

# 石油地质勘探的数字化变革与可持续发展探索

沈克凡

玉门油田生产保障服务中心数字化工程部, 中国·甘肃 酒泉 735000

**摘要:** 石油作为重要的化石能源, 其资源勘探开发事关国家能源安全和经济社会可持续发展。随着数字技术的快速发展, 大数据、人工智能、可视化、云计算等新一代信息技术正加速渗透石油地质勘探领域, 推动传统勘探模式的数字化、智能化变革。但同时石油勘探也面临资源日益枯竭、环境约束日益趋紧的严峻挑战。论文在分析石油勘探数字化发展现状和关键技术的基础上, 从生态保护、资源节约、动态平衡、国际合作等方面探讨了石油地质勘探可持续发展的路径, 旨在为石油行业绿色低碳转型提供参考。

**关键词:** 石油地质勘探; 数字化转型; 可持续发展; 大数据; 人工智能

## Exploration of Digital Transformation and Sustainable Development in Petroleum Geological Exploration

Kefan Shen

Digital Engineering Department of Yumen Oilfield Production Support Service Center, Jiuquan, Gansu, 735000, China

**Abstract:** As an important fossil energy, the exploration and development of petroleum resources are related to national energy security and sustainable economic and social development. With the rapid development of digital technology, new generation information technologies such as big data, artificial intelligence, visualization, and cloud computing are accelerating their penetration into the field of petroleum geological exploration, driving the digital and intelligent transformation of traditional exploration models. But at the same time, oil exploration is also facing severe challenges such as increasingly depleted resources and tightening environmental constraints. On the basis of analyzing the current status and key technologies of digital development in petroleum exploration, this paper explores the sustainable development path of petroleum geological exploration from the aspects of ecological protection, resource conservation, dynamic balance, and international cooperation, aiming to provide reference for the green and low-carbon transformation of the petroleum industry.

**Keywords:** petroleum geological exploration; digital transformation; sustainable development; big data; artificial intelligence

### 0 前言

石油资源是国民经济和社会发展的重要物质基础。加快推进石油勘探开发, 对于保障国家能源安全、促进经济社会可持续发展具有重要战略意义。进入数字时代, 以大数据、人工智能为代表的现代信息技术日新月异, 深刻影响着石油工业发展, 成为推动石油勘探变革的新引擎。运用数字化手段获取、处理、解释海量的地质数据, 建立油气藏精细化表征与评价, 形成智能化勘探决策, 已成为石油勘探效率提升的必由之路。然而, 在全球气候变化和低碳发展的大背景下, 生态文明建设与石油资源开发的矛盾日益凸显。石油公司面临着环境保护压力与成本控制的双重挑战。因此, 石油勘探既要加快数字化变革, 提高资源利用效率; 又要坚持绿色勘探理念, 在保护生态环境的前提下实现石油的可持续开发利用。

### 1 石油地质勘探的数字化发展现状

石油勘探是在对区域地质背景、沉积盆地、储层特征等开展综合研究的基础上, 评价圈定油气远景区, 预测油气

藏赋存状态, 并部署钻探工作的过程。数字化是石油勘探发展的必然趋势。近年来, 国内外石油公司纷纷加大数字化改造力度, 地质与地球物理数据获取、处理、解释、成果表达等环节的数字化水平不断提升。

#### 1.1 地质数据获取的数字化

地质数据是油气勘探的基础。野外地质调查、物探、测井、钻探试油等各个环节都会产生海量异构数据。数字化测量、扫描、传感等技术的发展, 使得地质数据获取更加高效、精准。例如, 测量机器人可实现野外露头、钻孔的自动化、精细化采集; 高分辨率遥感影像可获取大范围的地表地质信息; 智能化井场可实时监测钻进状态, 优化钻进参数。通过数字化手段提高一手地质数据的精度和可靠性, 是油气勘探分析的重要前提。中石化、中石油等公司均建有地质数据采集的数字化体系。据不完全统计, 目前中国石油行业数字化采集的地质数据已超过 PB 量级。海量的数字化地质数据为后续分析处理提供了坚实的数据支撑。

#### 1.2 地质数据处理的数字化

地质数据采集后, 需经过处理、解释才能形成可用的

地质信息。随着地震、测井等数据量急剧增加,传统的人工处理方式难以适应数字化勘探的要求。大型石油公司普遍采用高性能计算机集群,开发并行计算软件,加快数据处理速度。例如,中海油自主研发的 GeoEast 处理解释系统,在地震数据子波分析、偏移成像、地震属性分析等方面达到国际先进水平。中石化的 SIWeb 一体化数据处理平台,打通了跨区块数据共享通道。人工智能在地震数据噪音压制、构造解释等方面也得到广泛应用。深度学习可对不同地质体的地震响应特征进行智能识别,大幅提高油气藏预测的效率和准确率。数字化、智能化为石油勘探提供了强大的数据处理和分析能力,为油气远景评价奠定基础。

### 1.3 油气藏表征与评价的数字化

在准确表征油气藏空间展布和预测油气藏储量规模的基础上,对油气藏进行综合评价是油气勘探部署决策的核心环节。数字化、三维化的油气藏地质建模技术快速发展,为油气藏精细表征提供有力支撑。例如, Petrel、ResForm 等建模软件可对地震、测井、录井等多源数据进行同步整合,并考虑断层、不整合面等因素的影响,高精度刻画储层孔隙结构、流体属性的空间分布特征。虚拟现实、三维可视化等新兴技术进一步拓展了油气藏表征的深度和广度。地质人员可利用 AR/VR 设备沉浸式观察油气藏结构,开展动态模拟与优化决策。机器学习算法能够对多种地质参数组合进行快速敏感性分析,形成优选的油气藏评价方案。数字化、三维化、智能化的油气藏表征评价技术,极大提高了勘探决策的精准性。

## 2 石油地质勘探数字化转型的关键技术

现代信息技术与石油勘探的融合,催生了一系列新理论、新方法、新模式。大数据、人工智能、三维可视化、云计算等技术的协同应用,正在重塑传统的石油勘探流程和方法,成为推动石油勘探数字化变革的关键力量。

### 2.1 大数据技术在石油勘探中的应用

石油勘探积累了海量的结构化、非结构化数据,蕴含丰富的地质信息和油气分布规律。但传统的数据管理和分析模式难以有效管理和利用海量的多源异构数据。大数据技术为高效处理勘探数据提供了新思路。通过分布式存储、并行计算等技术,可对 PB 级的地震、测井等数据进行快速检索和关联分析,揭示数据内在联系。将不同来源、不同尺度、不同类型的数据进行融合汇聚,可构建立体化的油气远景区评价指标体系。通过机器学习算法深度挖掘地质参数与油气富集的内在关联,可形成优选的勘探决策方案。中石油、中海油等公司均开展了勘探大数据平台建设,实现了跨区域、跨学科的地质数据融合与协同分析,形成了一批大数据支撑下的勘探新领域和新发现。

### 2.2 人工智能技术赋能石油勘探

人工智能是石油勘探的新引擎。借助人工智能,可从

海量的勘探数据中自动提取油气成藏、运聚的关键信息,形成智能化的找油认识。基于深度学习的地震相图像分析,可实现储层、盖层等地震相的自动识别与分类,大幅提高地震解释效率。知识图谱可建立地质概念、数据、模型间的语义关联网络,辅助地质人员开展类比推断。基于深度强化学习的智能钻探,可根据地层特征、钻井工况等实时优化钻进参数,降低钻井风险。中石化勘探院研发了人工智能在储层预测、油气藏动态监测等方面的应用,实现了传统经验性认识向智能化、量化认识的跨越。中石油的智能勘探系列软件,融合机器学习、知识工程等技术,形成从数据到决策的端到端闭环,人机协同开展勘探方案优选,推动传统石油勘探向智能化勘探模式升级。

### 2.3 三维可视化技术提升石油勘探水平

石油勘探是一个多学科、多参数的系统工程,涉及空间信息高度复杂。三维可视化技术为直观展示油气藏空间展布、提高勘探决策水平提供了有力工具。基于体素的三维地质建模,可高精度刻画地层界面、断层等地质单元,量化表征孔隙度、渗透率等油气藏参数在三维空间的分布规律。沉浸式的虚拟现实技术,可多角度、动态模拟观察油气运聚富集过程,揭示油气成藏机理。三维可视化不仅是地质认识与解释的辅助工具,更是优化完井、油藏动态监测等勘探开发一体化作业的重要抓手。中海油自主研发的 GeoViz 三维可视化平台,实现了从宏观到微观、从静态到动态的多尺度一体化建模,形成了涵盖盆地、区块、油藏的多层级三维地质模型,为钻井设计、压裂改造等作业决策提供精细化的地质依据,有效提高了勘探开发整体效益。

### 2.4 云计算技术促进石油勘探协同创新

石油勘探是一个全流程的系统工程,涉及多区块、多专业、多单位协同作业。云计算以其强大的计算与存储能力、灵活的资源调度机制,为石油勘探提供了协同创新的新平台。中石化、中海油等公司先后建成石油勘探云平台,将分散在各区块的地质数据、数据处理软件集中管理,实现资源共享与按需调用。地质专家可随时随地通过网络访问云平台,利用强大的计算资源开展数据处理、解释与成果展示,极大提高了勘探作业的效率。不同区块、不同部门间的数据壁垒被打破,知识与经验得以充分流动,形成了开放、协同、共享的勘探创新生态。云平台还可对接科研院所、高校的力量,借助产学研协同优势加快关键共性技术攻关。中石油与多家高校联合成立了油气勘探云计算联合实验室,在智能勘探、复杂油气藏建模等领域取得重要突破,形成了一批拥有自主知识产权的核心技术,有力支撑了中国页岩气等非常规资源的高效勘探。

## 3 石油地质勘探的可持续发展策略

石油作为不可再生的化石能源,其资源禀赋有限。随着常规油气资源的日益枯竭,石油工业面临着转型发展的严

峻挑战,生态文明建设、应对气候变化的要求,对石油勘探提出更高的环境友好要求。在新形势下推动石油地质勘探的可持续发展,必须树立绿色勘探理念,在节约资源、保护环境的前提下提高勘探效率,实现经济效益、社会效益、生态效益的统一。

### 3.1 绿色勘探,保护生态环境

油气勘探涉及钻井、压裂等作业活动,不可避免对生态环境产生扰动。必须坚持生态优先,将环境保护贯穿勘探全过程。在勘探部署时,要充分论证项目的环境影响,选择对生态干扰最小的勘探方案,对环境敏感区域进行特殊保护。在作业中,要严格控制废水、钻屑等污染物排放,最大程度减少对土壤和水体的污染。通过先进的完井、压裂工艺,降低环境风险。作业后要及时开展生态修复,最大限度减轻对生态的破坏。中石化推广应用清洁压裂、膜处理回用等绿色作业技术,单井废水基本实现近零排放。页岩气开发通过优化平台布局,减少占地近 50%。中石油还积极开展废弃井场、废弃泥浆池治理,经处理的土壤和泥浆固废全部实现资源化利用。通过源头把控、过程控制、末端治理,最大限度降低勘探活动的生态影响,守护碧水蓝天。

### 3.2 智能勘探,提高资源利用效率

石油是宝贵的不可再生资源,必须珍惜使用、提高利用效率。运用大数据、人工智能等新技术,可实现油气资源的精准高效勘探。通过智能解释处理海量的地震、测井数据,可快速锁定油气聚集区,减少盲目勘探。机器学习可对不同区块、不同油气藏类型形成智能分类,指导类比勘探区优选。大数据关联分析可揭示油气分布规律与勘探参数间的内在联系,形成优选的勘探部署策略。人机交互的智能决策系统可形成多情景的资源评价方案,规避勘探风险。中海油的智能勘探系统在南海某区块应用,通过智能预测油气远景,优选钻探位置,探明储量较常规勘探提高 30% 以上。中石油智能勘探软件应用于长庆油田,覆盖了从数据挖掘到智能评价的全流程,在提高工作效率的同时,实现了低成本、高效益勘探。未来,智能勘探将从智能分析、智能预测发展到智能决策、智能作业,以数字化重塑传统勘探的理念、业务、流程,最大限度提高油气资源的勘探开发效率。

### 3.3 精准勘探,实现储量动态平衡

保障国家能源安全,必须坚持常非并举,新区扩界和老区挖潜并重,实现探明储量的动态接替。运用高精度三维地震、智能测井等新技术,可实现储量的精准评价。基于全波形反演的地震资料处理,可获得与地质禀赋高度吻合的储层模型,大幅提高储量评价可靠性。应用智能化测井解释软件,可快速准确判别油层、水层,划分油水界面。开发智能化动态监测系统,实现油藏动态与钻井开发一体化,及时优化调整勘探开发部署。通过提高单井探明储量,实现增储上产。中石油东部新区近年来加大非常规油气勘探力度,创

新了致密油气精细评价、页岩气压裂改造等勘探开发技术,探明储量实现了跨越式增长。涪陵页岩气田建成投产仅用 5 年时间,日产量突破 2000 万方,创造了非常规天然气规模高效开发的奇迹。通过精准勘探不断优化储量结构,力争实现探明储量和产量的动态平衡,夯实国家能源安全的资源基础。

### 3.4 合作勘探,打造国际竞争新优势

石油作为战略性资源,其勘探开发充满激烈竞争。“走出去”参与国际油气合作,有利于分散资源约束风险,提升企业国际竞争力。借助“一带一路”倡议,中国石油公司积极参与全球油气资源配置,加强与沿线国家能源合作。利用先进的数字化勘探技术,在中东、中亚、非洲、美洲等地区获得一系列重要勘探突破,还可利用自身技术优势,为东道国提供数字化勘探开发一体化解决方案,实现互利共赢。通过油气合作项目,中国技术标准、生产方式得以“走出去”,提升了中国石油工业的国际影响力。面向未来,石油公司应进一步加强与国际同行在大数据、人工智能等前沿技术领域的交流合作,联合攻关智能化勘探关键技术,打造勘探技术的全产业链优势,提升国际市场话语权。在更大范围、更高水平、更深层次参与全球能源治理,推动全球油气勘探开发实现绿色可持续发展。

## 4 结语

石油资源的可持续勘探开发事关国家能源安全 and 经济长治久安。随着数字经济时代的到来,现代信息技术与石油地质勘探加速融合,极大拓展了油气资源的潜在边界,提升了勘探的精准性和成功率。但同时,石油作为不可再生资源,其勘探开发也面临资源约束日益趋紧、生态环境压力不断加大的严峻挑战。必须坚持创新驱动、绿色发展,用数字化推动石油勘探变革,在降本增效、提质增储的同时,最大限度减少生态环境影响。坚持走生态优先、精准高效、开放合作的可持续发展之路,推动形成绿色低碳的现代石油工业体系,能在确保国家能源安全的同时,为人类社会可持续发展、应对全球气候变化贡献更大的力量。

### 参考文献:

- [1] 殷鹏飞.石油地质资源勘探技术的创新与发展[J].内蒙古石油化工,2023,49(11):62-64.
- [2] 谭志勤,侯剑辉.探讨绿色矿山地质勘查综合技术的改进策略[J].冶金与材料,2024,44(3):159-161.
- [3] 刘红.金属山水工环地质勘查技术的可持续发展及应用路径分析[J].中国金属通报,2023(20):228-230.
- [4] 左胜华,王世坤,李晓英.新时代煤炭生态地质勘查产业链基本架构研究[J].内蒙古煤炭经济,2022(12):184-186.
- [5] 刘晓岗.常见地质勘探技术和地质勘查现状探究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2023(2):3.