

水平井地质导向录井关键技术分析

李 阳

中石化经纬有限公司华北测控公司 河南 郑州 450000

摘 要：随着全球能源需求的不断增长，水平井地质导向录井技术作为提高油气产量的关键手段，日益受到重视。该技术通过实时收集、记录和分析井下地质信息，结合随钻测量和地质导向原理，精确调整钻井轨迹，确保钻头在目标层中高效穿行。本文分析了水平井地质导向录井的关键技术，包括地质导向钻井方式、录井技术的发展及其多元化、综合化应用，以及计算机技术在录井中的重要作用。这些技术为优化钻井设计、提高钻井成功率和降低开发成本提供了有力支持。

关键词：水平井地质；导向；录井；关键技术

引言：随着油气勘探开发的不断深入，复杂地质条件下的油气藏开发成为新的挑战。水平井地质导向录井技术作为一种先进的钻探技术，在提高油气产量、降低开发成本方面发挥着重要作用。该技术通过实时监测和分析地质信息，优化钻井轨迹，确保钻头准确穿越油气藏的最佳位置。本文旨在深入探讨水平井地质导向录井的关键技术，为油气勘探开发提供理论支持和实践指导，推动油气工业的持续健康发展。

1 水平井地质导向录井技术概述

1.1 水平井钻井技术简介

水平井钻井技术是一种先进的钻探技术，通过特殊的井底动力工具和随钻测量仪器，使井眼轨迹在地下形成距离的水平延伸。这种技术能够显著增加井眼与储层的接触面积，从而有效提高油气产量。水平井钻井技术主要包括随钻测量技术、井眼轨迹控制技术、井壁稳定技术以及钻井完井液技术等。这些技术的综合运用，使得水平井钻井能够安全、高效地实现复杂的地下储层开发。

1.2 地质导向录井技术定义与原理

地质导向录井技术是指在水平井钻井过程中，根据地质资料、随钻测井及测量数据，实时调整井眼轨迹的测量控制技术。该技术依赖于高精度的随钻测井和测量仪器，能够实时获取地下的地质信息，如岩性、含油性等，从而为地质导向提供关键数据支持。地质导向录井技术的原理在于，通过综合分析钻井过程中获取的地质信息，地质导向师能够判断井眼当前位置与预设轨迹的偏差，并据此调整钻井方向。这种调整通常依赖于高精度的定向钻井工具和先进的导向模型软件，以确保井眼轨迹能够准确穿越油气藏的最佳位置。

1.3 地质导向录井技术在油气勘探开发中的重要性

地质导向录井技术在油气勘探开发中发挥着举足轻重的作用。（1）它能够显著提高油气井的钻探成功率。在复杂的地质环境下，传统的钻井方法往往难以准确穿越油气藏，而地质导向录井技术则能够实时监测和调整井眼轨迹，确保井眼能够准确到达油气藏的最佳位置。（2）地质导向录井技术能够降低钻井风险和成本。通过精确的地质导向，可以避免钻穿不利的地质层位，减少井眼报废和钻井事故的风险。同时，由于地质导向录井技术能够优化钻井轨迹，减少不必要的钻井长度，从而降低了钻井成本。（3）地质导向录井技术还能够为油气田的后续开发和生产提供重要的地质信息。通过对钻井过程中获取的地质资料进行分析和研究，可以为油气田的储量评估、开发方案设计以及生产优化提供科学依据。

2 水平井地质导向录井关键技术

2.1 数据采集与处理技术

数据采集与处理是水平井地质导向录井技术的基础，它依赖于高精度的随钻测量（MWD）与随钻测井（LWD）技术，以及多种录井方法。（1）随钻测量（MWD）与随钻测井（LWD）技术。随钻测量（MWD）技术利用安装在钻具上的测量仪器，实时获取井斜角、方位角、工具面角等钻井参数，为井眼轨迹控制提供数据支持。随钻测井（LWD）技术则是在MWD基础上发展起来的，用于解决水平井和多分枝井地层评价及钻井地质导向而发展起来的一项新兴的测井综合应用技术。LWD系统一般由井下仪器和井场信息处理系统两大部分组成，能够实时测量地层岩性、物性、含油气性等关键信息，为地质导向决策提供依据^[1]。（2）岩屑录井、钻时录井、气测录井等方法。岩屑录井是通过捞取、清洗、观察和描述钻出的岩屑，来判断井下地层岩性和油气层的直观方法。钻时录井则是通过记录不同地

层钻进时的钻速变化,来间接判断地层特性的方法。气测录井则是利用色谱分析技术,实时监测钻井液中烃类气体的含量和组成,以判断油气层的存在。这些方法综合运用,能够为地质导向提供丰富的地质信息。(3)数据采集的实时性与准确性分析。实时性和准确性是数据采集与处理技术的关键。在水平井钻井过程中,地质信息的实时获取和准确分析对于调整井眼轨迹至关重要。因此,必须确保随钻测量和测井仪器的精度和稳定性,以及数据处理的准确性和及时性。

2.2 地层对比与预测技术

地层对比与预测技术是基于地质资料、随钻测井数据和综合录井资料,对地层进行识别和预测的关键技术。(1)利用LWD仪器测得的地层参数进行地层对比。LWD仪器能够测量地层的电阻率、密度、中子孔隙度等多种物理参数,这些参数是地层对比的重要依据。通过对比不同井段的地层参数,可以确定地层的连续性、厚度以及岩性变化,为地质导向提供地层对比的基础数据。(2)综合录井中的岩性、物性资料进行地层预测。除了LWD仪器测得的地层参数,综合录井中获取的岩性、物性资料也是地层预测的重要依据。岩性资料包括岩屑的颜色、形状、成分等,能够反映地层的岩性特征。物性资料则包括地层的孔隙度、渗透率、饱和度等,能够反映地层的储集性能。通过综合分析这些资料,可以预测地层的分布和储集性能,为地质导向提供地层预测的支持^[2]。(3)地层对比与预测在着陆地质导向录井中的应用。在水平井钻井过程中,着陆段的地质导向尤为关键。着陆段通常位于油气藏的顶部或最佳开采层位,因此必须确保钻头准确进入并沿着最佳轨迹穿过该层位。地层对比与预测技术在此阶段发挥着重要作用。通过对比钻井过程中的地层参数和岩性、物性资料,可以实时判断钻头是否已到达目标层位,并根据地层预测结果调整井眼轨迹,确保钻头沿着最佳路径钻进。

2.3 井眼轨迹设计与控制技术

井眼轨迹设计与控制技术是确保水平井钻井过程中井眼轨迹符合设计要求的核心技术。(1)井眼轨迹设计原则与方法。井眼轨迹设计应遵循地质导向的原则,确保钻头能够准确穿过油气藏的最佳开采层位。设计过程中需要考虑地层的倾角、倾向、厚度以及储集性能等因素,以确定最佳的井眼轨迹。同时,还需要考虑钻井设备的性能、钻井液的性能以及地质条件等因素,以确保钻井过程的顺利进行。设计方法包括二维设计、三维设计以及动态调整等。(2)利用随钻测量技术实时监测井眼轨迹。随钻测量技术是实时监测井眼轨迹的重要手

段。通过安装在钻具上的测量仪器,可以实时获取井斜角、方位角、工具面角等钻井参数,从而了解井眼轨迹的实时状态。这些数据可以及时反馈给地质导向师和钻井工程师,以便他们根据地质情况和钻井要求调整井眼轨迹。(3)井眼轨迹微调与靶点调整策略。在钻井过程中,由于地层的不确定性和钻井设备的局限性,井眼轨迹可能会偏离设计要求。此时,需要进行井眼轨迹的微调或靶点调整。微调可以通过调整钻井参数(如钻压、转速、钻井液排量等)来实现。靶点调整则需要根据地质情况和钻井要求重新确定目标靶点,并调整井眼轨迹以接近该靶点。这些调整策略需要在地质导向师的指导下进行,以确保调整后的井眼轨迹符合设计要求。

2.4 地质导向决策技术

地质导向决策技术是基于地质资料、随钻测井数据和综合录井资料,对钻井过程进行实时决策和优化的关键技术。(1)综合地质模型建立与更新。综合地质模型是地质导向决策的基础。该模型包括地层的三维结构、岩性分布、物性特征以及油气藏的储集性能等信息。在钻井过程中,随着随钻测井数据和综合录井资料的获取,地质模型需要不断更新和完善,以反映最新的地质情况。这有助于地质导向师更准确地判断地层特征和油气层位置,从而做出更科学的决策。(2)实时监测数据分析与决策支持。实时监测数据分析是地质导向决策的重要环节。通过对随钻测井数据和综合录井资料的实时监测和分析,可以及时发现地层变化和异常情况,为地质导向师提供决策支持。这些分析结果可以包括地层的岩性变化、含油气性变化、井眼轨迹的偏离情况等。地质导向师可以根据这些分析结果,及时调整钻井参数和井眼轨迹,以确保钻井过程的顺利进行和油气层的准确穿越。(3)地质导向策略制定与调整。地质导向策略的制定和调整是地质导向决策的核心。在制定策略时,需要考虑地质条件、钻井要求以及设备性能等因素,以确保策略的科学性和可行性。在钻井过程中,随着地质情况和钻井要求的变化,地质导向策略可能需要进行调整。这些调整需要基于实时监测数据分析和地质模型更新等信息,以确保策略的有效性和适应性。通过不断优化和调整地质导向策略,可以提高钻井效率、降低钻井风险并提高油气采收率^[3]。

3 水平井地质导向录井技术应用实例分析

3.1 实例一:某油田复杂断块区域水平井地质导向录井技术应用

3.1.1 地质概况与地质导向策略

某油田位于复杂断块区域,其地质条件极其复杂,

储层非均质性强，且存在多套油水系统，给油气勘探开发带来了极大的挑战。传统钻井方法往往难以准确判断油气层的位置和分布，导致钻井成功率低，开发成本高。为了应对这一挑战，该油田引入了水平井地质导向录井技术。在地质导向策略上，首先进行了详细的地质研究，包括地质构造分析、储层物性研究和油气分布规律等。基于这些研究，建立了精细的三维地质模型，以准确描述储层的空间展布和物性特征。在钻井过程中，利用随钻测量数据、地质资料以及综合录井资料，实时监测和分析井下地质情况，为钻井施工提供准确的地质信息和导向决策。具体策略包括：通过对比分析实钻井数据与邻井资料、地震资料等，准确识别地层岩性、厚度、倾角等变化，为地质导向提供基础数据；建立三维地质模型，刻画储层空间展布和物性特征，为水平井轨迹优化和靶点调整提供依据；利用随钻测量技术实时监测并眼轨迹，确保实际钻井轨迹与设计轨迹一致，及时发现并调整偏差。

3.1.2 实施效果与经济效益分析

应用水平井地质导向录井技术后，该油田的钻井成功率得到了显著提升。通过实时监测和分析，及时调整并眼轨迹，确保了钻头在优质储层中的穿行，从而提高了单井产量和采收率。据统计，应用该技术后，该油田的单井产量提高了约20%，采收率提高了约15%，显著降低了开发成本。经济效益方面，水平井地质导向录井技术的应用不仅提高了油气产量，还缩短了钻井周期，减少了无效进尺和钻井复杂情况的发生。这些优势共同作用下，使得该油田的开发成本得到了有效降低，经济效益显著提升。此外，该技术的应用还有助于减少对环境的影响，提高资源利用率，实现了经济效益和社会效益的双重提升。

3.2 实例二：某气田储层非均质性强区域水平井地质导向录井技术应用

3.2.1 地质特点与技术挑战

某气田储层非均质性强，岩性、物性变化大，且存在气水关系复杂的特点。这使得地质导向录井技术在实际应用中面临诸多挑战。首先，储层的非均质性导致地

层对比和识别困难，难以准确判断钻头的位置和所处的储层性质。其次，气水关系复杂使得钻井过程中容易出现气水混窜的情况，增加了钻井的风险和难度。为了应对这些挑战，该气田采取了多种技术措施。一方面，通过加强地质研究，建立更为精细的地质模型，提高地层对比和识别的准确性。另一方面，采用先进的随钻测量和测井技术，实时监测和分析井下地质情况，为钻井施工提供准确的地质信息和导向决策。

3.2.2 技术应用与效果评价

在应用水平井地质导向录井技术后，该气田的钻井成功率得到了显著提升。通过实时监测和分析，及时调整并眼轨迹，确保了钻头在优质储层中的穿行。同时，利用地质导向技术优化并眼轨迹设计，减少了无效进尺和钻井复杂情况的发生。效果评价方面，该技术不仅提高了单井产量和采收率，还显著降低了开发成本。通过精细的地质研究和实时监测分析，该气田成功避开了不利的地质条件和复杂的气水关系，实现了高效、安全的钻井作业。此外，该技术的应用还有助于提高资源利用率和减少对环境的影响，实现了经济效益和社会效益的双重提升。

结束语

综上所述，水平井地质导向录井技术在提高油气勘探开发效率、降低开发成本方面具有重要意义。通过实时数据采集与处理、地层对比与预测、并眼轨迹设计与控制以及地质导向决策等关键技术的应用，实现了对钻井过程的精确控制，显著提高了油气井的成功率和产量。未来，随着技术的不断进步和创新，水平井地质导向录井技术将在更多复杂地质条件下发挥重要作用，为油气工业的持续发展贡献更大力量。

参考文献

- [1] 耿长喜,孙宝刚,赵杰,等.大庆油田水平井录井地质导向技术[J].大庆石油地质与开发,2020,(05):23-24.
- [2] 齐振勤,周凤艳,姜萍,等.录井在水平井地质导向中的作用与应用实例[J].录井工程,2020,(04):43-44.
- [3] 刘德伦,罗于海,李立,等.水平井一体化地质导向在四川油气田的应用[J].录井工程,2020,(09):86-87.