

石油地质在油气勘探中的应用研究

孔祥鹏

天浩工程技术服务(天津)有限公司 天津 300450

摘要: 油气勘探是能源领域的关键环节,其发展关乎国家能源安全与经济稳定。石油地质作为油气勘探的基石,在揭示油气生成、运移规律,指导储层评价与预测,优化圈闭识别与评价等方面发挥着核心作用。随着科技的不断进步,石油地质技术创新日新月异,地球物理勘探、地球化学分析、数值模拟等技术取得突破,为勘探提供更精准支持。同时,石油地质与多学科深度融合,地质-地球物理-工程一体化、人工智能与大数据应用、绿色勘探技术等不断拓展勘探边界,推动油气勘探向高效、智能、绿色方向发展。

关键词: 石油地质; 油气勘探; 核心作用; 创新发展

引言

油气资源作为现代社会发展的重要能源基石,其勘探工作至关重要。石油地质作为油气勘探的基础学科,贯穿于勘探的各个环节,为寻找油气资源提供理论依据与技术支撑。随着科技的不断进步,石油地质与多学科深度融合,创新技术层出不穷。从传统勘探方法到现代智能、绿色勘探技术,石油地质不断拓展勘探边界,提高勘探效率与成功率。深入研究石油地质在油气勘探中的应用,对保障能源安全、推动行业可持续发展具有深远意义。

1 石油地质在油气勘探中的核心作用

1.1 揭示油气生成与运移规律

石油地质学聚焦沉积环境、有机质类型及热演化过程,是揭示油气生成机制的关键。沉积环境分析可精准识别潜在烃源岩分布,不同沉积环境形成的烃源岩在有机质含量、类型及成熟度上存在差异。例如,海相沉积环境常形成富含有机质的暗色泥岩,是优质烃源岩的重要来源;而陆相湖盆沉积环境,在适宜条件下也能形成厚层烃源岩^[1]。通过沉积相研究,可明确烃源岩的分布范围、厚度及有机质丰度,为后续勘探提供基础数据。有机质类型与热演化程度对油气丰度与品质影响显著。高成熟度有机质在高温高压条件下,易生成轻质油和天然气,具有低密度、低粘度等特点,便于开采和运输;而低成熟度有机质则可能形成稠油,其粘度高、流动性差,开采难度较大。通过热演化模拟实验,可确定有机质的成熟度阶段,预测油气生成类型和丰度。油气运移路径模拟是石油地质学的重要贡献。利用流体动力学模型,结合地层压力、断层分布、渗透性等参数,可预测油气从烃源岩向储集层的迁移方向和距离。在塔里木盆地顺北油气田,地质学家通过模拟油气运移路径,发现油气沿

断裂带向上运移,在超深层储层中聚集。这一发现为钻探目标选择提供了科学依据,指导了多口高产井的钻探,提高了勘探成功率。

1.2 指导储层评价与预测

储层特性是油气勘探的核心要素。石油地质学通过分析孔隙度、渗透率、岩性等参数,评估储层的储集能力。孔隙度反映了储层中孔隙空间的体积占比,孔隙度越大,储层储存油气的的能力越强;渗透率则决定了油气在储层中的流动能力,渗透率越高,油气开采难度越小。在页岩气勘探中,高孔隙度、低渗透率的页岩层是主要储集层,但由于其渗透率低,需采用水平井与多级压裂技术,形成复杂的裂缝网络,提高渗流通道,实现经济开发。储层非均质性研究可揭示油气分布的不均匀性。储层的岩性、物性、含油气性等在不同位置存在差异,这种差异会影响油气的聚集和开采效果。通过研究储层非均质性,可确定高产区的分布规律,指导精准开发。例如,在碳酸盐岩储层中,溶洞、裂缝的发育程度和分布规律对油气产量有重要影响,通过非均质性研究,可识别出高产溶洞和裂缝带,提高开发效率。储层预测技术结合地震、测井与地质模型,可提高勘探成功率。三维地震勘探通过高分辨率成像,能够识别薄储层和致密储层。在苏里格地区,通过地震相分析与波阻抗反演,将储层厚度预测误差控制在5米以内,为后续开发提供了准确的地质信息。测井技术则利用岩电关系智能匹配算法,实现储层“四性”(岩性、物性、含油气性、电性)关系精准对应,评价符合率达85%以上,为储层评价提供了可靠依据。

1.3 优化圈闭识别与评价

圈闭是油气聚集的核心场所,其识别与评价直接决定勘探成败。石油地质学通过构造解释、地层对比与沉

积相分析, 确定圈闭类型和规模。构造圈闭是由地层变形形成的, 如背斜圈闭、断层圈闭等; 地层圈闭则是由地层不整合、岩性变化等形成的, 如地层超覆圈闭、岩性尖灭圈闭等。在复杂断块油田, 应用相干体、曲率等地震属性, 可精准刻画断块与潜山构造, 提高圈闭识别成功率。与传统方法相比, 应用新技术后圈闭识别成功率提升25%, 为勘探提供了更多目标^[2]。圈闭评价需综合考虑盖层封闭性、储层物性及运移条件。盖层是阻止油气逸散的重要屏障, 其岩性、厚度和分布范围直接影响油气保存条件。天然气藏对盖层要求更为严格, 因为天然气分子小、扩散能力强, 需要更致密的盖层来封闭。通过综合评价盖层封闭性、储层物性和运移条件, 可筛选出高潜力圈闭, 降低勘探风险。例如, 在某地区通过综合评价, 排除了多个低潜力圈闭, 集中资源对高潜力圈闭进行勘探, 提高了勘探效率。

2 石油地质技术创新推动勘探发展

2.1 地球物理勘探技术突破

地球物理勘探是油气勘探的核心手段, 其技术创新显著提高了勘探精度与效率。三维地震勘探通过宽方位角、高覆盖率采集, 结合高精度成像算法, 可识别地下5000米以深的地质结构。在深层油气勘探中, 三维地震勘探能够清晰显示地下断层、褶皱等构造特征, 为钻探目标选择提供准确依据。全三维地震勘探技术则整合野外施工设计、资料采集与地质建模, 实现勘探开发一体化。通过全三维地震勘探, 可在勘探阶段就建立准确的地质模型, 指导开发方案的设计和优化, 减少开发过程中的调整和变更, 提高开发效率。随钻测井技术通过实时监测钻井过程中的物理参数, 如电阻率、声波速度等, 动态调整钻井轨迹, 提高钻遇率。在页岩气开发中, 随钻测井可实时识别甜点层位, 指导水平井精准着陆。甜点层位是页岩气富集的区域, 通过随钻测井技术, 可确保水平井在甜点层位中钻进, 提高单井产量。例如, 在某页岩气田, 应用随钻测井技术后, 单井产量提升30%以上, 显著提高了开发效益。

2.2 地球化学分析技术深化

地球化学分析技术通过生物标志物、同位素与热演化模拟, 揭示油气源岩特征与成熟度。生物标志物是油气中具有特定化学结构的化合物, 其来源和演化过程可反映油气源岩的特征。通过生物标志物分析, 可识别不同来源的有机质, 如陆源有机质与海相有机质的差异, 为烃源岩评价提供依据。热演化模拟则通过实验室加热实验, 模拟地下高温高压条件, 预测油气生成阶段与丰度。根据热演化模拟结果, 可确定勘探目标区域的有利层位

和深度, 指导勘探工作。分子地球化学技术进一步深化了油气源对比研究。通过分析油气中特定化合物的组成与分布, 可追溯油气来源, 识别混源油气藏^[3]。在北海盆地, 分子地球化学技术揭示了多个油气藏的混源特征, 发现不同源岩生成的油气在运移过程中混合, 形成了复杂的油气藏。这一发现为勘探策略调整提供了科学依据, 指导了后续勘探工作的开展, 提高了勘探成功率。

2.3 数值模拟技术赋能精准勘探

数值模拟技术通过计算机建模, 模拟油气生成、运移与聚集过程, 为勘探决策提供量化支持。流体动力学模型可预测油气运移路径与聚集位置, 结合地质模型, 可优化钻井目标设计。在塔里木盆地, 通过数值模拟, 地质学家发现油气沿断裂带向上运移, 最终聚集在超深层储层中。根据这一模拟结果, 指导了“深地一号”跃进3-3XC井的钻探, 该井获得了高产油气流, 实现了深层油气勘探的重大突破。地质统计学方法则通过多源数据整合, 评估油气资源潜力。结合地震、测井、岩心与生产数据, 可建立三维地质模型, 量化储量分布与不确定性。在济阳陆相页岩油勘探中, 地质统计学方法揭示了“五个洼陷、三种岩相、两套层系”的分布规律。根据这一规律, 确定了亿吨级资源阵地, 为页岩油开发提供了资源保障。通过地质统计学方法, 还可评估勘探风险, 为投资决策提供依据。

3 石油地质与多学科融合拓展勘探边界

3.1 地质-地球物理-工程一体化模式

地质-地球物理-工程一体化模式通过多学科协同, 实现勘探开发无缝衔接。地质学家提供地层结构与沉积相解释, 为地球物理勘探和工程开发提供基础地质信息; 地球物理学家通过地震与测井数据构建地质模型, 准确反映地下地质情况; 工程师则根据地质模型设计钻井与压裂方案, 提高开发效率和效益。在顺北油气田, 通过“测井-地震-地质”一体化工作模式, 钻井成功率提升至90%以上, 单井产量显著提高。一体化模式打破了学科之间的壁垒, 实现了信息共享和优势互补, 提高了勘探开发的整体水平。一体化模式还强调数据共享与实时反馈。通过建立统一数据平台, 地质、地球物理与工程数据可实时交互, 指导动态决策。在页岩气开发中, 随钻测井数据实时反馈至地质模型, 动态调整水平井轨迹, 确保钻遇甜点层位。实时反馈机制可根据钻井过程中的实际情况及时调整开发方案, 提高开发效果, 降低开发成本。

3.2 人工智能与大数据驱动智能勘探

人工智能与大数据技术为石油地质勘探注入新动能。机器学习算法可自动识别岩性、预测储层参数, 显著提

高数据处理效率。在岩性识别中,机器学习算法可通过分析大量的测井数据和岩心数据,建立岩性识别模型,自动识别不同岩性,减少人工识别的误差和工作量。斯伦贝谢公司利用AI模型预测井筒完整性风险,优化超深水作业流程,非生产时间(NPT)缩短20%以上。通过人工智能技术,可提前预测井筒可能出现的问题,采取相应的预防措施,提高作业效率和安全性^[4]。大数据技术则通过多源数据整合,挖掘隐藏规律。结合地震、测井、岩心与生产数据,可建立油气藏智能预测模型,指导精准勘探。中国石化通过大数据分析,发现塔里木盆地深层油气富集规律,指导了“深地一号”基地建设,累计探明地质储量石油2.76亿吨、天然气2093亿方。大数据技术可处理海量的地质数据,发现数据之间的内在联系和规律,为勘探决策提供科学依据。

3.3 绿色勘探技术助力可持续发展

在油气勘探领域,绿色勘探技术正发挥着关键作用,成为推动行业可持续发展的强大动力。低影响地震勘探技术是绿色勘探的重要体现。它采用低能量震源与环保炸药,极大降低了对地表生态的破坏。特别是在生态环境极为脆弱的北极地区,这一技术优势更为显著。通过将遥感与地理信息系统(GIS)技术相结合,能够远程精准识别地表特征,减少现场作业对极地环境的干扰。如此一来,在不破坏地表生态的前提下,便可获取地下地质信息,真正实现了绿色勘探。碳捕集、利用与封存(CCUS)技术同样意义重大。在勘探过程中,会产生大量二氧化碳,而CCUS技术可将这些二氧化碳注入地下,既实现了减排目标,又达到了增储的效果。以新疆油田为例,其攻克强敏感致密油藏CO₂全域驱替技术,支撑试验区年注碳量达10万吨,预计提高采收率20个百分点以上,有力推动了CCUS全

产业链的发展。该技术将二氧化碳资源化利用,从源头上减少了温室气体排放,契合可持续发展的理念。绿色勘探技术的应用,为油气勘探行业带来了新的发展机遇。它不仅保障了能源供应的稳定,满足了社会经济发展对能源的需求,更重要的是,在勘探过程中有效保护了生态环境,实现了经济效益与环境效益的双赢^[5]。随着技术的不断进步和完善,绿色勘探技术必将在油气勘探领域发挥更大的作用,推动行业朝着更加绿色、可持续的方向发展。

结语:

石油地质在油气勘探中发挥着不可替代的核心作用,从揭示油气生成运移规律到指导储层评价、圈闭识别,为勘探工作筑牢根基。石油地质技术创新与多学科融合,为勘探带来新突破,智能勘探提升效率,绿色勘探守护生态。未来,随着科技持续进步,石油地质将与更多学科深度交叉,不断拓展勘探边界,提高油气勘探的精准度与成功率,为保障全球能源供应、实现油气勘探行业可持续发展贡献更大力量。

参考文献:

- [1]安玲芳.石油地质在油气勘探中的应用研究[J].石化技术,2025,32(5):288-290.
- [2]代洪超.新时期地质录井在油田勘探工作中的应用研究[J].石化技术,2026,33(1):394-396.
- [3]宋振坤.地质勘探技术在油气开发中的应用研究[J].石油石化物资采购,2025(11):175-177.
- [4]于强,王宝江,张禄明,田涛,高志亮,任战利,畅伟.深度学习技术在油气勘探中的研究进展与应用挑战[J].天然气工业,2025,45(5):43-56.
- [5]王微.人工智能在提高油气田勘探开发效果中的应用研究[J].信息系统工程,2025(4):86-89.