

Study on the influence of horizontal well trajectory optimization on oil and gas reservoir development efficiency

Xiaobo Zhang

Chuanqing Drilling Changqing Drilling General Corporation, Xi'an, Shaanxi 710021, China

Abstract

Horizontal well drilling technology is playing an increasingly vital role in oil and gas reservoir development, where the optimization of drilling trajectories directly impacts production efficiency. This paper first outlines the fundamental concepts and classifications of horizontal well drilling trajectories, followed by an analysis of their optimization principles—including geological guidance, engineering feasibility, economic viability, and dynamic adaptation. Subsequently, it examines traditional and modern methods for optimizing horizontal well trajectories, with contemporary approaches encompassing intelligent algorithms, numerical simulation techniques, and geologically guided drilling technologies. Building on this foundation, the study further explores how optimized horizontal well trajectories influence reservoir contact efficiency and wellbore integrity, ultimately drawing relevant conclusions.

Keywords

horizontal wells; drilling trajectory optimization; oil and gas reservoir development efficiency; reservoir contact; wellbore integrity

水平井钻井轨迹优化对油气藏开发效率的影响研究

张小波

川庆钻探长庆钻井总公司, 中国·陕西 西安 710021

摘 要

水平井钻井技术在油气藏开发中发挥着日益重要的作用, 而钻井轨迹的优化与否直接关系到油气藏的开发效率。本文首先阐述了水平井钻井轨迹的基本概念与分类, 接着分析了其优化设计原则, 当中包括地质导向、工程可行性、开发经济性和动态适配原则。随后介绍了传统和现代的水平井钻井轨迹优化常用方法, 其中现代方法涵盖了智能算法、数值模拟法和地质导向钻井技术等。在此基础上, 再深入地探讨了水平井钻井轨迹优化对储层接触效率和井筒完整性的影响, 最后得出了相关的结论。

关键词

水平井; 钻井轨迹优化; 油气藏开发效率; 储层接触; 井筒完整性

1 引言

现阶段, 随着全球能源需求的不断增长, 油气资源的勘探与开发面临着越来越严峻的挑战。但常规直井钻井技术在面对复杂油气藏、低渗透油气藏等情况时, 难以实现高效地开发。而水平井钻井技术凭借其能够增加井筒与储层的接触面积、提高油气产量等优势, 逐渐地成为了油气藏开发中的重要技术手段。

水平井钻井轨迹是指水平井从井口到井底的空间路径, 其设计与优化是水平井钻井工程的核心环节之一。只有具有合理的钻井轨迹, 才能够最大限度地穿越油气富集区域, 进而提高储层的动用程度, 达到提升油气藏开发效率的效果。相反, 不合理的钻井轨迹则可能会导致井筒偏离目标储层,

以此降低了储层接触的效率, 且增加了钻井成本和生产风险。虽然近些年来随着计算机技术、测量技术和智能算法的不断发展, 水平井钻井轨迹优化技术取得了长足的进步, 已然有各种先进的优化方法和技术手段被应用到了实际工程当中, 它们为提高水平井钻井质量和油气藏开发效益提供了有力的支持。然而在实际应用的过程中, 水平井钻井轨迹优化仍面临着诸多复杂的问题, 如地质条件的不确定性、多目标优化的冲突性等等。本文将从水平井钻井轨迹的基本概念与分类入手, 详细地阐述其优化设计原则和常用方法, 重点在于分析轨迹优化对储层接触与井筒完整性的影响, 以期能够为水平井钻井轨迹优化实践和油气藏高效开发提供有益的借鉴^[1]。

2 水平井钻井轨迹基本概念与分类

水平井钻井轨迹是描述水平井在地下空间延伸路径的曲线, 它由一系列连续的点组成, 且每个点都有特定的坐标

【作者简介】张小波 (1979-), 男, 中国甘肃庆阳人, 本科, 工程师, 从事石油工程钻井技术研究。

(通常包括了井深、井斜角和方位角)。其中井深是指从井口到该点的测量长度;井斜角是指井筒轴线与铅垂线之间的夹角;方位角则是井斜方向与正北方向之间的夹角(顺时针计算)。上述这三个参数共同决定了水平井在地下的空间位置和延伸方向,它们是描述水平井钻井轨迹的基本要素。在水平井钻井轨迹的设计与实施当中,需要综合地考虑到地质条件、储层特征、工程技术水平和开发目标等多种因素。该过程的核心目标是使水平段能够最大限度地目标储层中延伸,进而提升井筒与储层的接触质量和面积,得以实现油气的高效开采。而根据水平井钻井轨迹的形态和特点,可将其分为以下几种主要的类型。

第一种是二维水平井,二维水平井的轨迹在一个铅垂平面内变化,即方位角保持不变,仅井斜角发生变化。因为这种类型的水平井设计相对简单,比适用于储层分布相对稳定、构造简单的油气藏。它的优点是钻井施工难度较小且成本较低,缺点为对储层的适应性较差。当储层存在着横向变化或非均质性时,便难以实现最佳的储层接触。第二种为三维水平井,三维水平井的轨迹一般在三维空间内变化,仅需根据需要改变井斜角和方位角,因此这种类型的水平井能够更好地适应复杂的地质构造和储层分布。它可以绕开断层、盐丘等障碍物,准确地进入目标储层的最佳位置。但三维水平井的设计和施工难度较大,需要高精度的测量和控制技术,目前它在提高油气藏开发效率方面具有显著的优势,尤其适用于复杂油气藏的开发。第四种是分支水平井,而分支水平井是指在主水平井眼的基础上,再钻出多个分支井眼,这些分支井眼可以在不同的方向和深度上延伸至储层的不同区域。由于分支水平井能够进一步地扩大井筒与储层的接触面积,可以提高储层的动用程度,因此适用于低渗透、非均质的油气藏。第五种是径向水平井,所谓径向水平井是从垂直井筒或水平井筒中向储层径向钻出多个短半径的水平井眼,尽管这些井眼长度相对较短,但数量比较多,所以能够在储层中形成密集的井网。实践中这种类型的水平井主要用于改善低渗透储层的渗流条件,进而可以提高油气的采收率。

3 水平井钻井轨迹优化设计原则

3.1 地质导向原则

地质导向原则是水平井钻井轨迹优化设计的首要原则,它强调在钻井的过程中要以地质信息为指导,以确保水平段能够准确地穿越目标储层。地质因素则是影响油气藏开发的根本因素,只有使钻井轨迹与储层特征相匹配,才能最大限度地提高油气的产量。为此在设计的过程中,需要充分地利用前期的地质勘探资料,如地震剖面、测井数据、岩心分析结果等等,务必明确目标储层的埋深、厚度、横向分布范围、物性特征(如孔隙度、渗透率)以及含油气情况等。再根据上述信息,确定出水平段的目标层位和延伸方向,尽量使水平段能够位于储层的高孔隙度、高渗透率区域和油气富集区^[2]。

3.2 工程可行性原则

工程可行性原则要求水平井钻井轨迹的设计必须考虑现有的钻井设备、技术水平和施工能力,目的是确保轨迹能够安全、顺利地实施。因为无论设计的轨迹多么理想,如果在工程上无法实现,都只能是纸上谈兵。所以需要考虑到钻井设备的性能限制、钻井工艺的可行以及井眼的稳定性。

3.3 开发经济性原则

开发经济性原则即在水平井钻井轨迹的优化与设计,一定要综合地考虑到钻井成本、生产收益等因素,以最小的投入获得最大的产出,进而确保油气藏开发具有良好的经济效益。而钻井成本就是油气藏开发成本的重要组成部分,当中包括了设备租赁费用、钻井材料费用、人工费用、测量费用等等。同时还要考虑到生产收益与后期的生产维护成本。

3.4 动态适配原则

动态适配原则强调水平井钻井轨迹的设计要具有一定的灵活性和适应性,即能够根据油气藏开发过程中的动态变化进行调整和优化。原因是油气藏的开发是一个动态过程,随着开采时间的推移,储层中的油气分布、压力场、温度场等都会发生一定的变化,那么初始设计的钻井轨迹就不再适应于新的开发需求。基于此,设计轨迹时就需要充分地考虑到油气藏的动态特征,提前预留好一定的调整空间。

4 水平井钻井轨迹优化常用方法

4.1 传统优化方法

传统优化方法是在长期的钻井实践中形成和发展起来的,它主要基于经验和简单的数学模型进行轨迹优化。当前最常使用的传统优化方法便是经验法,该方法主要依靠于钻井工程师的实际经验和现场数据来设计和优化钻井轨迹。即钻井工程师需要根据自己以往在类似地质条件和储层特征下的钻井经验,确定出轨迹的大致走向、井斜角和方位角的变化范围等。因为这种方法简单易行,所以适用于地质条件相对简单、储层分布稳定的情况。可经验法具有较强的主观性,受到工程师个人经验的影响较大,因此对于复杂油气藏的轨迹优化效果往往不够理想。

4.2 现代优化方法

跟随着计算机技术、人工智能技术和数值模拟技术的发展,现代优化方法在水平井钻井轨迹优化中逐渐得到了广泛地应用,它能够更精确、高效地实现轨迹优化。

4.3 智能算法

智能算法是一类基于自然界生物进化、群体行为等规律发展起来的优化算法,该方法具有全局搜索能力强、适应性好等特点,非常适用于解决复杂的多目标优化问题。实际在水平井钻井轨迹优化中,常用的智能算法包括了遗传算法、粒子群优化算法、模拟退火算法等等。

4.4 数值模拟法

数值模拟法的原理是利用计算机建立数学模型,然后对水平井钻井轨迹与储层的相互作用、油气流动规律等进行

模拟计算,从而实现轨迹的优化设计。具体来说:首先要根据地质资料和储层参数,建立起储层地质模型;然后建立水平井井筒流动模型和储层流体流动模型,用于模拟不同钻井轨迹下油气在储层和井筒中的流动状态,以此计算出油气产量、采收率等开发指标。最后通过对不同轨迹方案的模拟结果进行对比分析,从中选择出能够获得最佳开发效果的轨迹方案。

4.5 地质导向钻井技术

地质导向钻井技术即在钻井过程中实时地利用地质信息调整钻井的轨迹,它将随钻测量、随钻测井等技术与地质分析相结合,以实现轨迹的实时优化。即在钻井的过程中,经由随钻测井仪器实时地获取地层的自然伽马、电阻率、声波时差等测井数据,再结合随钻测量得到的井眼轨迹参数,随后由地质导向师对这些数据进行分析,判断出井眼是否位于目标储层中以及储层的性质变化。如果发现井眼偏离目标储层或者是即将进入非储层区域,地质导向师便会及时地向钻井工程师发出指令,提醒其及时地调整井斜角和方位角,使井眼可以重新回到目标储层之中^[9]。

5 水平井钻井轨迹优化对储层接触与井筒完整性的影响

5.1 对储层接触效率的影响

储层接触效率是指水平井井筒与有效储层的接触程度,一般情况会用水平段在目标储层中的长度占总水平段长度的比例来表示。结合实际来看,水平井钻井轨迹优化对于储层接触效率的影响主要体现在以下几个方面:

提高储层穿行率:经过优化的钻井轨迹能够根据储层的分布特征,准确地引导水平段在目标储层中延伸,从而最大限度地减少水平段在非储层或低品质储层中的穿行长度,有助于提高储层的穿行率。

增加储层接触面积:水平井的主要优势在于能够增加井筒与储层的接触面积,而轨迹优化可以进一步地扩大这一优势。即通过合理地设计水平段的走向和长度,使水平段尽可能地沿着储层的最大延伸方向延伸,同时根据储层的厚度变化来调整井斜角,保证水平段在储层中保持最佳的位置,最终最大限度地增加储层接触面积。

改善储层渗流条件:优化后的钻井轨迹能够使井筒穿过储层中的高渗透通道和裂缝发育带区域,而这些区域是油气流动的主要通道。经由优化轨迹,使井筒与这些高渗透通道和裂缝带充分地仅需接触,以此显著地改善储层的渗流条件,进而降低油气流动的阻力,促使油气的产出能力得到提升。

均衡储层动用程度:在一些大型的油气藏中,储层的物性和含油气性往往存在着较大的差异,如果轨迹设计的不合理,就可能或导致部分区域被过度地开采,而其他区域动用不足。但通过轨迹优化,便可以根据储层的非均质性,合理地布置水平段的位置和走向,使储层各区域都能得到较为均衡的动用。

5.2 对井筒完整性的影响

井筒在其整个生命周期内,若能够有效地阻隔油气、水等流体在不同地层之间窜流,防止井筒泄漏的情况出现,使钻井、完井、生产和修井等作业环节得以安全地进行,即井筒的完整性。而水平井钻井轨迹优化对井筒完整性的影响主要体现在以下几个方面:

降低井眼轨迹弯曲应力:水平井钻井轨迹的弯曲程度直接影响着井筒所承受的应力。一旦轨迹设计的不合理,如出现过大的曲率或急剧的角度变化,便会使井筒在弯曲的部位产生较大的弯曲应力。

减少井眼坍塌风险:井眼坍塌是目前影响井筒完整性的主要因素之一,而井眼轨迹的设计与井眼坍塌风险是密切相关的。若存在不合理的轨迹,则可能导致井眼穿过不稳定地层的长度增加,或者使井眼周围的应力分布不均,如此便增加了井眼坍塌的可能性。

提高固井质量:固井作为保证井筒完整性的关键环节之一,其质量的好坏直接影响着井筒的密封性。由于水平井的固井质量受到井眼轨迹的影响较大,尤其是水平段的固井难度较高。如果轨迹存在着较大的弯曲或井眼不规则的情况,就会导致套管居中困难以及水泥环厚度不均,从而影响到固井的质量。

6 结语

未来油气藏勘探开发难度会不断地增加,技术也会不断地进步,即水平井钻井轨迹优化技术仍有较大的发展空间。而未来的研究方向可以包括多学科融合优化、智能化和自动化优化、考虑动态地质条件的优化、新型优化算法的应用这几个方面。相信通过以上研究方向的深入探索,有望进一步地提高水平井钻井轨迹优化技术水平,进而为油气藏的高效开发提供更加有力的技术支持。

参考文献

- [1] 谢鑫,徐浩,付成林,等.水平井钻井轨迹控制研究[J].精细石油化工进展,2022,23(05):31-35.
- [2] 黄洪伟,贾雨婷.浅层水平井钻井轨迹控制技术[J].石化技术,2021,28(04):75-76.
- [3] 惠晶晶.水平井钻井轨迹影响因素与控制对策研究[J].石化技术,2020,27(09):160+169.