

水平井地质录井技术难点分析

方志愿

胜利地质录井公司 山东 东营 257000

摘要: 水平井地质录井面临井眼轨迹与地层匹配识别难、录井参数干扰大、岩性识别与储层参数表征精度低、数据传输处理瓶颈等问题。本文分析成因机理,提出优化路径,包括井眼轨迹、录井参数、识别精度、工况适配优化,并构建优化保障体系,涵盖技术团队能力提升、数据解译标准化、随钻技术迭代、地质与工程参数联动预判预警等方面,为水平井地质录井技术发展提供参考。

关键词: 水平井地质录井; 技术难点; 成因机理; 优化路径; 保障体系

引言: 在油气勘探开发领域,水平井技术凭借增大泄流面积、提高采收率等优势,得到广泛应用。水平井地质录井作为水平井钻井过程中的关键环节,能实时获取地层信息,为钻井决策和开发方案制定提供依据。然而,水平井的特殊井型,如井眼轨迹复杂、钻进深度大等,给地质录井带来诸多挑战。深入分析水平井地质录井技术难点、成因机理,探索优化路径与保障体系,对提高录井质量、保障钻井安全具有重要意义。

1 水平井地质录井技术难点分析

1.1 井眼轨迹与地层匹配的动态识别挑战

在水平井地质录井过程中,井眼轨迹与地层匹配的动态识别是一项极具挑战性的任务。由于水平井的井眼轨迹在三维空间中蜿蜒曲折,与地层产状之间的关系复杂多变,传统静态识别方法难以满足实时准确判断的需求。传统方法往往基于固定的地层模型和简单的轨迹假设,无法适应水平井轨迹的动态变化和地层的复杂性^[1]。在钻进过程中,地层岩性、物性等特征不断变化,每100米的井眼轨迹微小偏差都可能导致对地层认识的错误,进而影响后续的钻井决策和开发方案制定。如何利用先进的测量技术和数据处理算法,实现对井眼轨迹与地层匹配关系的动态、精准识别,是当前水平井地质录井亟待解决的关键问题之一。

1.2 随钻录井参数干扰与信号失真困境

随钻录井过程中,多种因素会对录井参数产生干扰,导致信号失真。一方面,钻井过程中的振动、冲击等机械作用会使传感器采集的数据出现波动和误差;另一方面,井下复杂的地质环境和电磁干扰也会影响信号的传输质量。这些干扰因素相互交织,使得录井参数难以真实反映地层的实际情况。在钻进深度达2000米时,这种干扰尤为明显,为克服这一困境,需要研发抗干扰能力强的传感器和信号处理技术,提高录井数据的可靠性和准确性。

1.3 岩性识别与储层参数表征精准度提升难题

岩性识别和储层参数表征是水平井地质录井的核心内容,但实现高精度并非易事。不同岩性的岩石在物理性质和化学性质上存在差异,可惜这些差异有时并不明显,给准确识别带来困难。储层参数如孔隙度、渗透率等的准确表征,需要综合考虑多种因素,包括岩石成分、结构、成岩作用等。经深入分析发现,准确识别岩性的难度较大。如何利用先进的地球物理测井技术和实验室分析方法,结合地质统计学和人工智能算法,提高岩性识别和储层参数表征的精准度,是当前研究的重点方向。

1.4 复杂工况下录井数据实时传输与处理瓶颈

在复杂工况下,录井数据的实时传输与处理面临诸多瓶颈。井下高温、高压、强腐蚀等恶劣环境对数据传输设备提出了极高要求,而钻井过程中产生的大量数据又需要快速、准确地传输到地面进行处理和分析。这些恶劣环境可能导致设备故障、信号衰减等问题,影响数据的正常传输。当钻井速度达到每小时10米时,数据量会大幅增加。如何优化数据传输协议,提高传输效率,同时开发高效的数据处理算法,实现对录井数据的实时分析和解释,是保障水平井地质录井工作顺利进行的的关键环节。

2 水平井地质录井难点的成因机理分析

2.1 水平段地层非均质性对录井响应的影响机理

水平段地层非均质性是影响录井响应的关键因素之一。在水平井钻进过程中,地层在水平方向上的岩性、物性、含油气性等特征存在显著差异^[2]。这种非均质性导致录井仪器所接收到的信号产生复杂变化。例如,当钻遇不同岩性交界处时,岩石的物理性质突变,使得录井参数如钻时、钻压、岩屑成分等出现异常波动。在一段长度为300米的水平段地层中,可能存在多种岩性交替

出现的情况。而且,地层的非均质性还会影响钻井液的循环和携带岩屑的能力,进一步干扰录井响应的准确性。不同物性的地层对钻头的磨损程度不同,也会间接反映在录井数据中,增加了准确识别地层的难度。

2.2 钻井液体系与井眼环境对录井参数的干扰机理

钻井液体系与井眼环境对录井参数的干扰不容忽视。钻井液的成分、性能会直接影响录井过程中岩屑的采集和识别。若钻井液密度过高,可能会压碎部分岩屑,导致岩屑成分分析不准确;若钻井液粘度不合适,会影响岩屑的携带效率,造成岩屑返出不及时或缺失。钻井液的性能需要根据地层情况进行调整,但调整不当就会对录井产生负面影响。当钻井液密度超过1.5克/立方厘米时,对岩屑的破坏较为明显。井眼环境方面,井壁的稳定性和井径的变化等都会对录井参数产生干扰。井壁坍塌会使钻井液中混入大量井壁碎屑,掩盖真实地层信息;井径不规则会导致钻井液流动不畅,影响录井仪器的正常工作。

2.3 随钻测量工具局限性与数据解译的耦合机理

随钻测量工具存在一定的局限性,与数据解译之间存在紧密的耦合关系。随钻测量工具的精度和分辨率有限,在复杂地层条件下,难以准确获取地层的详细信息。不同测量工具对地层特征的敏感度不同,可能会遗漏某些关键信息。测量工具的性能受到技术水平和成本等因素的限制,难以做到尽善尽美。某随钻测量工具的测量精度为0.1米,在复杂地层中可能无法满足需求。数据解译过程中,由于对地层模型的认识不足或解译方法的不完善,会进一步放大测量工具的局限性带来的误差。测量工具的测量误差与数据解译的主观性相互交织,使得准确解读地层信息变得困难重重。

2.4 钻井工程参数与地质参数的联动作用机理

钻井工程参数与地质参数之间存在着复杂的联动作用。钻压、转速、排量等钻井工程参数的选择会直接影响钻进速度和钻头破岩效果,进而影响地质参数的获取。这些工程参数需要根据地质情况进行优化调整,但调整过程中又会对地质参数产生影响。当钻压达到50千牛时,钻进速度会有明显变化。较大的钻压可能会使钻头过快穿透地层,导致对地层特征的识别不充分;不合适的转速可能会影响岩屑的生成和携带。地质参数如地层硬度、岩石可钻性等也会反过来影响钻井工程参数的调整。当地层硬度突然增大时,若不及时调整钻压和转速,可能会导致钻头损坏或钻进效率低下。这种联动作用增加了水平井地质录井的复杂性和不确定性。

3 水平井地质录井难点的方法优化路径

3.1 井眼轨迹优化

为应对井眼轨迹与地层匹配的难题,需深入剖析地层特性与钻井工艺间的复杂关系,可依托详细的地层模型构建导向实时校正算法。在钻进过程中,借助高精度测量仪器持续获取井眼轨迹数据,同时结合预先构建的地层模型,分析当前轨迹与目标地层的偏离情况。通过实时监测和数据分析,能够及时发现轨迹偏差,为调整提供依据^[3]。通过实时反馈机制,运用先进的算法对井眼轨迹进行精准调整,使其紧密贴合目的层。这一过程充分考虑了地层非均质性的成因影响,能够根据不同地段的岩性、物性变化,动态优化轨迹走向,确保钻头始终在最佳路径上钻进,提高录井数据与地层实际情况的匹配度。在优化过程中,每50米进行一次轨迹调整评估。

3.2 录井参数优化

面对录井参数干扰与信号失真的问题,要充分考量钻井液体系及井眼环境对信号的复杂影响,采用多阶滤波与降噪技术是有效途径。钻井液体系及井眼环境产生的干扰信号复杂多样,多阶滤波技术能够根据信号的不同频率特征,进行分级处理,逐步剔除干扰成分。通过多级处理,可以有效去除不同频率范围的干扰信号,提高信号质量。同时结合先进的降噪算法,进一步消除信号中的噪声,提高录井参数的纯净度和准确性。该方案紧密对应钻井液体系干扰机理,通过对干扰信号的有效抑制,为后续的地质分析提供可靠的数据支持。

3.3 识别精度优化

鉴于随钻工具的局限性,需认识到单一数据源在反映地层真实情况上的不足,融合录井与测井的多源数据是提升识别精度的关键。不同数据源具有各自的优势和特点,将它们有机结合能够更全面地反映地层的真实情况。录井数据具有实时性,而测井数据具有更高的精度和分辨率,二者融合可以取长补短。通过建立岩性与储层参数表征模型,综合分析多源数据中的信息,挖掘数据之间的内在联系,从而更准确地识别岩性、确定储层参数。这一方法有效解决了随钻工具局限性带来的识别难题,为水平井地质录井提供了更精准的地质信息。

3.4 工况适配优化

针对复杂工况下的数据传输问题,要深入分析不同工况对数据传输的特殊要求,优化传输协议与应急处理流程是必要的。根据工程与地质参数的联动作用机理,设计适应不同工况的传输协议,确保数据在不同环境下都能稳定、高效地传输。传输协议需要考虑井下环境的复杂性和数据量的变化,以保证数据的可靠传输。同时建立完善的应急处理流程,当出现传输故障或数据异常时,能够迅速采取措施进行修复和调整,保障数据的实

时性和有效性，为水平井地质录井的顺利进行提供坚实的数据保障。

4 水平井地质录井技术的优化保障体系

4.1 技术团队能力提升与协同机制建设

水平井地质录井技术的持续优化，离不开技术团队能力的全面提升。需定期组织专业知识培训，涵盖地质勘探、钻井工程、录井技术等多领域内容，拓宽团队成员的知识视野，使其掌握前沿理论与技术方法^[4]。通过系统培训，可以提高团队成员的专业素养和综合能力，为技术创新提供人才支持。每年至少组织4次专业培训。同时，注重实践技能锻炼，通过模拟演练、现场实操等方式，提升团队成员解决实际问题的能力。在协同机制建设方面，打破部门壁垒，建立跨部门沟通平台，促进地质、钻井、录井等不同专业人员之间的信息共享与交流。明确各成员职责分工，制定详细的工作流程与协作规范，确保在项目实施过程中能够高效配合，形成强大的工作合力，为水平井地质录井技术优化提供坚实的人力支撑。

4.2 录井数据解译标准化与技术储备体系

建立录井数据解译标准化体系是保障技术优化的关键环节。制定统一的数据解译规范与流程，明确各项录井参数的解读标准与方法，减少人为因素导致的误差，提高数据解译的准确性与一致性。标准化体系可以规范数据解译过程，确保不同人员对数据的解读结果一致。制定至少10项详细的数据解译标准。同时构建完善的技术储备体系，收集整理国内外先进的技术资料与研究成果，建立技术知识库。鼓励团队成员开展技术创新研究，将新的理论与方法及时纳入技术储备体系，为录井数据解译提供更多的技术手段与思路，推动水平井地质录井技术不断向前发展。

4.3 随钻技术迭代与现场应用适配保障

随钻技术的迭代更新对于水平井地质录井至关重要。密切关注行业技术发展动态，积极引进先进的随钻测量仪器与工具，不断提升随钻数据的精度与可靠性。引进先进技术可以快速提升录井技术水平，缩小与国际先进水平的差距。每年至少引进2-3种先进的随钻测量仪器。加强

与科研机构的合作，开展随钻技术的自主研发与创新，突破关键技术瓶颈。在现场应用适配方面，根据不同地质条件与钻井工况，对随钻技术进行针对性调整与优化。建立现场应用反馈机制，及时收集应用过程中出现的问题与建议，为随钻技术的进一步迭代提供依据，确保随钻技术能够更好地服务于水平井地质录井工作。

4.4 地质与工程参数联动预判预警体系

构建地质与工程参数联动预判预警体系，能够提前发现潜在问题，保障水平井地质录井工作顺利进行。通过建立地质模型与工程参数之间的关联关系，利用大数据分析人工智能算法，对地质与工程参数进行实时监测与分析。大数据和人工智能算法可以处理大量的数据，挖掘数据中的潜在信息，为预判预警提供支持。当参数出现异常变化时，系统能够及时发出预警信号，并提供相应的预判结果与应对建议。系统可在参数异常后的1分钟内发出预警。帮助工作人员提前采取措施，避免事故的发生，降低钻井风险，提高水平井地质录井的效率与质量。

结束语

水平井地质录井技术难题的解决是一个系统工程。通过深入剖析技术难点成因机理，针对性提出优化路径，并构建涵盖技术团队、数据解译、随钻技术、预判预警等多方面的优化保障体系，能够有效提升水平井地质录井的精准度与可靠性。这有助于更好地指导水平井钻井作业，提高油气勘探开发效率，为油气行业的稳定发展提供坚实的技术支撑。

参考文献

- [1]李国铭.水平井地质录井技术难点及保障措施研究[J].西部探矿工程,2022,34(10):106-108.
- [2]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.
- [3]杨超超,王红发,张颜伊,等.随钻测井地质导向技术在水平井钻井中的应用[J].测井技术,2022,46(5):625-631,637.
- [4]丁大鹏.深层水平井优质储层钻遇率提高技术[J].西部探矿工程,2024,36(10):57-59.