

水平井地质录井技术难点分析

姚子标

中石化经纬有限公司中原测控公司 河南 濮阳 457001

摘要：水平井地质录井技术面临岩屑代表性、地质导向及油气层识别与评价等难点，本文分析了这些难点的成因，提出了优化钻井液性能、改进岩屑捞取方法、提高地质导向精度、综合运用录井资料及优化取心方案等措施。同时，强调基于随钻测井资料的地层压力预测技术和复杂情况预警系统的重要性，为提升水平井地质录井技术的准确性和可靠性提供了有效路径。

关键词：水平井；地质录井技术；难点；措施

引言

随着油气勘探开发向深层、复杂地层推进，水平井技术因其高效开发油气资源的能力而得到广泛应用。但是水平井地质录井技术面临诸多挑战，如岩屑代表性不足、地质导向难度大、油气层识别与评价困难等，这些问题直接影响了油气勘探开发的效率和准确性。本文旨在深入分析水平井地质录井技术的难点，并探讨相应的解决措施，以期油气勘探开发提供更加精准、可靠的技术支持。

1 地质录井技术在水平井中的作用

地质录井技术作为油气勘探开发领域的核心技术手段，尤其在水平井作业这一复杂多变的场景中，展现出了其不可替代的重要性。该技术通过细致观察、深入分析以及精确测试钻井过程中从井筒返出的岩屑、岩心及钻井液等关键物质，为地质学家与工程师们提供了丰富的地层信息和油气显示信息，这些宝贵资料成了制定和调整勘探开发策略的关键依据。在水平井钻进过程中，地质录井技术不仅能够实时监测井眼轨迹，确保水平段精准钻遇目的层，显著提升油层钻遇率，优化钻井效率与经济效益；还能够通过详尽的岩屑、岩心分析以及气测数据综合解读，及时发现油气显示，精确评估油气层的性质、厚度及潜在产能，为完井作业与开发方案的制定提供坚实的科学支撑。同时该技术在地质压力预测与管理方面同样发挥着关键作用，通过实时监测钻井液密度、气体组分等关键指标，及时发现地层压力异常，提前预警并采取有效措施，有效预防井喷、井漏等复杂情况的发生，保障钻井作业的安全与高效。而且地质录井技术还能提供地层岩性变化、流体性质识别等关键信息，有助于深入理解储层结构，优化开采策略，为储层建模、流体流动模拟以及流体管理和开采方案设计提供重要指导，进一步推动油气勘探开发向更加智能化、精

细化的方向发展。

2 水平井地质录井技术难点

2.1 岩屑代表性问题

水平井地质录井技术作为油气勘探开发的核心技术，虽对准确评估地下油气资源分布及指导钻井作业至关重要，但在实际应用中却面临诸多挑战，尤其是岩屑代表性问题成为制约其应用效果的关键。在水平井钻进过程中，井身轨迹的高度复杂性和非直线性导致岩屑采集与分析极为复杂。钻井液携岩能力有限，使得不同层位的岩屑在井筒内易混杂，难以准确反映地层真实情况。加之岩屑在运移中受井壁摩擦和碰撞，形态特征模糊化，分析难度进一步加大。更为棘手的是，水平井井身轨迹复杂性导致岩屑迟到时间计算存在巨大误差。与垂直井中岩屑简单运移至地面、迟到时间计算相对准确不同，水平井中岩屑需经历漫长且复杂的运移过程才能到达地面，使得迟到时间计算极为困难，即使采用先进方法也难以确保准确性，这种深度误差导致地质学家在解读地质录井资料时难以准确匹配岩屑与地层深度，增加了地层分层难度，甚至可能导致油气显示层位误判，对勘探开发效率和准确性产生严重影响^[1]。

2.2 地质导向难度大

水平井地质录井技术中的地质导向难度显著，特别是在面对地层复杂多变、井眼轨迹不规则的挑战时，其精确性和可靠性对于油气勘探开发的成功与否至关重要。水平井往往穿越具有显著横向变化的地层，这些地层在岩性、电性特征等方面展现出显著差异，使得地层对比变得异常困难。传统的地层对比方法，基于测井曲线形态和岩性组合等特征进行对比，在水平井中难以准确建立与邻井之间的地层对应关系，因为井眼轨迹的不规则性可能导致地层特征在井筒内的表现变得复杂且难以预测。更为关键的是，在水平井的钻进过程中，实时

准确地判断井眼在地层中的位置是地质导向的核心任务,但实际操作中却面临诸多挑战。随钻测井(LWD)资料的分辨率有限,难以准确识别复杂地层中的微小变化,薄互层和地层界面倾斜这些变化直接关系到油气藏的分布和储层特性。而且地质模型的建立也面临挑战,由于地质条件的复杂性和不确定性,地质模型与实际地层存在差异,且在实际钻进过程中,钻井液性能变化、井壁稳定性差异、地层压力波动等因素可能导致井眼轨迹偏离,进一步增加了地质导向的难度。

2.3 油气层识别与评价难度大

在油气勘探开发中水平井地质录井技术的应用虽日益广泛,但油气层的识别与评价难度也随之显著增大。这一挑战主要源于油气显示特征的不明显以及评价参数获取的困难,这两大问题均与地质条件的复杂性、钻井工艺的局限性以及测量技术的不足紧密相关。具体而言,在水平井钻进的过程中,钻井液对油气层的浸泡和冲刷作用常导致油气显示特征被削弱或掩盖,如岩屑中的油气显示因钻井液冲洗而变得微弱甚至消失,气测异常值则可能因钻井液性能变化而失真,且水平井储层物性在水平方向上的显著差异进一步增加了识别的复杂性。同时在评价油气层产能和储量时,需获取孔隙度、渗透率、含油饱和度等关键参数,但在水平井中,这些参数的获取面临重重困难。井身结构的复杂性使得传统取心方法难以获取高质量岩心样品,即使成功获取,样品数量有限且代表性不足也限制了评价的全面性。此外随钻测井资料虽能提供一定储层参数信息,但测量环境的复杂性、仪器精度和分辨率的局限性,尤其在复杂地层中,均限制了其准确性和可靠性,从而影响了油气层评价的应用效果^[2]。

3 水平井地质录井技术难点的解决措施

3.1 提高岩屑代表性

岩屑作为钻井作业中从地层携带至地表的岩石样本,其蕴含的信息对于地层岩性的判断、油气显示的识别以及储层特性的评估具有举足轻重的意义,但是水平井独特的井身结构,加之钻井液性能、捞取方法及迟到时间计算等多方面的复杂因素,使得岩屑的代表性难以得到保证。一是优化钻井液性能,这包括选择适宜的钻井液体系,并依据地层特性和钻井工艺需求精准调整其流变参数,以增强钻井液的携岩和悬浮能力,从而减少岩屑在井筒内的沉降与混杂,同时合理调控钻井液的排量和泵压,确保岩屑能够顺畅地返回井口。二是改进岩屑捞取方法,传统的捞取方式往往效率低下,岩屑混杂严重,因此,安装高效的岩屑分离器,通过物理或化学

手段实现岩屑与钻井液的有效分离,降低钻井液对岩屑的污染,同时增加捞取频率和密度,以获取更多样化的岩屑样本,全面反映地层岩性特征和油气显示情况,并且岩屑的保存与处理亦不容忽视,需避免其在保存和运输过程中的变质或污染,以保障后续分析的准确性。三是准确计算岩屑迟到时间,水平井中井眼轨迹的复杂性和井筒内流体流动特性的影响,使迟到时间的计算误差较大,所以需构建适用于水平井的迟到时间计算模型,该模型应全面考虑井筒内流体流动特性、岩屑运移规律及井眼轨迹等因素,并通过实测数据进行校准验证,并且利用随钻测量技术实时监测岩屑返出时间,对计算结果进行修正,为迟到时间的精确计算提供有力支撑。

3.2 提高地质导向精度

在油气勘探与开发领域,提升地质导向精度是保障水平井精准穿越目标油气层、优化储层利用效率及增产油气产量的核心要素。面对复杂多变的地质环境,加强地层对比研究和提高井眼位置实时判断精度成为强化地质导向能力的两大支柱。地层对比研究,作为地质导向的基石,综合地质、地球物理等多元信息,于水平井设计初期即广泛搜集并分析邻井地质资料,构建详尽地层模型,该模型不仅刻画地层垂向特征,还揭示地层间横向联系。随着钻井作业深入,实时录井资料与邻井资料精细比对,结合随钻测井(LWD)高分辨率数据,准确识别地层标志层与特征层,引导水平井沿预定地层路径行进。同时地震资料的融入为层位追踪与对比提供了宏观视角,助力识别更广泛的地层构造特征,增强地层对比的精确性和可靠性。在此基础上,提高井眼位置实时判断精度就要求随钻测量仪器具备高精度与高分辨率,实时捕捉并解析地层信息。高分辨率电阻率成像测井(FMI)技术直观展示地层层理、裂缝、孔隙结构等特征,为井眼位置判断提供直观依据;核磁共振随钻测井(NMR-LWD)技术则揭示地层孔隙度、渗透率及流体类型等关键信息,强化地质导向决策支持。这些先进技术的应用,使地质工程师实时掌握井眼周围地层详情,灵活调整钻井策略。结合地质模型与实时测量数据,利用先进地质导向软件进行井眼轨迹模拟与预测,是精确地质导向的关键。地质导向软件依据实时数据动态更新地质模型,模拟不同钻井方案下井眼轨迹走向,预测井眼与目标油气层相对位置,通过对比模拟结果与预期目标,地质工程师迅速识别偏差,依据软件预测调整钻井参数,确保水平段精准钻遇目的层^[3]。

3.3 提高油气层识别与评价能力

提高油气层识别与评价能力是保障资源高效开发、

优化生产策略及最大化经济效益的重中之重,这一能力的提升,既要求深入理解地质理论并不断技术创新,又需综合运用多种录井资料,并精心设计与执行取心方案。油气勘探过程中,录井资料是了解地下油气藏特征的重要信息源,包括岩屑录井、气测录井、地化录井和核磁共振录井等。岩屑录井通过分析钻井返回的岩屑样品,初步判断地层岩性和含油性;气测录井则监测钻井液中逸出的气体成分及含量变化,识别油气显示;地化录井利用热解、色谱等技术分析烃类组分,为油气层性质提供化学证据;核磁共振录井则测量岩石孔隙中流体分子的核磁共振信号,获取孔隙度、渗透率等储层物性参数。将这些录井资料综合分析,相互印证,可建立全面的油气层识别标准。应用计算机技术和人工智能算法,能从海量数据中提取关键信息,自动识别油气层,提升识别准确性和效率,大数据和云计算技术的发展,更使录井数据的存储、处理和分析能力大幅提升,实现实时在线监测和预警,而在油气层评价方面,优化取心方案同样关键,需选用适合水平井的取心工具和工艺,确保获取高质量岩心样品,并合理确定取心位置和长度,对关键层位和疑似油气层进行重点取心。同时要加强岩心的分析测试,通过孔隙度、渗透率、含油饱和度等参数测试,结合现代分析手段,深入了解储层微观结构和流体特征,为产能预测和开发方案设计提供科学依据,并且运用地质统计学方法对岩心数据进行空间插值和模拟,可构建精细地质模型,指导油气田后续开发调整和优化。

3.4 提高随钻监测与预警能力

针对水平井复杂的地质条件和井眼轨迹,传统地层压力监测方法往往难以精准反映实际情况,所以研究和应用适合水平井的地层压力监测技术显得尤为重要,基于随钻测井资料的地层压力预测技术,通过实时采集电阻率、声波时差、密度等测井数据,结合地质模型和压力预测算法,能够动态预测地层压力变化趋势,为钻井决策提供及时准确的信息。同时利用地震资料进行地层压力反演也是一种有效手段,通过地震波传播特性反演出地层密度、速度和压力等参数,评估地层压力分布,

不仅适用于水平井,还在区域地质研究、油气藏评价等方面具有广泛应用。为了提升地层压力监测准确性,建立涵盖不同地区、不同类型水平井地层压力数据的地层压力监测数据库至关重要,通过数据分析和挖掘,总结地层压力变化规律,为未来预测提供可靠参考,建立复杂情况预警系统也是提高随钻监测与预警能力的关键,该系统利用现代信息技术实时采集钻井液性能、泵压、扭矩、钻速等关键参数,结合专家系统和人工智能算法进行深度分析和智能判断,预测井漏、卡钻、地层坍塌等复杂情况的发生趋势,并提前发出预警信号。在井漏预警方面,可以通过实时监测钻井液液面、流量等参数,结合井漏模型和智能算法,迅速判断井漏并预测漏失量,为及时采取措施避免事故提供有力支持,为了进一步提升预警系统的准确性和可靠性,还需不断优化算法模型,提高数据处理效率,加强系统集成性和兼容性,实现数据实时共享和高效利用,同时注重系统易用性和用户友好性,提高钻井人员的接受度和使用意愿^[4]。

结语

综上所述,水平井地质录井技术难点众多,但通过优化钻井液性能、改进岩屑捞取方法、构建精确的地质模型、应用先进的地质导向软件、综合分析多种录井资料以及提升随钻监测与预警能力等措施,可以显著提高水平井地质录井技术的准确性和可靠性。未来,随着技术的不断进步和创新,水平井地质录井技术将为油气勘探开发提供更加智能化、精细化的解决方案,助力油气资源的高效开发。

参考文献

- [1]张春辉.水平井地质录井技术难点分析[J].中国石油和化工标准与质量,2020,40(14):230-231.
- [2]赵发宝.水平井地质录井技术难点及保障措施分析[J].西部探矿工程.2020,32(04):37-38+40.
- [3]江林.地质录井技术在水平井录井中的应用[J].化工设计通讯.2020,46(02):250+258.
- [4]李禹良.水平井地质录井技术难点和解决对策[J].石油石化物资采购,2022(8):85-87.