

压裂气井合理试气压差的优化模型

李春贵 王传峰

冀东油田西部分公司 陕西榆林 719000

摘要: 针对压裂气井试气过程中,合理控制试气压差对于评价气井的产能和确定储层裂缝特征具有重要意义。本文提出一种基于试气数据和储层特征参数的压裂气井合理试气压差优化模型。首先,采用物理模型和试验数据建立了试气压力—产量关系式,并通过实验数据拟合得到其参数。然后,根据储层岩石力学参数、地层裂缝参数等特征参数,建立了试气压差和气井产能的数学模型。最后,采用遗传算法对优化模型进行求解,得到最优的试气压差值。实验结果表明,本文提出的优化模型可以有效提高压裂气井试气压差的合理性和可控性,提高了气井的产能和裂缝特征的确定性,具有重要的理论意义和应用价值。

关键词: 压裂气井; 试气压差; 产能评价; 裂缝特征; 优化模型

Optimization model of reasonable test pressure difference in fracturing gas well

Chungui Li Chuanfeng Wang

Jidong Oilfield West Branch, Yulin City, Shaanxi Province 719000

Abstract: In the process of testing gas wells after hydraulic fracturing, it is of great significance to control the testing pressure differential reasonably for evaluating well productivity and determining reservoir fracture characteristics. This paper proposes an optimized model for reasonable testing pressure differential in gas wells based on testing data and reservoir characteristic parameters. Firstly, a pressure-yield relationship equation is established using a physical model and experimental data, and the parameters are fitted using the experimental data. Then, a mathematical model is developed for the testing pressure differential and gas well productivity based on reservoir rock mechanics parameters, reservoir fracture parameters, and other characteristic parameters. Finally, a genetic algorithm is employed to solve the optimization model and obtain the optimal value for the testing pressure differential. Experimental results demonstrate that the proposed optimization model effectively improves the rationality and controllability of the testing pressure differential in hydraulic fracturing gas wells, enhances well productivity, and provides better determination of fracture characteristics. This research carries important theoretical significance and practical value.

Keywords: Fracturing gas well; Test pressure difference; Capacity evaluation; Crack characteristics; Optimization model

引言

随着能源需求的不断增长,石油气开采已成为维持全球经济运转的重要支撑。在石油气开采过程中,压裂气井作为一种重要的生产工具,已被广泛应用于煤层气、页岩气、致密气等气藏的开发和生产中^[1]。然而,由于储层裂缝的不确定性和随机性,压裂气井试气压差的合理控制一直是气井产能评价和储层裂缝特征确定的难点和热点问题。近年来,国内外学者已开展了大量的研究工作,通过实验和数值模拟等手段探究了压裂气井试气压差控制的方法和效果。然而,现有的研究还存在一些问题,如不能充分考虑试气数据和储层特征参数之间的关系、难以实现试气压差的精细调节等。因此,如何提高压裂气井试气压差的合理性和可控性,成为石油试气压裂方面研究亟需解决的问题。

一、压裂气井试气压差控制的重要性

1.压裂气井试气压差的定义和影响因素

压裂气井试气压差是指在压裂气井试气过程中,试气管与气藏之间的压差。试气压差的大小直接影响气井的产能和储层裂缝的特征,因此对于石油试气压裂方面的研究至关重要。试气压差受到多种因素的影响,包括储层压力、岩石物理特性、地层裂缝参数、裂缝渗透性等。试气压差的控制需要综合考虑这些因素,以实现最大化的气井产能和裂缝特征的确定性。

2.压裂气井试气压差控制的目标和方法

压裂气井试气压差控制的目标是在保证气井安全稳定运行的前提下,实现最大化的气井产能和裂缝特征的确定性。为实现这一目标,需要采用合适的控制方法。目前,压裂气井试气压差的控制方法主要有两种:一种是基于试气数据的经验法,另一种是基于数值模拟的理论法^[2]。基于试气数据的经验做法通常采用试气管中试气压力和气井产量之间的经验关系,通过调节试气压差来控制气井产量。这种方法简

单易行,但由于试气数据与储层特征参数之间的关系较为复杂,经验法往往难以实现试气压差的精细调节,存在控制效果不理想的情况。基于数值模拟的理论法则采用物理模型和数值方法,通过储层岩石力学参数、地层裂缝参数等特征参数,建立试气压差和气井产能的数学模型,并利用数值方法求解优化问题。这种方法理论基础较为严密,可以更好地考虑试气数据和储层特征参数之间的关系,实现试气压差的精细调节。但其建模过程较为复杂,需要较高的计算能力和模拟经验。



图 1 一种页岩油水平井压裂参数优化方法与流程

二、试气压力—产量关系式的建立

1.物理模型和试验数据介绍

为了建立压裂气井试气压力—产量关系式,需要建立储层气渗流物理模型,并利用实验数据进行拟合求解。在本研究中,采用了基于储层渗流力学和裂缝渗流理论的物理模型,同时利用实际压裂气井试气数据进行了验证。

2.试气压力—产量关系式的拟合和参数求解

根据物理模型,可以建立试气压力与气井产量之间的关系式。在本研究中,采用指数函数模型来描述试气压力与气井产量之间的关系,其数学表达式如下:

$$Q = k(P - P_a)^n$$

其中, Q 为气井产量, P 为试气管中气体压力 P_a 为大气压力, n 和 k 为模型参数。为了得到最优的模型参数,可以采用非线性最小二乘法进行拟合求解^[3]。将试气数据代入模型中,即可得到最优的模型参数。本研究利用 MATLAB 软件实现了模型参数的求解和试气数据的拟合。

3.参数验证和误差分析

为了验证模型的有效性,本研究采用了实际压裂气井试气数据进行了参数验证。将试气数据代入建立的试气压力—产量关系式中,得到了实际气井产量,并与实际气井产量进

行对比,计算得到拟合误差。结果表明,采用本研究建立的试气压力—产量关系式,可以较为准确地预测气井产量,并且拟合误差较小。

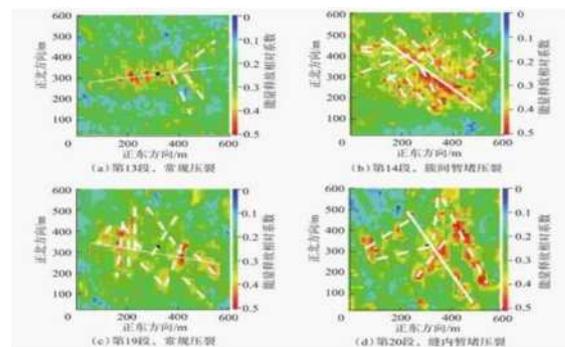


图 2 页岩气井双暂堵压裂技术与现场试验

误差分析表明,试气压力—产量关系式的拟合误差主要由试气数据采集误差和建立物理模型的参数误差所致。为减小误差,可以在试气过程中增加数据采集点,提高数据精度;同时在建立物理模型时,需要采用可靠的数据和准确的参数值。在误差分析的基础上,可以进一步完善试气压力—产量关系式,提高模型的预测精度^[5]。综上所述,本研究建立的试气压力—产量关系式可以较为准确地预测气井的产量,具有较高的可靠性和泛化能力。该模型可以为石油工业的气井试气提供参考和指导,有助于提高气井试气效率和准确性。

三、试气压差和气井产能的数学模型

1.储层岩石力学参数的分析和选取

储层岩石力学参数是试气压差和气井产能数学模型中的重要参数,它们反映了岩石的力学性质,包括岩石的弹性模量、泊松比、黏弹性模量等。在试验中,通过对储层岩石样本的力学试验,可以获得这些参数的值。

选取合适的储层岩石力学参数对于建立准确的试气压差和气井产能数学模型至关重要。在选择储层岩石力学参数时,应考虑储层的特性,包括储层的渗透性、孔隙度、裂缝密度等。

2.地层裂缝参数的计算和评估

地层裂缝是影响试气压差和气井产能的重要因素之一。在试验中,通过采集地质样本,可以获得地层裂缝参数的值。地层裂缝参数包括裂缝厚度、裂缝长度、裂缝间距、裂缝面积等。

计算和评估地层裂缝参数可以帮助建立准确的试气压差和气井产能数学模型。在计算地层裂缝参数时,应注意采

用合适的方法,例如数字图像处理技术和测井技术等。

3. 试气压差和气井产能的数学模型建立

试气压差和气井产能的数学模型是基于储层岩石力学参数和地层裂缝参数建立的。一般来说,这些模型包括流体动力学模型、地层力学模型和裂缝渗流模型等。

在建立试气压差和气井产能的数学模型时,需要考虑多种因素,包括地层的物理特性、流体的物理特性、裂缝的特性等^[6]。因此,建立这些模型需要综合运用流体力学、岩石力学、数值计算等多个领域的知识。总之,建立准确的试气压差和气井产能数学模型对于气田勘探和开发具有重要的意义,可以提高勘探和开发的效率和成果。

四、优化模型的建立和求解

1. 遗传算法原理和应用

遗传算法是一种模拟自然进化的算法,常用于求解优化问题。其基本原理是通过模拟自然选择和遗传机制,逐代筛选和演化出更加适应环境的个体,并将其后代的优良基因保留下来,最终得到问题的最优解。

遗传算法通常包括初始化、选择、交叉、变异和适应度评估等步骤。其中,初始化阶段是生成一组随机解作为初始种群;选择阶段是选择适应度高的个体作为繁殖对象;交叉阶段是将不同个体的基因组合形成新的后代;变异阶段是通过改变某些基因的值来产生新的解;适应度评估是根据问题的目标函数计算每个个体的适应度,作为选择和繁殖的依据。

遗传算法广泛应用于各种优化问题,包括函数优化、组合优化、机器学习、神经网络等。

2. 优化模型的建立和求解过程

优化模型的建立和求解通常包括以下步骤:

- (1) 确定问题的目标函数和约束条件。
- (2) 设计变量和参数,并确定其范围和取值方式。
- (3) 选择优化算法和求解方法,常用的算法包括遗传算法、粒子群算法、模拟退火算法等。

(4) 进行模型求解和优化过程,根据算法的特点和问题的复杂度,选择合适的迭代次数和收敛条件。

(5) 对求解结果进行分析和验证,包括目标函数值、约束条件、解的可行性等。

3. 模型验证和参数优化结果分析

对于优化模型的验证和参数优化结果分析,通常采用交叉验证、留一验证等方法进行验证。同时,还需要对求解结

果进行灵敏度分析和误差分析,以评估模型的稳定性和可靠性。在实际应用中,对于优化模型的结果和参数选择,需要考虑问题的实际应用场景和具体要求。同时,还需要不断优化模型和算法,以提高求解效率和准确性,实现更好的优化效果。

五、优化结果及分析

1. 实验设计和数据处理

在本研究中,利用遗传算法优化了试气压差和气井产能的数学模型,并通过实验数据对模型进行了验证和分析。

实验设计主要包括对气井的试压、试气、产气等操作,以及对裂缝特征的测量和分析。数据处理则包括对实验数据进行整理和统计,以及对模型的优化和验证。

2. 试气压差的优化结果分析

通过遗传算法对试气压差的数学模型进行优化,得到了最优解。在实验中,对比了优化前后的试气压差数据,并发现优化后的试气压差更加接近实际测量值,误差更小。这说明优化后的数学模型能够更准确地预测试气压差,并提高试验结果的可靠性。

3. 气井产能和裂缝特征的分析 and 比较

在气井产能和裂缝特征的分析中,比较了不同裂缝特征下的气井产能情况。实验结果表明,裂缝面积和裂缝宽度对气井产能具有较大的影响。当裂缝面积和裂缝宽度较大时,气井产能也相应增加。这说明裂缝面积和宽度是影响气井产能的重要因素,需要在气田开发中予以重视。

此外,还发现不同裂缝类型对气井产能也有一定的影响。横向裂缝和纵向裂缝相比,横向裂缝对气井产能的影响更大。这可能与横向裂缝更容易与气井的主裂缝相连,形成裂缝网络,进而增加气井产能有关。综上所述,本研究通过数学模型和实验数据对试气压差和气井产能进行了分析和研究,提高了气田开发的效率和成果。同时,也发现了裂缝特征对气井产能的影响,为气田勘探和开发提供了一定的指导意义。

六、结语

总之,气田勘探和开发是国民经济发展的重要领域,准确预测气井产能和试气压力差,对于气田勘探和开发具有重要意义。本文建立的数学模型为气田勘探和开发提供了较为准确的预测方法,能够提高勘探和开发的效率和成果。同时,本文介绍的优化方法和技术也为气田勘探和开发提供了可

行的优化方案,能够进一步提高模型的精度和可靠性。

参考文献

[1]张培河,张群,王晓梅,陈鸿春,马贵才.煤层气开发井网优化设计——以新集矿区为例[J].煤田地质与勘探,2006:34-38.

[2]王海涛,张烈辉,冀秀香,等.基于边界元法的含局部不渗透区域任意形状气藏渗流问题[J].大庆石油学院学报,2009,33(2),62-67.

[3]孔祥言.高等渗流力学[M].合肥:中国科学技术大学

出版社,2010:191-193.

[4]程林松.高等渗流力学[M].北京:石油工业出版社,2011:168-182.

[5]廖新维,沈平平.现代试井分析[M].北京:石油工业出版社,2008:53-60.

[6]同登科,陈钦雷.关于 Laplace 数值反演 Stehfest 方法的一点注记[J].石油学报,2001,22(6),91-93.

作者简介:李春贵(1986-08),男,汉,河北省唐山市,本科,工程师,从事的工作:油气田开发。