

地质导向技术在非常规油气藏开发中的应用前景

张 振

中石化经纬有限公司华北测控公司 河南 郑州 450042

摘要：地质导向技术是现代油气勘探与开发的关键，尤其在非常规油气藏的高效开发中潜力巨大。本文综述了地质导向技术的核心内容，如随钻测量（MWD）、随钻测井（LWD）等工具，分析了非常规油气藏的地质特征与开采难点。探讨了地质导向技术在优化水平井轨迹、储层识别及提高采收率等方面的应用实例。同时展望了其在新型非常规油气藏及深海资源开采的前景，并指出了技术与成本挑战，提出了应对策略。

关键词：地质导向技术；水平井轨迹优化；储层识别；提高采收率

引言：随着全球能源需求的不断增长和常规油气资源的日益枯竭，非常规油气藏的开发已成为保障能源安全的重要途径。然而，非常规油气藏的地质特征复杂，开采难度大，传统技术难以满足高效开发的需求。地质导向技术以其高精度、实时性和智能化特点，在非常规油气藏开发中发挥着越来越重要的作用。本文旨在探讨地质导向技术在非常规油气藏开发中的应用现状、优势及未来前景，为相关领域的科研人员和技术人员提供参考。

1 地质导向技术内容

地质导向技术是现代油气勘探与开发领域中的一项关键技术，它集成了多种先进的测量与导航工具，为钻井作业提供了前所未有的精确度和灵活性。

1.1 随钻测量（MWD）技术

随钻测量技术是一种在钻井过程中实时测量钻头位置、方向和井眼参数的先进技术（如图1）。它通过在钻杆内部安装传感器，实时收集钻井过程中的各种数据，如井斜角、方位角、工具面角以及井眼深度等。这些数据通过泥浆脉冲、电磁波或光纤等传输方式，实时发送至地面控制系统，为钻井工程师提供精确的导航信息。MWD技术的优势在于其高精度和实时性。通过实时监测钻头的位置和方向，钻井工程师可以及时调整钻井参数，确保井眼轨迹按照预定目标前进。这对于复杂地质条件下的非常规油气藏开发尤为重要，因为精确的井眼轨迹控制可以最大限度地提高储层钻遇率，减少钻井过程中的不确定性和风险。此外，MWD技术还具有适应复杂地质条件的能力。在非常规油气藏中，储层往往分布复杂，且常伴有断层、裂缝等地质构造。MWD技术能够实时监测地质变化，为钻井工程师提供及时的调整建议，确保钻井作业的安全和高效。

1.2 随钻测井（LWD）技术

随钻测井技术是在钻井过程中进行地质参数测量的

先进技术（如图2）。它通过在钻杆内部安装各种测井仪器，如电阻率测井仪、自然伽马测井仪、密度测井仪等，实时测量井壁周围的地质参数。这些参数对于储层识别和地质导向至关重要，因为它们能够反映储层的岩性、物性、含油气性等信息^[1]。LWD技术的优势在于其能够在钻井过程中实时获取地质参数，为储层识别和地质导向提供关键数据。通过实时监测电阻率、自然伽马、密度等参数的变化，钻井工程师可以判断储层的岩性变化、孔隙度、渗透率等关键信息，从而准确识别储层边界和储层质量。这对于非常规油气藏的高效开发尤为重要，因为准确的储层识别可以指导钻井工程师优化井眼轨迹，提高储层钻遇率和油气产量。此外LWD技术还具有适应复杂地质条件的能力。在非常规油气藏中，储层往往具有低渗透率、高含气饱和度等特点，且常伴有非均质性、裂缝发育等复杂地质特征。LWD技术能够实时监测这些地质特征的变化，为钻井工程师提供及时的调整建议，确保钻井作业的安全和高效。

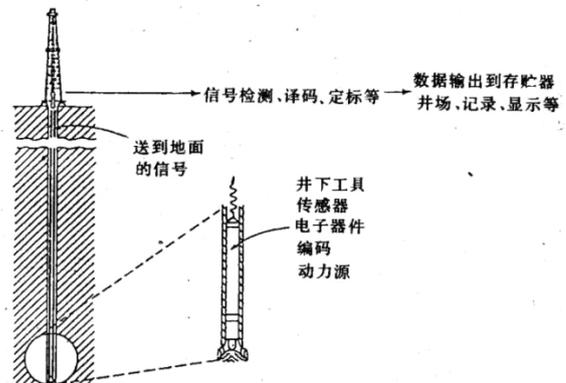


图1 随钻测量技术示意图

2 非常规油气藏地质特征与开采难点

2.1 非常规油气藏类型与地质特征

2.1.1 页岩气

页岩气储层通常位于深层的沉积岩中，以页岩为主，储层厚度较薄但分布广泛。其最显著的地质特征是低渗透率和高含气饱和度。由于页岩的渗透率极低，气体在储层中的流动能力受限，导致开采难度大。此外页岩储层中通常含有较高的有机质含量，这些有机质在热演化过程中生成了大量的气体，使得页岩气储层具有较高的含气饱和度。然而这些气体往往被吸附在页岩颗粒表面或储存在微小的孔隙和裂缝中，进一步增加了开采难度。

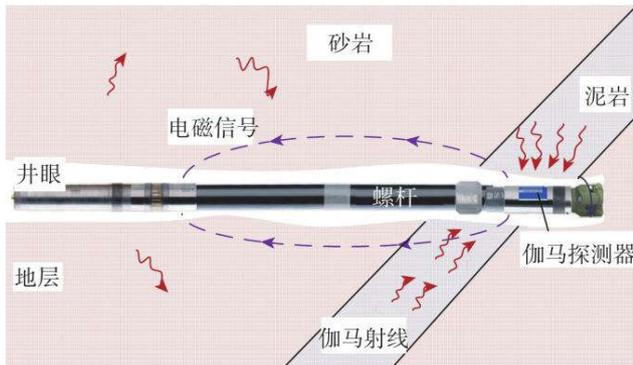


图2 随钻测井 (LWD) 技术示意图

2.1.2 致密油

致密油储层主要存在于低渗透的砂岩或碳酸盐岩中，孔隙度低、渗透率差，且储层非均质性强。这种非均质性表现在储层的岩性、物性、含油性等方面都存在较大的差异。由于渗透率低，致密油储层中的原油流动能力极差，传统的开采方式难以有效提取。此外致密油储层往往埋藏较深，地层压力高，对钻井技术和完井技术都提出了极高的要求。

2.1.3 煤层气

煤层气储层以煤层为主，其地质特征主要表现为储层渗透率低、含气量高且分布不均。煤层中的气体主要来源于煤的有机质热解和生物作用产生的甲烷等烃类气体。由于煤层的渗透率低，气体在煤层中的扩散和运移速度较慢，导致开采效率较低。并且煤层气储层还面临着煤层强度低、易坍塌等地质问题，给钻井和开采带来了额外的挑战。

2.2 开采难点分析

2.2.1 水平井轨迹精确控制困难

由于非常规油气藏储层厚度较薄且分布复杂，水平井轨迹的精确控制成为开采过程中的一大难点。一旦井眼轨迹偏离储层，将严重影响油气产量^[2]。因此，如何根据实时地质数据调整井眼轨迹，确保井眼始终保持在储层中，是地质导向技术需要解决的关键问题。

2.2.2 储层识别复杂

非常规油气藏储层的识别和评价是开采过程中的另

一大难点。由于储层地质特征复杂多变，传统的地质勘探方法往往难以准确识别储层的边界和性质。因此，需要借助先进的测井技术和地质导向技术，通过测量储层的电阻率、自然伽马、密度等地质参数，结合地质模型和数据分析方法，实现对储层的精确识别和评价。

2.2.3 钻井过程中易发生井壁失稳

非常规油气藏储层通常具有较低的强度和较高的渗透率压力梯度，这使得钻井过程中井壁失稳的风险大大增加。井壁失稳不仅会导致钻井液漏失、井眼坍塌等工程问题，还会严重影响钻井进度和油气产量。因此，需要采取有效的钻井液和井壁稳定技术，确保钻井过程的顺利进行。

2.2.4 开采成本高昂

由于非常规油气藏开采技术的复杂性和地质特征的不确定性，使得开采成本相对较高。这包括钻井成本、测井成本、完井成本以及后期开采过程中的维护成本等。为了降低开采成本，需要不断优化开采技术、提高开采效率，并加强产学研合作，推动技术创新和成果转化。

3 地质导向技术在非常规油气藏开发中的应用

地质导向技术作为现代油气勘探与开发的核心技术之一，在非常规油气藏的高效开发中发挥着举足轻重的作用。其凭借实时地质数据分析与精确导航的能力，极大地提升了开采效率和油气产量。

3.1 水平井轨迹优化与控制

在非常规油气藏开发中，水平井因其能够穿越更长的储层长度而备受青睐。然而，储层的复杂性使得水平井轨迹的精确控制成为一大挑战。地质导向技术通过随钻测量 (MWD) 和随钻测井 (LWD) 系统，能够实时获取井眼位置、方向以及地质参数，为钻井工程师提供了宝贵的导航信息。在页岩气、致密油等非常规油气藏中，地质导向技术能够根据实时地质数据调整水平井轨迹，确保井眼始终保持在储层中的最佳位置。例如在页岩气储层中，地质导向技术可以识别出富有机质层段，引导井眼穿越这些高产区域。而在致密油储层中，由于储层非均质性强，地质导向技术能够识别出渗透率相对较高的甜点区域，优化井眼轨迹以最大化油气产量。此外，地质导向技术还能够应对复杂地质条件，如断层、裂缝等，通过实时调整井眼轨迹，避免井眼偏离储层或进入不利地质区域，从而确保钻井作业的安全性和高效性。

3.2 储层识别与评价

非常规油气藏储层的识别与评价是开发过程中的关键环节。地质导向技术利用测井数据，如电阻率、自然伽马、密度等，能够精确识别储层边界、判断储层质

量,为储层评价和开发方案设计提供关键依据^[3]。在页岩气储层中,地质导向技术可以识别出有机质含量丰富、孔隙度较高的层段,这些层段往往是页岩气的主要聚集空间。通过对比不同层段的测井响应特征,可以进一步评价储层的含气性和开采潜力。在致密油储层中,地质导向技术能够识别出渗透率相对较高的甜点区域,这些区域往往是油气聚集的主要场所。同时,地质导向技术还可以结合地质模型和数据分析方法,对储层的孔隙度、渗透率等物性参数进行定量评价,为开发方案设计提供科学依据。

3.3 提高采收率措施中的应用

提高非常规油气藏采收率是开发过程中的重要目标。地质导向技术在制定提高采收率方案中具有重要作用。通过调整井眼轨迹和完井方式,可以实现对储层更充分的开采,从而提高油气采收率。在页岩气储层中,地质导向技术可以引导井眼穿越更多的裂缝和孔隙发育区域,增加油气渗流通道,提高开采效率。同时结合水力压裂等增产措施,可以进一步扩大储层改造范围,提高油气产量。在致密油储层中,地质导向技术可以优化井眼轨迹和完井方式,如采用水平井加多级压裂技术,实现对储层的充分开采。通过精确控制压裂裂缝的走向和分布,可以提高储层的渗透率,降低开采难度。此外,地质导向技术还可以结合其他增产措施,如注气驱替、化学驱替等,进一步提高非常规油气藏的采收率。通过综合考虑储层地质特征、开采条件以及经济成本等因素,制定科学合理的开采方案,实现油气资源的高效开发。

4 地质导向技术在非常规油气藏开发中的应用前景展望

4.1 技术发展趋势

(1) 精度提升:随着传感器技术和数据处理技术的不断进步,地质导向技术的测量精度将得到显著提升。这将使得地质导向技术能够更准确地识别储层边界、判断储层质量,为钻井工程师提供更可靠的导航信息。

(2) 多参数融合:地质导向技术将逐渐融合多种地质参数和测井数据,形成更为全面的地质信息体系。通过多参数融合,地质导向技术将能够更深入地了解储层的地

质特征,为开发方案的制定提供更科学的依据。(3) 智能化发展:随着人工智能和机器学习技术的不断发展,地质导向技术将逐渐实现智能化。

4.2 在未来非常规油气藏开发中的潜在应用场景

(1) 新型非常规油气藏开发:随着勘探技术的不断进步,越来越多的新型非常规油气藏被发现。这些新型油气藏往往具有更为复杂的地质特征,对开采技术提出了更高要求。地质导向技术凭借其高精度、多参数融合和智能化的特点,将成为这些新型油气藏开发的关键技术之一。(2) 深海资源开采:深海油气资源是未来油气勘探的重要领域。然而,深海环境复杂多变,对开采技术提出了极高要求。地质导向技术能够帮助工程师准确识别深海储层位置,优化钻井轨迹,降低开采成本,提高开采效率。

4.3 面临的挑战与对策

(1) 加强产学研合作:推动技术创新和成果转化是应对技术挑战的关键。通过加强产学研合作,可以汇聚各方力量,共同攻克技术难题,推动地质导向技术的不断进步。(2) 优化成本结构:降低开采成本是应对成本挑战的重要途径。通过优化钻井设计、提高钻井效率、降低设备成本等措施,可以有效降低开采成本,提高经济效益。

结语

地质导向技术在非常规油气藏开发中发挥着越来越重要的作用,其高精度、实时性和智能化特点为高效开发提供了有力支持。未来,随着技术的不断进步和应用场景的拓展,地质导向技术将在非常规油气藏开发中展现出更加广阔的应用前景。然而,面对技术和成本等挑战,我们仍需加强合作与创新,推动地质导向技术的持续进步与发展。

参考文献

- [1] 蒋成刚.非常规油气藏水平井多段压裂技术[J].化学工程与装备,2023,(08):136-137+155.
- [2] 李江江.油田地质导向钻井技术研究与应用分析[J].石化技术,2019,26(02):52-55.
- [3] 杨喆夫,刘佳,邱园园.石油采油工程技术中存在的问题及措施研究[J].中国化工贸易,2019,011(003):71-73.