

超算互联网在复杂油气藏勘探数值模拟中的应用

张效斌¹, 钱家喻¹, 但思梦²

1. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 102206

2. 成都锦城学院, 四川 成都 611700

DOI: 10.61369/TACS.2026060014

摘 要 : 复杂油气藏地质条件复杂、非均质性强, 其勘探数值模拟需处理海量地震数据。超算互联网凭借其统筹多元异构计算资源、提供海量算力支撑的核心优势, 成为破解这一难题的关键路径。基于此, 本文主要探讨超算互联网在复杂油气藏勘探数值模拟中的应用路径, 以期为油气资源精准勘探、高效开发提供理论支撑。

关 键 词 : 超算互联网; 复杂油气藏; 勘探; 数值模拟; 并行计算

Application of Supercomputing Internet in Numerical Simulation of Complex Oil and Gas Reservoir Exploration

Zhang Xiaobin¹, Qian Jiayu¹, Dan Simeng²

1. Petroleum Exploration And Production Research Institute of SINOPEC, Beijing 102206

2. Chengdu Jincheng College, Chengdu, Sichuan 611700

Abstract : Complex oil and gas reservoirs are characterized by complex geological conditions and strong heterogeneity, and their exploration numerical simulation requires processing massive seismic data. With the core advantages of coordinating multi-source heterogeneous computing resources and providing massive computing power support, supercomputing internet has become a key path to solve this problem. Based on this, this paper mainly explores the application path of supercomputing internet in the numerical simulation of complex oil and gas reservoir exploration, aiming to provide theoretical support for the precise exploration and efficient development of oil and gas resources.

Keywords : supercomputing internet; complex oil and gas reservoirs; exploration; numerical simulation; parallel computing

引言

随着常规油气藏勘探开发进入瓶颈, 复杂油气藏已成为当前油气勘探的重点领域与核心方向。复杂油气藏地质条件复杂、非均质性强, 普遍存在裂缝、断层、溶洞等复杂地质构造, 其勘探过程需处理海量地震数据, 对计算能力与数据处理效率提出极高要求。传统计算模式存在算力不足、模拟效率低、精度有限等局限, 难以满足高效勘探需求。而超算互联网通过整合分布式超算资源, 打破“算力孤岛”, 实现算力的协同调度与高效供给, 凭借其强大的并行计算能力与资源整合优势, 成为破解复杂油气藏勘探数值模拟难题的关键支撑。

一、超算互联网的核心概念与应用特点

超算互联网是在数字经济时代依托先进信息技术与高性能计算技术, 整合各类异构超级计算资源、数据资源与应用资源, 构建而成的协同化、智能化、一体化的新型算力生态体系, 其核心内涵在于打破算力资源的“孤岛化”分布, 实现算力、数据、应用的高效协同与深度融合, 为各类大规模计算需求提供灵活、高效、可扩展的计算服务支撑^[1]。

其一, 算力资源的协同化与聚合性。一方面, 搭建高速安全的传输体系和标准化技术接口, 可以打破各大超算中心、服务器

集群之间的技术与管理隔阂, 实现各类异构算力资源的无缝衔接, 进而把原本分散的算力, 整合为可灵活调配、高效利用的整体资源; 另一方面, 超算互联网整合的算力资源本身具备多样性特点, 包含高性能超算、通用服务器、专用设备等多种类别, 借助异构适配技术, 能够化解不同架构、不同类型算力的兼容难题, 进而让各类算力资源做到优势互补、协同运行。其二, 数据管理的一体化与智能化。超算互联网能够突破传统数据管理零散、割裂的短板, 搭建统一、高效、智能的数据管理体系。与此同时, 可对海量多源异构数据完成集中管控、整合分析、深度挖掘与快速共享, 以此提升数据管理的整体效能, 真正实现数据

资源高效利用与价值最大化^[2]。其三,应用服务的场景化与适配性。超算互联网能够根据不同领域、不同场景的计算需求,整合适配的算力资源、数据资源与算法模型,构建定制化的应用服务体系,提供定制化的技术解决方案与应用服务,满足不同领域、不同行业的个性化计算需求,推动各类场景的技术创新与效率提升。

二、复杂油气藏勘探过程中传统计算模式存在的问题

(一) 算力供给不足,难以支撑大规模数据模拟计算

复杂油气藏本身地质构造复杂、非均质性突出,其数值模拟需要处理海量地震、测井及地质数据,整个过程既要完成海量数据并行运算,还要求解各类复杂方程,整体算力需求成倍上升。但传统计算模式大多只依靠单一超算中心或本地服务器集群,算力资源普遍处于孤立分散的状态^[3]。另外,不同机构、不同地区的算力难以实现统一调度与共享,不仅造成大量算力白白闲置,还会让不少勘探模拟任务因算力短缺,难以高效开展。

随着复杂油气藏勘探难度的不断提升,数值模拟的精度要求、数据规模与运算复杂度持续增加,传统计算模式的算力扩展速度难以跟上需求增长的节奏,导致算力缺口持续扩大。除此之外,复杂油气藏勘探数值模拟任务存在明显的阶段性差异,不同阶段的运算需求、算力消耗各不相同,传统计算模式的算力调度机制较为僵化,难以根据任务需求动态分配算力资源,导致算力资源与模拟任务不匹配^[4]。

(二) 数据处理能力薄弱,难以适应海量数据需求

复杂油气藏勘探数值模拟依赖海量多源异构数据的支撑,包括地震数据、测井数据、地质数据、钻井数据等,这些数据具有规模大、类型多、格式杂、精度要求高的特点。客观来讲,传统计算模式的数据处理流程相对繁琐,缺少自动化、智能化的处理机制,大多还要依靠人工操作,不仅难以高效批量处理海量数据,还容易因为人为操作失误造成数据偏差,最终影响整体的数据质量^[5]。此外,不同类型、不同格式的数据,往往零散存储在各类设备和系统当中。然而传统计算模式,并不具备处理多源异构数据的协同能力,难以完成数据的快速整合与共享,从而导致数据资源过于分散。

(三) 模拟精度与效率失衡,难以满足勘探决策的精准需求

传统的计算模式,本身并行运算能力相对有限,不仅无法合理拆分运算任务,也难以高效分配运算任务,正因为这样,各个计算节点之间的协同配合效果较差,造成大量运算资源白白浪费损耗,难以真正发挥出并行计算本该具备的实际作用与效能^[6]。同时,复杂油气藏勘探数值模拟需要兼顾油、气、水多相流体流动与岩石变形、温度场变化等多物理场的耦合作用。传统计算模式在算法设计方面相对单一,形式也比较固化,无法满足多物理场耦合模拟的实际需求,难以实现多物理场之间的精准联动和高效率运算。正因如此,模拟结果无法完整客观地还原油气藏的动态变化规律,进一步降低了勘探决策的科学性与合理性。

三、超算互联网在复杂油气藏勘探数值模拟中的应用路径

(一) 建立高效处理体系,实现数据处理自动化、智能化

作为新型国家级算力基础设施,超算互联网具有算力聚合优势与数据协同管理能力,将其应用于复杂油气藏勘探数值模拟中,可以破解复杂油气藏勘探海量多源异构数据处理效率低、质量差的局限,为数值模拟提供高质量、标准化的数据支撑,推动复杂油气藏勘探数值模拟向精准化、高效化转型^[7]。在数据采集环节,可以依托超算互联网的智能终端协同技术,完成地震数据、测井数据、地质数据等多源数据的同步采集,并同时实现采集数据的实时加密与安全存储,防范数据丢失、损坏与泄漏等风险,保障数据的安全性及可靠性。

复杂油气藏勘探数据中存在大量噪声、异常值与缺失值等问题,超算互联网可以调用分布式算力资源,对海量数据进行并行清洗处理,结合智能识别算法,自动识别无效数据、异常数据与缺失数据,通过标准化的校正模型对异常数据进行修正,对缺失数据进行合理补全^[8];在此基础上,还可以根据不同类型数据的特征,适配差异化的清洗与校正策略,实现数据处理的个性化与精准化。最重要的是,超算互联网可以实现海量多源异构数据的无缝整合与标准化处理,不同类型、不同格式的勘探数据经过标准化转换后,能够实现相互兼容与联动分析,形成结构化、规范化的数据集,为后续的数值模拟与数据挖掘提供统一的数据支撑。

(二) 依托算力协同聚合优势,构建三维地质模型

为了更好地提高复杂油气藏勘探数值模拟的精准度,需要依托超算互联网算力协同聚合优势、数据协同管理能力与智能建模技术,构建与地下真实油气藏高度契合的地质模型,解决传统地质建模中数据处理效率低、融合精度不足的问题^[9]。首先,复杂油气藏数值模拟的求解过程涉及千万级乃至亿级网格模型的求解、多物理场耦合计算与复杂偏微分方程的求解,对算力的需求量极大,超算互联网通过算力协同聚合,形成远超单一超算中心的算力规模,为高精度数值模拟求解提供持续、稳定的算力支撑。

其次,超算互联网可以自动识别地下地质构造特征、储层边界与储层参数分布规律,通过智能算法对多源数据进行深度挖掘,提取关键地质参数,自动完成模型的构建、校准与优化,这样不仅可以有效提升地质建模的效率,还可以从整体上减少人工经验带来的主观偏差,提升地质模型的准确性。最后,复杂油气藏地质建模往往需要多个领域的技术人员协同合作,涉及多个技术环节。而借助统一的算力调度平台与数据共享平台,可以实现不同区域、不同机构的技术人员共享算力资源、数据资源与建模成果,大幅缩短建模周期,满足复杂油气藏勘探不断提升的精度要求^[10]。

(三) 构建一体化智能分析体系,推动勘探决策数据化转型

依托超算互联网的算力优势、智能分析技术与数据协同能力,能够对数值模拟产生的海量结果数据进行深度分析、智能解读与多维度呈现,进而提取有价值的地质信息与勘探线索,为复杂油气藏勘探决策提供科学、精准、直观的支撑,推动勘探决策

从经验驱动向数据驱动转型。

复杂油气藏数值模拟的结果数据庞大、内涵丰富，涵盖地下油气藏的储层分布、流体流动规律、油气储量预测等各类关键信息。在模拟结果深度挖掘环节，超算互联网结合人工智能、机器学习等先进技术，构建智能分析模型，对海量模拟结果数据进行多维度、深层次的分析，自动提取关键信息、识别油气分布规律与地质异常特征，挖掘模拟结果背后隐藏的地质规律与勘探线索。除此之外还可以精准识别地下油气藏的有利储层区域、流体流动通道与油气富集区，预测油气储量与分布范围，为勘探井位部署、勘探方案制定提供精准的依据。在模拟结果智能解读环节，超算互联网可以利用自然语言处理技术与智能解读模型，将复杂的模拟结果数据转化为清晰、直观、易懂的分析结论，实现模拟结果的智能化解读，让勘探决策人员可以快速掌握地下油气藏的核心特征与勘探重点。

在模拟结果进行可视化展示的环节里，超算互联网能够把地下油气藏的地质构造、储层分布、流体流动规律等复杂信息，通

过三维模型、动态曲线、热力图等多种形式直观地呈现出来。这样一来，油气勘探决策人员能更加清晰、直观地看清地下油气藏的真实状况，进而精准找准勘探的重点和主攻方向。除此之外，在整个过程中，勘探人员还可以根据实际工作需要，灵活切换和调整可视化观察视角，深入细致地分析不同区域的地质特征以及油气资源的分布规律。

四、结语

综上所述，超算互联网凭借算力协同聚合、数据一体化管理与场景化适配的核心优势，为复杂油气藏的精准勘探提供了坚实支撑。通过建立高效处理体系、构建三维地质模型、构建一体化智能分析体系等路径，可以实现勘探数据的高效挖掘、模拟过程的精准提速与决策依据的科学赋能，提升资源勘探的精准度与效率，推动能源行业高质量发展。

参考文献

- [1] 马晨, 黄捍东, 梁书义, 等. 复杂油气藏储层预测方法综述 [J]. 中国海上油气, 2024, 36 (02): 87-97.
- [2] 王继彬, 张虎, 陈静, 等. 算力网络场景下的超算互联网建设探索与实践 [J]. 邮电设计技术, 2024, (02): 14-21.
- [3] 张虔, 陈建军, 曾利刚, 等. 低渗透复杂油气藏提高采收率技术研究 [J]. 能源化工, 2023, 44 (06): 59-62.
- [4] 曾大乾, 张广权, 杨小松, 等. 复杂油气藏型地下储气库气藏工程关键参数设计方法 [J]. 天然气工业, 2023, 43 (10): 24-33.
- [5] 厉军. 建设国家超算互联网 促进数字经济发展 [J]. 软件和集成电路, 2023, (09): 52-53.
- [6] 樊立荣, 李志, 杨紫, 等. 中国石油海外岩性地层油气藏勘探进展与前景展望 [J]. 岩性油气藏, 2023, 35 (06): 1-9.
- [7] 朱昌海. 拓宽深层复杂油气藏效益开发之路 [J]. 中国石油企业, 2022, (11): 55.
- [8] 张雪峰. 海域复杂油气藏勘探开发一体化技术体系及其应用 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022, 42 (09): 169-171.
- [9] 徐林建, 陆旭康, 夏竹君, 等. 热解气相色谱分析技术在复杂油气藏中的应用 [J]. 石化技术, 2021, 28 (04): 79-80.
- [10] 王玲, 孙廷彬, 吉亚明, 等. 沉积相分析在岩性油气藏勘探中的应用 [J]. 特种油气藏, 2020, 27 (03): 21-26.