

石油地质勘探技术的创新与发展

唐康祺

中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司 天津 300459

摘要：石油地质勘探技术是油气开发的基石。文章先梳理其从地质观察到多技术协同的发展脉络，展现技术演进历程。接着剖析地球物理、地球化学等领域的创新成果，如多分量地震勘探等技术突破，大幅拓展勘探边界。同时，探讨智能化、综合化、信息化趋势，智能钻井系统等应用引领行业变革。这些创新与趋势既能提升勘探效率与精度，还能保障能源安全、推动石油工业高质量发展。

关键词：石油地质；勘探技术；技术创新；发展趋势

引言

在全球能源需求持续增长的背景下，石油作为重要的战略资源，其稳定供应关乎国家能源安全与经济发展。石油地质勘探技术是获取油气资源的首要环节，直接影响资源发现率与采收率。随着勘探目标向深海、复杂地质构造及非常规油气领域拓展，传统勘探技术面临诸多挑战。因此，深入研究石油地质勘探技术的创新成果与发展趋势，对突破勘探技术瓶颈、推动石油工业可持续发展具有迫切的现实需求。

1 石油地质勘探技术概述

石油地质勘探技术综合地质学、地球物理学、地球化学等多学科理论与方法，构建探测地下石油与天然气资源的技术体系。通过分析地质构造、地层特征及岩石物性等信息，明确油气藏的位置、规模与储量，为油气资源开发提供科学依据。

其发展历程呈现从简单到复杂、从单一到综合的演变趋势。早期勘探以地质调查与地面观察为主，依赖识别地表油气显示、研究地层露头判断潜在富集区。随着科技发展，地球物理勘探、地球化学勘探技术相继出现。20世纪中叶，地震勘探技术成熟应用，使勘探可深入地下获取精确地质结构信息，大幅提升油气勘探效率与准确性。此后，钻井技术与测井技术持续革新，进一步完善勘探技术体系。

在能源开发领域，石油地质勘探技术占据不可替代的地位。全球能源需求持续增长，石油作为关键能源与化工原料，其稳定供应关乎国家能源安全与经济发展。精确的勘探技术能有效降低勘探风险，提高油气资源发现率与采收率，同时推动石油工业技术进步，带动相关产业协同发展。该技术体系包含地球物理、地球化学、钻井、测井等分支，各技术相互补充、协同作业，共同构成完整体系。

2 石油地质勘探技术创新

2.1 地球物理勘探技术创新

地球物理勘探技术在石油地质勘探中占据重要地位，近年来在多个方面取得创新突破^[1]。多分量地震勘探技术是地球物理勘探技术创新的重要方向。传统地震勘探主要采集纵波信息，而多分量地震勘探能够同时采集纵波、横波等多种波型的信息。横波对地下岩石的弹性性质、流体性质变化更为敏感，通过多分量地震数据的联合分析，可以更准确地识别岩性、判断油气储层的含油气性，提高复杂地质条件下油气藏的识别能力。

高分辨率地震勘探技术通过提高地震数据的采集与处理精度，能够更清晰地呈现地下地质结构细节。采用更高频率的地震波激发、更密集的采集观测系统以及先进的数据处理算法，可有效提升地震剖面的分辨率，使勘探人员能够识别更小尺度的地质构造与储层特征，如薄互层储层、微小断层等，为油气藏精细描述提供更丰富的信息。

井中地震勘探技术将地震检波器置于井中，实现了对地下地质结构的近距离观测。该技术能够获取井旁高分辨率的地震信息，弥补地面地震勘探在垂向分辨率与井旁成像精度方面的不足。通过井中地震数据与地面地震数据的联合反演，可以构建更准确的地下地质模型，为井位部署与储层评价提供更可靠的依据。

2.2 地球化学勘探技术创新

地球化学勘探技术凭检测地表等地球化学异常寻油气藏线索，其创新发展为油气勘探带来新手段与新思路。轻烃地球化学勘探技术利用油气藏中轻烃组分的挥发性与迁移性，通过采集地表土壤、空气等样品，分析其中的轻烃含量与组成特征，判断地下是否存在油气藏。随着检测技术的进步，高灵敏度、高精度的轻烃分析仪器不断涌现，能够检测到更低浓度的轻烃异常，提

高了轻烃地球化学勘探的准确性与可靠性。同时,结合地质、地球物理等资料进行综合分析,可进一步提升轻烃地球化学勘探的应用效果。

微生物地球化学勘探技术基于油气藏中烃类物质的微生物降解作用,检测地表土壤中与烃类降解相关的微生物群落特征。特定的微生物对烃类具有选择性代谢能力,通过分析微生物的种类、数量及活性分布,能够间接指示地下油气藏的存在。该技术具有成本低、效率高、对环境影响小等优点,尤其适用于大面积的油气普查与勘探。

水化学勘探技术通过分析地下水的化学成分,寻找与油气藏相关的化学异常。油气藏的存在会导致周围地下水的化学成分发生变化,如酸碱度、氧化还原电位、微量元素含量等^[2]。通过系统采集地下水样品,运用化学分析与统计方法,识别这些化学异常,进而推断地下油气藏的分布范围与性质。近年来,随着水化学分析技术的自动化与智能化发展,水化学勘探的效率与精度得到显著提升。

2.3 钻井技术创新

钻井技术创新是石油地质勘探开发核心驱动力,能显著提升勘探效率、有效降低勘探成本投入。定向钻井技术通过特殊的钻井工具与工艺,使井眼轨迹按照预定方向钻进,能够穿越复杂地质构造,钻达地面难以到达的目标区域。该技术在海上油气勘探、老油田加密调整等领域应用广泛。随着随钻测量技术与旋转导向钻井技术的发展,定向钻井的轨迹控制精度不断提高,能够更准确地命中目标储层,减少无效进尺,提高钻井效率。

水平钻井技术是在定向钻井的基础上,使井眼在油气储层中沿水平方向延伸,增加井眼与储层的接触面积,提高油气产量。水平钻井技术在非常规油气资源开发,如页岩气、致密油等领域发挥了重要作用。通过优化井眼轨迹设计、改进钻井液性能、研发高效的钻井工具,水平钻井的井眼长度与钻井速度不断提升,降低了非常规油气开发的成本。

自动化钻井技术借助先进的传感器、控制算法与机械装置,实现钻井过程的自动化操作与监控。该技术能够实时采集钻井参数,如钻压、转速、扭矩、泵压等,并根据预设的控制规则自动调整钻井设备的运行状态,提高钻井过程的稳定性与安全性。自动化钻井技术还可以减少人工干预,降低劳动强度,提高钻井效率,是未来钻井技术发展的重要方向。

2.4 测井技术创新

测井技术借助测量井内物理参数获取地层信息,为

油气藏评价开发提供关键数据,其创新发展提高了资料准确性与应用价值。成像测井技术利用多种传感器,对井壁地层进行高分辨率扫描,获取地层的图像信息。常见的成像测井技术包括微电阻率成像测井、超声成像测井等^[3]。这些技术能够直观地展示地层的岩性变化、裂缝发育情况、层理结构等特征,为地质构造分析、储层评价提供了丰富的可视化资料。成像测井技术的发展,使测井资料从传统的一维数据向二维、三维图像转变,极大地提高了测井解释的准确性与可靠性。

随钻测井技术在钻井过程中实时测量地层参数,将测量数据及时传输到地面,为钻井决策提供依据。该技术能够及时发现油气层,调整钻井轨迹,避免钻遇复杂地层导致的井下事故。随钻测井技术还可以获取未受钻井液污染的原始地层信息,提高测井资料的真实性与准确性。随着无线传输技术与微型传感器技术的发展,随钻测井的测量参数不断丰富,测量精度不断提高。

多参数综合测井技术通过综合运用多种测井方法,获取地层的多种物理参数,从多个角度对地层进行评价。不同的测井方法对地层的不同性质敏感,通过将电阻率测井、声波测井、密度测井、中子测井等多种测井数据进行联合分析,可以更准确地确定地层岩性、孔隙度、渗透率、含油饱和度等参数,提高储层评价的精度。多参数综合测井技术还可以建立更精确的地层解释模型,为油气藏开发方案设计提供更可靠的数据支持。

3 石油地质勘探技术的发展趋势

3.1 智能化

智能化是石油地质勘探技术发展的重要趋势,通过引入人工智能、大数据、物联网等技术,实现勘探过程的自动化、智能化与精准化。智能钻井系统集成了先进的传感器、自动控制装置与数据分析软件,能够实时监控钻井过程中的各种参数,自动调整钻井工艺与设备运行状态。基于大数据分析 with 机器学习算法,智能钻井系统可以预测井下复杂情况,如井漏、井涌、卡钻等,并及时采取应对措施,提高钻井安全性与效率。此外,智能钻井系统还可以根据历史钻井数据与地质模型,优化钻井参数与井眼轨迹设计,实现钻井过程的智能化决策。

智能化油藏描述技术利用三维地震数据、测井数据、地质资料等多源信息,通过人工智能算法构建高精度的油藏地质模型。该技术能够自动识别地质构造、划分储层单元、预测储层物性分布,提高油藏描述的效率与准确性。智能化油藏描述技术还可以与油藏数值模拟相结合,实现油藏动态监测与开发方案优化,为油气田高效开发提供技术支持。

人工智能技术在石油地质勘探数据分析中发挥着重要作用。通过对海量的地震数据、测井数据、地质数据进行处理与分析,人工智能算法可以自动提取有效信息,识别地质异常模式,预测油气藏分布。例如,深度学习算法可以对地震剖面进行自动解释,识别断层、褶皱等地质构造;机器学习算法可以根据测井数据建立地层评价模型,预测储层含油气性。人工智能技术的应用,极大地提高了勘探数据处理与分析的效率和精度。

3.2 综合化

综合化是石油地质勘探技术发展的必然趋势,通过整合多种勘探技术与学科知识,实现对地下地质结构与油气藏的全面、准确认识。多技术融合勘探是综合化发展的重要体现^[4]。将地球物理勘探、地球化学勘探、钻井技术、测井技术等多种勘探技术有机结合,充分发挥各技术的优势,相互补充、相互验证。例如,在油气勘探初期,利用地球物理勘探技术进行大面积的地质结构调查,确定潜在的油气富集区;然后,采用地球化学勘探技术进一步验证油气异常;最后,通过钻井与测井技术获取地下实际地质信息,对油气藏进行详细评价。多技术融合勘探能够提高勘探结果的可靠性,降低勘探风险。

多学科协同勘探强调地质学、地球物理学、地球化学、石油工程等多学科之间的交叉与协作。在勘探项目实施过程中,各学科专业人员组成联合团队,共同开展地质研究、数据采集、分析解释等工作。通过多学科的协同合作,能够从不同角度对地下地质问题进行分析,建立更合理的地质模型,提高对油气藏形成与分布规律的认识。例如,地质学家提供区域地质背景与构造演化信息,地球物理学家提供地下地质结构图像,地球化学家分析油气成藏的地球化学条件,石油工程师考虑油气开采的可行性,多学科协同为油气勘探与开发提供全面的技术支持。

3.3 信息化

信息化技术革新石油地质勘探,搭建数字化平台、推动数据共享与远程协作,全方位提升勘探效率,优化勘探管理水平。数字化勘探平台整合了地震数据处理、

地质建模、测井解释、油藏数值模拟等多种勘探软件与工具,实现了勘探数据的统一管理 & 共享。该平台采用三维可视化技术,将地质数据、地震数据、测井数据等以三维模型的形式展示,方便勘探人员直观地观察地下地质结构与油气藏分布。数字化勘探平台还具备数据处理、分析、解释等功能,支持勘探人员进行协同工作,提高勘探工作的效率与质量。

数据共享与远程协作是信息化发展的重要内容。通过建立勘探数据中心与网络通信系统,实现勘探数据在不同部门、不同地区之间的快速传输与共享。勘探人员可以通过网络远程访问数据中心,获取所需的勘探数据与资料。同时,借助视频会议、远程协作软件等工具,实现不同地区的勘探团队之间的实时沟通与协作,提高勘探项目的组织与管理效率。数据共享与远程协作还可以促进勘探技术的交流与合作,加速新技术、新方法的推广应用。

结束语

总之,石油地质勘探技术在不断创新中实现跨越式发展,从传统技术的革新到智能化、综合化、信息化方向的转变,显著提升了油气勘探开发的整体水平。未来,随着科技持续进步,勘探技术将在人工智能、多学科交叉融合、大数据应用等方面取得更多突破,为油气资源高效勘探与开发提供更有力的技术支撑,助力全球能源行业的稳定发展。

参考文献

- [1] 鲍云杰. 中国石化石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所实验地质技术之岩心逸散轻烃采集测定技术[J]. 石油实验地质. 2020. 42(4): 484.
- [2] 关营. 石油开发过程中地质勘探技术的创新浅析[J]. 化工管理. 2020(5): 107-108.
- [3] 岑炜伟, 柴华, 伍岳. 石油开发过程中地质勘探技术的应用[J]. 化工管理. 2021(24): 187-188.
- [4] 陈广成. 石油地质勘探技术的创新与发展[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(20): 135-136, 139.