播半径和气体解吸半径扩展到井控边界，此后在单相气流阶段实现井间压力干扰。

在单相水流阶段，由于应力敏感效应，渗透率随储层压降而降低。为了降低速度敏感与应力敏感效应影响，促进压力传播半径逐渐扩大到井控边界，建立了单相水流阶段最大井底流压下降速率方程。

$$v_1 = \frac{P_i - P_{cd}}{t_1}$$

P_i 是初始储层压力，MPa； P_{cd} 是临界解吸压力，MPa； v_1 和 t_1 分别是单相水流阶段最大井底流压降速和最短生产时间，MPa/d和天。

当井底流压降至临界解吸压力以下时，煤层气由基质中解吸出来，生产进入气水流动阶段。在这一阶段气体解吸半径逐渐向外扩展，并且基质收缩效应利于煤储层渗透率的恢复。但在气水两相流动初期阶段，应力敏感效应仍占主导地位，储层渗透率持续下降；但由于气锁效应、速度敏感与应力敏感作用，储压的快速下降或产气的快速增加均会抑制气体解吸范围的扩展。当基质收缩对渗透率的恢复平衡有效应力对渗透率的伤害时，渗透率降至最低即反弹渗透率，相应的储压为反弹压力。基于此建立了气水两相流阶段最大的井底流压降速公式。

$$v_2 = \frac{(P_{cd} - P_{wf})}{t_2}$$

式中： t_2 气水两相流阶段最短的生产时间，天； v_2 是气水两相流阶段最大的压降速率，MPa/d； P_{cd} 是临界解吸压力，MPa； P_{wf} 是井底流压，MPa。

若在气水两相流动阶段，平均储层压力能够达到反弹压力，煤层气大量解吸不仅不会破坏煤储层，反而有助于提高储层的渗透率。反之若平均储层压力不能达到

反弹压力，则储层渗透性随着产气的增加而降低。此种情况煤层气的大量解吸会产生“贾敏效应”对煤储层造成伤害，从而难以实现高产稳产；因此有必要控制套管压力，以限制煤层气的大量解吸，直到储层平均压力达到反弹压力为止，工作思路如下图所示。

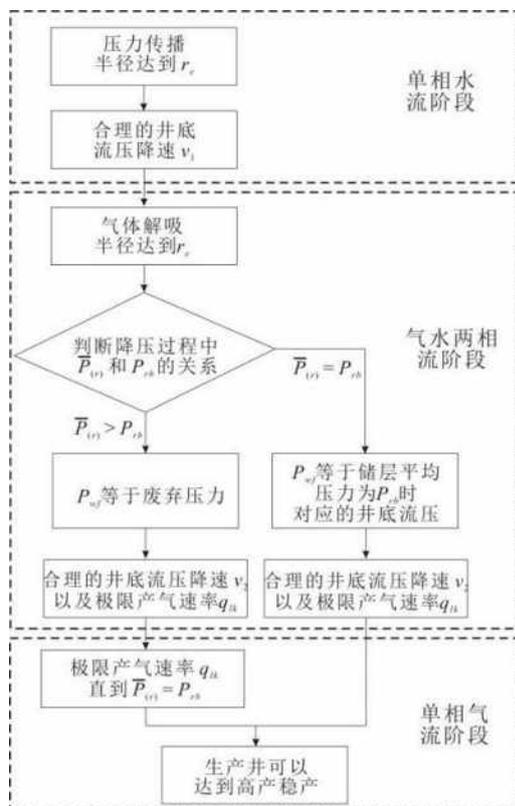


图4 煤层气井排采制度优化流程图

4 结束语

(1) 煤层气井生产过程中，储层平均压力通常会历经快速下降-相对稳定-持续下降周期，对应压降扩展由近井筒向远处延伸，后期等效排采面积稳定后煤层气大量解吸，产气量迅速增加。

(2) 实际生产过程中，排采面积会随着实际产水量的变化而变化，新的储层压力计算模型有效地利用气水数据，实际应用验证表明结果更符合真实情况。

(3) 在准确描述煤层气不同生产阶段特征的基础上，研究储层压力对煤层渗透率动态变化的影响，可从一定程度上实现量化指导排采时期压力大小及压降速率控制，从而促进煤层气井的排采半径持续扩展及气体的解吸产出。

参考文献:

- [1] 姜杉钰, 康永尚, 张守仁, 等.沁水盆地柿庄区块煤层气井排采动态影响因素分析及开发对策研究[J].天然气地球科学, 2016, 27(6): 1134-1142.
- [2] 李国富, 侯泉林.沁水盆地南部煤层气井排采动态过程与差异性[J].煤炭学报, 2012, 37(5): 798-803.
- [3] 孟艳军, 汤达祯, 李治平, 等.高煤阶煤层气井不同排采阶段渗透率动态变化特征与控制机理[J].油气地质与采收率, 2015, 22(2): 66-71.