

适应水平井钻井工程技术的应用方法及实践效益

吴佼佼 (陕西延长石油(集团)有限责任公司气田公司, 陕西 延安 716000)

摘要: 当前, 全球能源需求仍然呈现不断增长趋势, 相对的油气资源的开发难度却日益加大, 面对复杂地质条件和特殊油气藏类型, 传统的直井钻井技术应用效果不理想, 存在油井采收率低、开发成本高等问题, 而水平井钻井工程技术的应用提供了新的开发方案, 实现了油气资源的高效开发。本文概述了水平井钻井技术的概念、特点、优势、发展历程、现状、分类以及适用范围, 分析该技术成功应用的关键因素, 阐明水平井钻井工程技术的应用方式与实践, 为提升油田企业经济发展发挥巨大作用。

关键词: 水平井钻井; 关键因素; 应用方法; 实践效益

中图分类号: TE243 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167 (2025) 034-0061-03

Adapt to the application methods and practical benefits of horizontal well drilling engineering technology

Wu Jiaojiao (Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Co., LTD. Gas Field Company, Yan 'an Shaanxi 716000, China)

Abstract: At present, global energy demand continues to grow, while the difficulty of developing oil and gas resources is increasing day by day. In the face of complex geological conditions and special types of oil and gas reservoirs, the application effect of traditional vertical well drilling technology is not ideal, with problems such as low oil well recovery rate and high development cost. However, the application of horizontal well drilling engineering technology provides a new development solution. The efficient development of oil and gas resources has been achieved. This article provides an overview of the concept, characteristics, advantages, development history, current situation, classification and application scope of horizontal well drilling technology. It analyzes the key factors for the successful application of this technology, clarifies the application methods and practices of horizontal well drilling engineering technology, and plays a significant role in enhancing the economic development of oilfield enterprises.

Key words: Horizontal well drilling; Key factors; Application method; Practical benefits

随着能源需求的持续增长, 油气资源的勘探与开发日益重要, 在油气田开发过程中, 水平井钻井工程技术发挥出独有优势, 已经成为油田钻井的重要方式^[1]。随着油田钻井的持续深入, 油气藏开采难度随之增加, 对钻井技术的要求也越来越高, 而适应水平井钻井工程技术的应用起到较为关键作用, 该技术可以应对复杂的地层结构、高温高压环境、储层非均质性等挑战。由于油气田开发逐步向深部地层、海上勘探及非常规油气藏拓展, 这些领域的特殊环境和地质条件对钻井技术的精度、稳定性和安全性提出了更高的要求^[2]。因此, 深入研究适应水平井钻井工程技术的应用方法, 对于提高油气资源的开发效益、降低开发成本以及保障能源供应具有重要的现实意义。

1 水平井钻井工程技术概述

1.1 水平井钻井的概念、特点和优势

水平井钻井是一种特殊的钻井技术, 井眼轨迹不是垂直向下的, 而是在到达一定深度后, 沿油藏方向逐渐水平转向, 在油藏中保持较长的井筒水平延伸段。水平井钻井独具的特点, 就是可以显著增加井筒与储层之间的接触面积。与传统的直井相比, 水平井在储

层中的延伸范围更大, 可以更彻底地开发油气资源。它可以有效地降低井筒内的压降, 这意味着油气从储层流向井筒时的阻力减小, 有利于提高油气的生产效率。水平井钻井可以穿过多裂缝或薄油层, 提高储层利用率。特别适用于低渗透、薄储层等复杂油气藏的开发。该钻井技术优势尤其突出。它在提高油气采收率方面表现出色, 有效地提取了以前难以开采的剩余油气资源。对于一些低丰度油气储层, 水平井可以降低开发成本, 提高经济效益。此外, 它们还可以减少地面井场的占地面积, 最大限度地减少对环境的影响^[3]。

1.2 水平井钻井工程技术的发展历程和现状

水平井钻井工程技术早期的探索阶段由于技术手段的限制, 水平井钻井面临着井眼轨迹控制难度大、钻井工具和仪器不完善等诸多困难, 随着定向钻井技术和测量技术的不断进步, 水平井钻井逐渐走向成熟。在 20 世纪 80 年代, 水平井钻井技术开始得到广泛应用, 并在一些油气田取得了显著的效果, 此后随着随钻测量和地质导向技术的出现, 水平井钻井的精度和效率得到了极大提高, 而且各种新型钻井液和完井技术的研发, 也为水平井的成功实施提供了保障当前,

水平井钻井工程技术已经成为油气田开发的重要手段，在技术方面不断涌现出更加先进的井眼轨迹控制技术、高效的钻头和钻具组合、智能化的钻井监控系统等。在应用领域水平井不仅广泛应用于常规油气藏，还在非常规油气藏如页岩气、致密油等的开发中发挥着关键作用。但是尽管取得了显著进展，水平井钻井仍面临着复杂地层中的钻井安全问题、长水平段的延伸极限、高温高压环境下的钻井难题等挑战。

1.3 水平井钻井工程技术的分类和适用范围

水平井钻井工程技术根据不同的分类标准可以分为多种类型，按照井眼轨迹的形态，可分为单增水平井、双增水平井和多增水平井，单增水平井的井眼轨迹相对简单，从垂直段逐渐过渡到水平段；双增水平井则在垂直段和水平段之间存在两段增斜段；多增水平井的井眼轨迹更为复杂，适用于特殊的地质条件。就完井方式来看，水平井可分为裸眼完井、筛管完井和套管射孔完井等，裸眼完井成本较低但对储层的要求较高；筛管完井能够有效防止储层砂堵，适用于出砂较为严重的储层；套管射孔完井则具有较强的适应性但成本相对较高^[4]。水平井钻井工程技术的适用范围广泛，在油气藏类型上适用于低渗透油气藏、裂缝性油气藏、薄油层油气藏以及稠油油藏等；对于地质构造复杂的油气田，如断层发育、储层非均质性强的地区，水平井能够提高油气采收率；在海上油气田开发中，水平井可以减少平台数量，降低开发成本；在非常规油气资源的开发中如页岩气、煤层气等，水平井技术也具有独特的优势，能够实现大规模的储层改造和高效开采。

2 水平井钻井工程技术成功应用的关键因素

2.1 精确的地质勘查与储层认识

地质因素在水平井钻井工程中起着举足轻重的作用，不同的地质条件会给钻井作业带来各种各样的挑战，如地层岩石的硬度和抗压强度会直接影响钻进的速度以及钻头的磨损程度，较硬的岩石会致使钻进困难，不仅增加钻井的时间还提高了成本，而软弱的岩层则可能引发井壁坍塌之类的问题。地层的孔隙压力和破裂压力也是极为关键的因素，倘若孔隙压力过高而钻井液密度不足，就可能导致井涌甚至井喷，反之如果钻井液密度过大，超出了地层的破裂压力，又会造成地层破裂进而引发漏失。地质构造的复杂性像断层、褶皱等，会让井眼轨迹的控制变得困难重重，增加钻井的风险。针对这些地质因素的影响，需要采取相应的应对策略，在钻进之前进行详尽的地质勘探和分析，精确获取地层的各项参数，为钻井设计提供可靠依据；依照岩石的硬度和抗压强度，挑选适宜的钻

头类型和钻井参数，以提升钻进效率并减少钻头的磨损；通过精准计算地层的孔隙压力和破裂压力合理调控钻井液密度，确保钻井作业的安全；对于复杂的地质构造采用先进的地质导向技术和随钻测量工具，实时调整井眼轨迹，使其尽可能沿着预定的储层位置延伸。

2.2 钻井液体系的设计与应用

钻井液体系的设计需要充分考量水平井的特殊要求，钻井液要具备优良的润滑性，以减少钻柱与井壁之间的摩擦阻力，确保钻柱能够顺利地在水平段推进，降低扭矩和阻力，防止卡钻等事故的发生。要有较强的抑制性能够抑制地层中黏土矿物的水化膨胀，稳定井壁，避免井壁坍塌和掉块，并且钻井液还需拥有良好的携砂能力，将钻屑有效地携带出井眼，保持井眼的清洁，防止钻屑堆积影响钻进和井眼质量。在应用过程中，要依据实际的钻进情况及时调整钻井液的性能参数，如在钻遇易坍塌地层时，增加钻井液的抑制性和护壁能力；在高温高压地层，提高钻井液的抗温抗压性能。

2.3 井眼轨迹控制技术的应用

井眼轨迹控制技术是水平井钻井成功的核心要素之一，在水平井钻进的过程中，需要精确把控井眼轨迹，使其沿着预定的设计路径延伸，准确进入目标储层，测量技术是井眼轨迹控制的基础，随钻测量(MWD)和随钻测井(LWD)等技术能够实时获取井斜角、方位角、地层电阻率等参数，为轨迹的调整提供及时且准确的数据支持^[5]。其中的导向马达能够通过巧妙调整工具面角度来改变钻进的方向，而旋转导向系统则具备独特优势，其能够在旋转钻进的过程之中实现连续的井眼轨迹调整，并且具有更高的控制精度和钻进效率。值得注意的是在控制策略上需要依据地质实际情况和精准的测量数据制定出合理有效的钻进方案，并通过优化钻具组合、精心调整钻进参数等手段达成井眼轨迹的精准控制。

3 水平井钻井工程技术的应用方法及增产效果

3.1 水平井钻井工程的前期准备工作

水平井钻井工程的前期准备工作至关重要，其直接关系到整个钻井项目的成败，所以在开展水平井钻井之前，需要进行全面而深入的地质勘查，通过地质调查、地球物理勘探等手段，获取地层的构造、岩性、储层特征等详细信息，为井位的选择和井眼轨迹的设计提供依据。并且要根据地质资料和钻井目的，精心设计井眼轨迹，这包括确定造斜点、水平段长度、靶点位置等关键参数以确保井眼能够最大程度地穿越储层，提高油气采收率^[6]。除此之外，还需要选择合适

的钻井设备和工具,根据钻井深度、地层硬度等因素,配备性能优良、功率足够的钻机以及适应水平井钻进的钻头、钻具等。就人员而论,需要组建一支经验丰富、技术精湛的钻井团队,包括钻井工程师、地质工程师、司钻等专业人员,其要熟悉水平井钻井的工艺和技术,能够应对各种复杂情况。

3.2 水平井钻井过程中的施工工艺和技术要点

在水平井钻井的整个过程中,施工工艺和技术要点的精准把控对于钻井的成功与否起着举足轻重的作用,其中井眼轨迹控制技术无疑是重中之重,务必要实时监测井斜角、方位角等关键核心参数,并依据实际钻进的具体状况及时且灵活自如地调整钻具组合和钻进参数,以此确保井眼能够精准无误、分毫不差地沿着预定轨迹顺利延伸。在造斜段应当根据实际情况,精准地采用弯壳体马达、旋转导向系统等适宜有效的造斜工具和先进的工艺,通过这些手段达到井眼平滑造斜的理想效果,最大限度地避免出现井眼轨迹偏差过大等可能导致钻井失败的严重问题。钻井液的性能控制同样是整个钻井过程中的关键环节,这需要充分结合地层的独特鲜明特点如地层的硬度、孔隙度、渗透率等以及钻进过程中的实际切实需求,另外对钻井液的密度、黏度、滤失性等重要参数要进行精心细致、丝丝入扣、精益求精的精细调整,通过这种调整使钻井液能够在稳定井壁、携带岩屑、冷却钻头等方面发挥出最佳性能,为钻井的顺利进行提供有力保障,并最大程度地减少对地层的损害,保护油气资源的完整性和可采性。

3.3 水平井钻井后的完井和增产措施

水平井钻井成功完井后,为了达到高效油气生产的目的,必须实施有效的完井和增产措施。完井方法的选择取决于许多因素,例如储层特征、油气性质、采出要求等。常用的完井方法有裸眼完井、筛管完井、套管射孔完井等。裸眼完井通常适用于地层稳定性好、储层渗透率高的情况。筛管完井可以有效防止砂粒进入井筒,比较适合出砂严重的油藏。套管射孔完井具有较好的适应性。在完井过程中,应该对井筒进行全面清洗和妥善处理,并安装合适的井口设备和井下控制装置,为后续生产作业奠定坚实的保障基础。在增产措施上,可选择水力压裂、酸化等技术手段。水力压裂是指向地层中注入高压液体,制造人工裂缝,从而提高储层的渗透率。酸化则是利用酸溶解地层中的堵塞物,从而改善储层的孔隙结构,达到增产增效的目的。

4 具体水平井钻井项目的应用实践效益

在苏里格气田的天然气开发中,水平井钻井技术

发挥了关键作用。其中,导向钻井技术的应用提高了井眼轨迹的控制精度。例如,采用旋转导向系统,能够实时调整钻头的钻进方向,使井眼轨迹更加平滑,有效避免了井眼轨迹的大幅波动,减少了钻具与井壁的摩擦,降低了卡钻等风险。水平井的应用大大提高了苏里格气田的单井产量。与直井相比,水平井的泄气面积更大,能够更多地沟通天然气储层中的裂缝和孔隙。

通过水平井开采,单井的初始日产气量可达到直井的3-5倍,有效提高了气田的开发效益。虽然水平井钻井的初期投资相对较高,但由于单井产量的提高,分摊到单位产量上的成本降低。而且,水平井可以减少井场数量,降低地面工程建设成本等,从整个气田开发的全生命周期来看,实现了成本的有效控制。该技术在油田钻井工程实际应用后,油气田开发效率与经济效益得到显著的提升。

5 结论

在当前的能源形势下,提高油气资源的开发效率和质量是石油工业面临的重要任务,水平井钻井工程技术作为一种先进的钻井技术,具有显著的优势和广阔的应用前景,但是也面临着诸多挑战,只有通过地质因素的深入分析、钻井液体系的合理设计以及井眼轨迹的精确控制,才能够有效提高水平井钻井的成功率和油气采收率,为能源领域带来更大的发展。

参考文献:

- [1] 王维,韩金良,王玉斌,等.大宁-吉县区块深层煤岩气水平井钻井技术[J].石油机械,2023,51(11):70-78.
- [2] 贾利春,李枝林,张继川,等.川南海相深层页岩气水平井钻井关键技术与实践[J].石油钻采工艺,2022(02):44.
- [3] 苏善博,张培河,李林,等.寺河井田穿煤柱下组煤煤层气水平井钻井技术研究[J].煤炭工程,2023,55(3):78-83.
- [4] 李玉海,李博,柳长鹏,等.大庆油田页岩油水平井钻井提速技术[J].石油钻探技术,2022(05):50.
- [5] 袁建强.中国石化页岩气超长水平段水平井钻井技术新进展与发展建议[J].石油钻探技术,2023,51(4):81-87.
- [6] 问晓勇,张敏,牟春国,等.基于钻井岩屑评价水平井地层力学性质——以鄂尔多斯盆地太原组灰岩为例[J].钻采工艺,2024,47(1):87-93.

作者简介:

吴佼佼(1987-),女,汉族,陕西榆林人,本科,工程师,研究方向:油气田开发。