

地震勘探技术在石油地质勘探中的应用及发展

张文克

天浩工程技术服务(天津)有限公司 天津 300450

摘要: 地震勘探技术作为石油地质勘探的关键手段,在油气资源发现与开发中发挥着举足轻重的作用。本文首先阐述了地震勘探技术的基本原理,包括地震波产生、数据采集、处理和解释。接着探讨了其在圈定含油气区域、储层预测、油气检测和指导钻井工程等方面的应用。最后展望了发展趋势,包括高分辨率、三维和四维地震勘探技术,以及多学科融合和智能化地震勘探技术。这些技术的发展将提升地震勘探的分辨率、精度和效率,为石油地质勘探提供更可靠依据,推动行业进步。

关键词: 地震勘探技术;石油地质勘探;应用;发展

引言

在石油地质勘探领域,精准且高效地探寻地下油气资源是核心目标。地震勘探技术作为关键手段,凭借对地下地质结构的深度探测与分析,发挥着不可替代的作用。它不仅能助力圈定含油气区域、预测储层、检测油气,还能指导钻井工程。而随着科技的不断进步,地震勘探技术也在持续发展,高分辨率、三维和四维、多学科融合以及智能化等新兴技术趋势不断涌现。本文将深入探讨地震勘探技术的基本原理、在石油地质勘探中的应用以及未来发展趋势。

1 地震勘探技术的基本原理

(1) 地震波由人工震源激发产生弹性波并在地下介质中传播。其分为纵波(P波)与横波(S波),纵波传播速度快,能使介质压缩膨胀变形;横波传播速度慢,仅使介质剪切变形。此外,介质分界面会产生转换波和面波。地震波传播遇不同岩层界面会发生反射、折射和透射,这些现象携带地下岩层大量信息。(2) 地震数据采集是地震勘探起始步骤。通过在地表布置检波器阵列接收地下反射地震波信号,采集系统包含震源、检波器、数据采集站和记录设备等。采集时,要依据勘探区域地质条件和勘探目的,合理选择震源类型、激发参数、检波器组合方式及采集参数,保证采集的地震数据质量高、信噪比高。(3) 地震数据处理是对原始地震数据进行系列处理分析,提升数据信噪比、分辨率和成像精度,准确反映地下岩层结构特征。主要流程有预处理、反褶积、速度分析、动校正、叠加、偏移成像。预处理对原始数据去噪、增益恢复;反褶积压缩地震子波提高分辨率;速度分析确定地下介质速度模型,为动校正和偏移成像提供基础;动校正和叠加把不同炮检距地震道校正到同一时间轴叠加,增强有效信号;偏移成像将反射波归位到

真实地下位置,形成准确地质构造图像。(4) 地震数据解释依据处理后的地震资料,结合地质、钻井资料,分析判断地下岩层结构、构造和含油气情况,为石油勘探开发提供决策依据。解释工作涵盖地震剖面、构造、地层和岩性解释^[1]。地震剖面解释识别地下岩层反射界面和地质构造特征;构造解释确定断层、褶皱等构造形态和分布;地层解释划分地层界面,确定地层年代和厚度;岩性解释根据地震反射特征和已知地质资料,推断地下岩层岩性和含油气性。

2 地震勘探技术在石油地质勘探中的应用

2.1 圈定含油气区域

地震勘探技术在石油地质勘探中对圈定含油气区域作用重大,该技术借助对地下地质构造成像,能识别出可能存在油气藏的构造形态,像背斜、断块这类典型构造都在其识别范围内。在获取地下地质构造信息后,会结合地质、地球物理等多方面资料,对圈闭展开综合评价。评价过程中,会全面考量多种因素,包括圈闭所处的地质环境、规模大小、封闭性等,以此确定其含油气的可能性大小。通过这样的综合评价,能够从广袤的勘探区域中筛选出更具潜力的目标区域,为后续的勘探工作指明方向。这些目标区域经过进一步精细勘探,有望发现油气资源。而且,地震勘探技术不仅能识别构造形态,还能对圈闭的相关条件进行深入分析,比如研究圈闭的储层特征,了解储层的岩性、物性等情况,判断其储存油气的能力;分析盖层条件,评估盖层的封闭性能,看其能否有效阻止油气逸散。

2.2 储层预测

储层是石油聚集储存的关键场所,精准预测其分布、厚度以及物性等参数,在石油勘探开发进程中具有举足轻重的意义。地震勘探技术在此领域发挥着不可替代的

关键作用,它能够运用地震属性分析、地震反演等多种方法,并综合钻井资料来开展储层预测工作^[2]。地震属性分析作为重要手段,会从地震数据中提取振幅、频率、相位等各类属性参数,这些参数能从不同维度反映储层的特征与变化情况,其中振幅属性有助于了解储层与周围介质的弹性差异,从而推断储层的存在及大致范围,频率属性则因不同厚度储层对地震波频率吸收和衰减特性不同,有助于分析储层厚度变化。地震反演同样不可或缺,它可将地震数据转换为地下岩层的波阻抗、速度等物理参数,借助这些参数能更精确地预测储层的分布位置和物性特征,波阻抗能反映岩层密度和速度乘积,与储层岩性、孔隙度等紧密相关,利用其反演结果可有效识别储层类型,速度参数则能辅助判断储层的压实程度和埋藏深度等信息。

2.3 油气检测

油气检测作为地震勘探技术的关键应用方向之一,核心任务是直接或间接判定地下是否存在油气。常用方法包括亮点技术、AVO技术以及叠前地震反演。亮点技术通过观察地震剖面上的强反射亮点来进行检测,当地下存在油气藏时,油气与周围介质物性存在差异,会使地震波反射能量增强,进而在地震剖面上形成强反射亮点,识别这些亮点可初步确定油气藏位置。AVO技术重点分析地震反射振幅随偏移距的变化规律,因为不同含油气性的地下介质,其地震反射振幅随偏移距的变化特征各异,研究该规律便能推断地下介质的含油气情况,为油气检测提供依据。叠前地震反演则是利用叠前地震数据,因其包含更丰富的地下介质信息,经反演可得到地下介质的纵波速度、横波速度、密度等弹性参数,这些参数与地下介质含油气性紧密相关,利用反演所得弹性参数能更精准地检测油气,确定油气分布范围与储量等信息,为石油勘探开发提供重要决策支撑。

2.4 指导钻井工程

地震勘探技术在钻井工程中起着关键作用,能为钻井工程提供重要地质信息,有力指导钻井井位设计与钻井过程监控。在钻井井位设计阶段,地震解释成果是重要参考,通过对地震数据的处理分析,可清晰掌握地下地质结构与地层分布情况,据此精准确定钻井的目标层位和深度,让钻井工作有明确方向,避免盲目钻探,进而提高钻井成功率,降低钻井成本与风险。而在钻井过程中,随钻地震技术成为实时监控的得力工具,它能实时监测钻头位置,使钻井人员清楚地知晓钻头在地下的具体位置和行进轨迹,同时获取地层岩性变化、断层存在与否等地下地质情况的信息^[3]。基于这些实时信息,钻

井人员可及时调整钻压、转速、泥浆排量等钻井参数,以适应不同地质条件,确保钻井过程安全稳定,防止井喷、井漏等事故发生,提高钻井效率,保障钻井工程顺利推进。

3 地震勘探技术在石油地质勘探中的发展趋势

3.1 高分辨率地震勘探技术

为提升地震勘探分辨率以满足对薄互层和微小构造的识别需求,高分辨率地震勘探技术成为未来重要发展方向,其核心目标是更清晰呈现地下岩层细节特征,且通过多方面举措来实现。在震源上,采用高频震源是关键,它能激发出更高频率的地震波,由于地震波频率与对地下细微结构的分辨能力成正比,高频地震波可获取更丰富的地下信息,有利于识别薄互层和微小构造。优化检波器组合方式也不可或缺,合理组合检波器可增强有效信号的接收、减少噪声干扰,进而提高地震数据质量,通过调整其排列和连接方式能更好地捕捉地下反射波信息,为后续处理提供可靠数据。改进数据处理方法同样重要,先进的数据处理算法能精准处理采集到的地震数据,去除噪声、校正误差,提升数据的频率和分辨率,使处理后的数据更真实反映地下岩层特征,为地质解释提供准确依据。此外,宽频带地震勘探技术可获取更宽频带数据,高密度地震勘探技术通过增加检波器排列密度提高数据采集密度和空间采样率,二者均能有效改善地震成像效果。

3.2 三维和四维地震勘探技术

三维地震勘探技术首先在地面科学合理地布置检波器阵列,然后激发地震波,由检波器接收反射波,将采集到的数据经过专业处理后,构建出地下岩层的三维空间图像。该图像能精准呈现地质构造与储层分布,让勘探人员清晰掌握地下状况。目前,此技术已在石油地质勘探领域广泛应用,且不断朝着高精度、高效率的方向发展。在高精度上,对地下细微地质结构的分辨能力持续增强,能更清晰地识别断层、褶皱等地质构造,为准确判断油气储集位置提供坚实支撑;在高效率方面,数据采集和处理速度大幅提升,有效缩短了勘探周期,降低了勘探成本,提高了勘探效益^[4]。四维地震勘探技术以三维地震勘探为基础,会在不同时间对同一区域多次开展地震数据采集与处理工作。通过对比不同时期的数据,可观察地下油气藏随时间的变化,如油气水界面移动、储层压力变化等。这些动态信息对油气藏的动态监测和开发调整意义重大,依据其结果可合理调整开采策略,优化注水、采油方案,提高油气采收率,实现油气资源高效开发利用,还能及时发现并解决油气藏开发问

题,延长油气田生产寿命,保障油气资源稳定供应,满足社会能源需求。

3.3 多学科融合的地震勘探技术

地震勘探技术与地质、地球物理、计算机等多学科融合是未来重要的发展走向,在认知地下地质情况和油气藏特征方面起着关键作用。将地震数据与地质、测井、重力、磁力等资料进行综合分析,地质资料能给出地下地层、构造等基础信息,测井资料可反映井筒周围岩石物理性质,重力、磁力资料有助于了解区域地质结构,多种资料相互印证补充,能让我们更全面地掌握地下状况。在此基础上结合地质建模和数值模拟技术,可进一步提升认知精度,地质建模依据综合分析结果构建地下三维地质模型,能直观呈现地质构造和储层分布,数值模拟技术则可对地下流体运动、岩石变形等过程进行模拟,进而预测油气藏动态变化。同时,计算机技术的发展为地震勘探助力颇多,它为地震数据处理和解释提供了强大的工具与算法支持,数据处理算法可高效去除噪声、校正误差以提高数据质量,解释算法能快速准确识别地下地质体、分析油气藏特征。多学科融合推动地震勘探从单一数据解释向多源信息综合分析转变,突破传统局限,为油气勘探开发提供更可靠依据,助力行业迈向更高水平。

3.4 智能化地震勘探技术

随着人工智能、大数据等技术的持续进步,智能化地震勘探技术正逐渐兴起。在地震数据处理与解释方面,人工智能算法优势明显,它可自动开展地震数据处理与解释工作,大幅提升处理和解释的效率与准确性,有效减少人工干预,降低人为误差。其中,机器学习算法能对地震属性进行分析和分类,依据数据特征区分不同地质情况,快速确定地下岩层特征及含油气性,为后续勘探开发提供基础判断依据;深度学习算法应用于地震反演时,可深入挖掘数据内在关系,通过大量数据训练优

化模型,提高反演精度和稳定性,更精准地还原地下地质结构^[5]。同时,大数据技术在智能化地震勘探中也至关重要,地震勘探会产生海量数据,大数据技术凭借强大的数据存储和管理能力,能够妥善保存并高效管理这些数据,还能运用先进的数据挖掘算法对海量数据进行分析,从中找出隐藏的信息和规律,为地震勘探决策提供更有价值的支持,推动地震勘探技术朝着智能化、精准化方向发展。

结语

综上所述,地震勘探技术是石油地质勘探的关键手段,在圈定含油气区域、储层预测、油气检测及指导钻井工程等方面发挥着不可替代的作用。随着科技发展,高分辨率、三维和四维、多学科融合以及智能化地震勘探技术成为未来趋势。这些新技术将进一步提升地震勘探的精度、效率和智能化水平,助力更精准地认知地下地质情况与油气藏特征,为石油勘探开发提供更可靠依据,推动石油行业持续发展,保障国家能源安全,满足社会对能源不断增长的需求。

参考文献:

- [1]陈军,孔令华,曾玉兰,宛红梅,张大勇.石油地质勘探技术的创新应用及发展前景探析[J].中国设备工程,2025(1):239-241.
- [2]李红亮.高精度地震勘探技术在煤矿地质勘探中的应用分析[J].煤炭新视界,2025(1):174-175.
- [3]李天豪.石油地质勘探技术的创新应用及发展前景探析[J].石油石化物资采购,2025(21):118-120.
- [4]梁鹏,杜剑斌,张启.煤矿地质勘探技术的发展与应用[J].能源与节能,2025(8):278-281.
- [5]王敬谋.地质勘探技术在矿山地质工程中的应用实践研究[J].中国金属通报,2025(5):157-159.