

数字化技术在石油勘探开发中的创新应用与经济效益分析

王军磊（普莱诺能源（天津）有限公司，天津 301700）

摘要：随着科技的飞速发展，数字化技术正以前所未有的速度渗透到各个行业，石油工程领域也不例外。数字化技术的应用为石油勘探开发带来了巨大的变革，从勘探开发到生产加工，从资源管理到决策制定，都离不开数字化技术的支持。本文探讨了数字化技术在石油勘探开发中的创新应用，并对其带来的经济效益进行了深入分析。旨在全方位揭示数字化技术对石油勘探开发的强大推动作用，让从业者清晰洞察其如何通过降本增效、优化资源配置等方式重塑行业格局，为石油企业的稳健运营、持续盈利提供切实可行的路径，也为相关研究提供详实参考。

关键词：石油勘探开发；数字化技术；创新应用；经济效益

0 引言

石油作为传统能源的基石，其勘探与生产效率的提升对全球经济至关重要。随着工业互联网的蓬勃发展，数智油田技术有力地重塑着石油勘探与生产的各个环节，推动行业迈向智能化、高效化。在勘探方面，充分借助大数据的海量存储与快速检索能力、人工智能的深度学习与精准判断优势，技术人员能够对数以亿计的地质数据进行深度剖析，精准定位潜在油气资源，极大削减了以往因勘探不准确导致的无效作业，让勘探效率与精准度实现跃升。在生产环节，物联网技术大显身手，将分散各地的设备紧密相连，达成智能管控。一方面，通过自动化流程优化开采步骤，减少人力投入；另一方面，实时监测设备运行状态，提前预警故障，降低停机时长，双管齐下显著压低运营成本。数字化技术从多方位赋能石油企业，在经济效益上扬帆起航，于市场竞争中破浪前行，为石油行业的持久繁荣筑牢根基。

1 数字化勘探开发技术基础

数字化勘探开发技术的基础在于大量的数据获取与处理。传感器、无人机、卫星遥感和地震勘探等技术手段使得石油行业能够收集到大量的地质、地球物理和地球化学数据。这些数据通过数字化勘探开发技术进行分析、处理和解释，为石油勘探和开发提供了准确的地质模型和储层描述。

1.1 数据采集技术

①传感器是数字化勘探开发技术的重要组成部分。通过在地表或地下安装传感器，可以实时监测地质参数的变化，如地震波、电磁波、重力场等。这些传感器能够捕捉到微小的地质变化，为地质模型的建立提供数据支持。

②无人机在石油勘探开发中发挥着越来越重要的作用。通过搭载高分辨率相机、激光雷达等传感器，无人机可以对地表进行高精度测绘，获取地形地貌、植被覆盖等信息。这些信息对于地质模型的建立和储层描述具有重要意义。

③卫星遥感技术能够获取大范围的地表信息，包括地形、地貌、植被、水系等。这些信息对于石油勘探开发中的区域选择、资源评价等具有指导意义。

1.2 数据处理与分析技术

①大数据分析技术能够处理海量的地质数据，提取有用的信息。通过大数据分析，可以识别出地质特征、储层分布等关键信息，为石油勘探开发提供决策支持。

②人工智能算法在数字化勘探开发技术中发挥着重要作用。通过机器学习、深度学习等算法，可以对地质数据进行智能分析，预测油气藏的位置和储量。这些算法能够处理复杂的地质问题，提高勘探开发的准确性和效率。

2 数字化技术在石油勘探开发中的创新应用

2.1 地震勘探数据处理

①高精度采集技术。在地震勘探的前端数据采集环节，数字化传感器相较于传统的模拟传感器，采样频率有了极大提升，能够以微秒级甚至纳秒级的精度捕捉地震波的细微变化，为后续精准解读地球内部结构提供基础数据。在地形起伏剧烈、地质构造破碎的山地地区，尽管信号易受山体阻挡、散射干扰；在广袤无垠、环境极端的沙漠地带，面临高温差、风沙侵蚀对设备稳定性的严峻挑战；以及在水压巨大、黑暗冰冷的深海区域，即便信号衰减严重，数字化传感器都能依靠其先进的自适应校准技术、高灵敏度感应元件，稳定地捕获那些微

弱却蕴含丰富地质信息的地震反射信号。

②大数据处理算法。当地震勘探现场源源不断地回传海量数据,云计算平台与前沿大数据处理算法便迅速进行分析。以并行计算技术为例,通过将复杂的数据处理任务拆解成无数个微小的子任务,分配至云端庞大的计算集群中同步运算,原本需要数月才能完成的数据去噪、成像处理流程,如今可压缩至数天甚至数小时。而深度学习算法更是为地震波数据解读带来革命性突破,基于海量的已知地质样本训练模型,使其具备自主识别不同地层结构对应的地震波特征模式的能力。当面对新采集的数据时,模型能迅速勾勒出地下地质构造的大致轮廓,精准定位潜在储层的位置、厚度与物性参数,大幅提高储层预测的可靠性。

2.2 油藏建模与模拟

①多源数据融合建模。石油勘探开发需要整合多种类型的数据,地质、测井、地震等各类型数据都十分关键。数字化建模软件能够将这些碎片化、多维度的数据进行无缝拼接,地质数据可展现地层沉积演化的历史脉络,测井数据能详细呈现垂向上各深度地层的物性参数,地震数据则用于描绘地下构造的三维形态。三者融合构建的三维油藏模型,不仅是一个静态的地质呈现,更像是一个动态反映油藏情况的模型,内部流体的流动路径、压力分布梯度、温度场变化态势都清晰可见,为开发方案的制定提供精准依据。

②实时动态更新。在油藏开采漫长的过程中,实时数据持续不断地注入模型。借助物联网技术构建的传感网络,油井井口压力、流量、温度,注水井的注水速率、水质参数,以及井下各类监测设备反馈的地层应力变化、油水界面移动等信息,会源源不断地实时汇聚至数据中心。随后,自动化的数据解析与模型参数调整程序立即启动,油藏模型据此依据最新情况动态优化开采策略,始终紧密贴合油藏实际状态,确保开发决策能与油藏动态变化同步。

2.3 智能钻井技术

①自动化钻井系统。步入现代化的钻井现场,数字化控制系统掌控着钻井全局。从高耸钻塔顶端的钻头旋转速度、钻进压力调控,到蜿蜒地面管线中的泥浆循环流量、比重调节,一切都依照预设的智能化程序有序运行。操作人员摆脱满身油污,告别高危的井场前沿,坐在整洁明亮、布满监控大屏的中控室,远程监控每一个钻井参数的实时动态。一旦系统监测到异常波动,如钻头遇硬地层卡顿、泥浆漏失风险预警,

自动化应急处置预案立即启动,及时调整操作指令,保障钻井过程安全、平稳、高效推进,极大降低了人为操作失误带来的风险隐患,提升钻井作业的安全性。

②随钻测量与导向。井下深处,随钻测量传感器发挥着重要作用。在钻头高速破岩挺进的同时,实时测量钻头所处的三维坐标、地层岩石的硬度、孔隙度、含油饱和度等关键信息,并借助无线传输技术,快速将数据传输至地面。地面控制系统依据这些井下反馈信息,迅速比对预设的钻井轨迹规划蓝图,运用智能算法精准计算钻头的偏差量,随即向井下发送调整指令,引导钻头精准穿梭于复杂地层,始终沿着预定的富油层位轨迹前行,大幅减少无效钻井进尺,让每一米钻进都更接近出油目标。

3 数字化技术在石油勘探开发中的经济效益分析

3.1 降低勘探开发成本

数字化技术在石油勘探开发中成效显著,深刻改变着行业面貌。一方面,其自动化、智能化特性引发人力领域的重大变革。过去,存在许多复杂且带有危险性的人工现场操作环节,在数字化技术的助力下,这些状况得到极大改善。拿数据采集来说,利用无人机可以在山川沟壑间灵活作业,大量减少了人工在野外作业的需求。智能监测系统能够实时监控各个作业区域,一旦出现异常情况立即反馈,进而减少人工巡检的次数,人力成本因此大幅降低。

另一方面,数字化技术深度融入油藏模拟与钻井设计流程,成为优化资源配置的核心力量。依靠对海量地质数据的细致分析,构建出精准的三维油藏模型,依据该模型能够准确定位开采靶点,有效减少无效钻井进尺。与此同时,结合油藏的实时动态,合理安排开采顺序,降低能源消耗,从源头上控制成本,为石油行业的持续发展提供强劲动力。

3.2 提高生产效率

数字化技术给石油勘探开发领域带来了全方位的深刻变革,其意义非凡,不仅助力降本增效,在缩短开发周期与提升油井产量上更是表现卓越。一方面,依托先进的技术手段,实现了快速的数据采集与处理。在野外,专业设备迅速捕捉地震波等关键信息,通过高效的传输通道,海量数据即时汇聚。相比传统的数据处理流程,耗时大幅缩短,尤其像处理地震数据,能比以往节省数月,进而大幅缩减从发现油藏至投入生产的时长,促使资金更快回笼。

另一方面,智能油藏管理系统发挥着关键作用。

通过分布在油藏各处的传感器，实时采集压力、温度、流体流速等详尽数据，工程师依据这些动态信息，精准调整开采策略，精细把控开采的每一个环节。如此一来，油藏采收率得以显著提高，单井产量随之大幅提升，源源不断地为石油企业创造丰厚经济效益，强力推动整个行业蓬勃向前发展。

3.3 提高资源利用率和采收率

在当下的石油勘探开发进程里，数字化技术的全方位应用带来了具有划时代意义的重大突破。它赋予了石油企业深度洞察地下油藏的真实状况的能力。企业运用地质建模软件，将来自不同区域、不同层面所采集到的海量地质数据进行系统整合，经过复杂且精细的运算，构建出近乎与实际情况完全吻合的精准地质模型。依托大数据分析所具备的超强运算能力，对油藏随着时间推移所产生的各类动态变化，诸如压力增减、流体流向改变等进行模拟预测，为开发方案的科学优化提供了坚实可靠的依据，进而促使资源利用率与采收率实现质的飞跃。

不仅局限于勘探环节，数字化技术更是深度融入到生产的每一个细微之处，实现精细化管控。在开采现场，各式各样的传感器被广泛部署，它们时刻不停地采集诸如温度、压力、流量等生产数据，一旦数据出现异常波动，预警系统马上启动，技术人员依据系统反馈，能迅速锁定问题根源并及时解决，有效杜绝因人为操作不当引发的资源浪费，确保石油开发平稳、高效、有序地持续推进。

3.4 增强风险应对能力，降低潜在损失

在石油勘探开发进程中，数字化技术扮演着至关重要的风险应对角色。通过在油藏开采的各个关键节点部署大量先进的传感器，这些传感器如同敏锐的“触角”，24小时不间断地实时监测压力、温度、流量等诸多核心参数。与此同时，依托智能算法强大的数据分析能力，对实时采集到的海量数据进行深度剖析，精准地提前预警油藏开采过程中可能潜藏的各类风险。一旦监测到异常迹象，系统立即触发警报，促使工作人员能够在第一时间采取针对性的有效应对措施。如此一来，成功规避了诸如极具危险性的井喷事故，以及会严重影响采收率的油藏过早水淹等重大灾难性事件的发生，切实避免了这些事故所引发的难以估量的巨大经济损失，为石油勘探开发项目筑牢了安全防线，稳稳地保障了项目长期、持续且稳定的收益，让石油企业的运营发展无后顾之忧。

3.5 推动石油行业的绿色发展

在当今时代，数字化技术在石油勘探开发领域的应用正引发深刻变革。一方面，其显著提升了作业的效率与效益。借助大数据分析进行精准的油藏勘探，能快速锁定潜在资源，大幅缩短前期勘探周期；在开发环节，智能钻井技术依据实时数据优化钻井参数，提高开采成功率，减少无效投入，让企业收获更高经济效益。

另一方面，数字化技术为石油行业的绿色发展开辟了新路径。它深度嵌入生产流程，以精细的算法优化各环节运作，最大程度提高能源利用效率，削减不必要的能源消耗。尤为突出的是，通过数字化监控系统对生产全过程的排放情况进行24小时不间断监测，一旦出现超标排放，系统即时预警，企业便能迅速响应，即刻排查处理污染源。这有效规避了因违反环保法规而面临的巨额罚款，以及由此带来的声誉损害。与此同时，持续推动石油企业朝着智能化、高效化大步迈进，从根本上为行业的永续发展筑牢根基，提供坚实可靠的保障。

4 结论

在当今科技飞速发展的时代浪潮下，数字化技术宛如一股强劲东风，深度席卷石油勘探开发领域，带来了令人瞩目的变革，全方位地拔高了行业的整体技术层级与经济效益。从成本管控维度来看，无论是借助无人机与高精度传感器实现人力精简，还是依靠精准模拟规避资源浪费，都切实从源头削减开支，降低了勘探开发成本。在效率提升层面，凭借大数据、云计算加速数据处理，配合智能钻井及油藏管理优化开采流程，大幅缩短从发现油藏到投产的周期，单井产量也显著攀升，让资金回笼与盈利步伐加快。同时，数字化技术化身“安全卫士”，提前洞察油藏开采风险，如精准预警井喷、水淹隐患，及时处置，防范潜在损失。展望未来，随着数字化技术持续进阶，必将在石油领域解锁更多可能，持续赋能，助力行业稳步迈向全新高峰。

参考文献：

- [1] 廖建军,岳礼.数字化测绘技术在石油地质勘探及开发中的应用[J].工程建设与设计,2019,(13):199-201.
- [2] 刘晓天.新型能力深化“两化融合”——西南油汽田数字化转型实践[J].企业管理,2021(009):102-105.
- [3] 蔡巧玉,吕腾波.“数智”赋能油气梦钻坚仰高赤子心——记中国石油勘探开发研究院信息技术首席专家龚仁彬[J].科学中国人,2023,(03):24-29+2.