

论地震勘探采集技术在石油勘探中的应用

刘自如

中石化石油工程地球物理有限公司华北分公司 河南郑州 450000

DOI:10.12238/ems.v7i7.14315

[摘要] 全球能源需求不断增长且油气勘探目标越来越复杂,在这种情况下地震勘探采集技术成为揭示地下油气藏分布规律的关键技术支撑。文章阐述了地震波传播理论和数据采集处理的基本原理,重点分析三维地震、四维地震、多波地震技术在复杂油气藏勘探中的应用效果并从宽方位采集、智能化处理、绿色勘探三个方面展望技术发展趋势,目的在于通过多维度信息获取、高精度成像处理、智能解释手段的有机结合提高油气资源发现效率,为勘探开发一体化和环境友好型作业模式打基础。

[关键词] 地震勘探采集; 多维地震技术; 智能化处理; 绿色勘探

引言

当前浅层易采油气资源越来越枯竭,勘探目标朝着深层、超深层以及非常规领域慢慢转移且数字化转型浪潮促使传统地球物理勘探技术朝着智能化、精细化演进,地质条件日益复杂且环保要求愈发严格,传统地震勘探技术在成像精度、作业效率和环境适应性等方面存在不少局限,因此深入研究地震勘探采集技术创新应用模式并探索其与人工智能、大数据等前沿技术融合路径,对提升我国油气资源保障能力、推进能源行业高质量发展有着重要理论价值和现实意义。

1 地震勘探采集技术的核心原理

地震勘探采集技术其核心原理基于弹性波传播理论,在地表人工激发地震波,波在地下传播时遇不同密度和弹性岩层界面会反射、折射、透射,如同声波遇空气和水界面会改变一样,地震波遇不同地质体也有独特传播特征,被改变的地震波带着地下信息回地表并被检波器阵列捕获转成电信号,之后用复杂数学运算和信号处理技术把杂乱波形数据重构成清晰地下图像,整个过程包含波动方程求解、信号噪声分离、时空校正等环节且每步都要有严格理论支撑和精确计算,地质学家解读处理后的地震剖面以识别地下构造形态、地层分布、潜在油气藏位置,从而达成对地球内部结构的精准探测。

2 地震勘探采集技术在石油勘探中的应用

2.1 三维地震勘探技术

三维地震勘探技术是在地表布设震源点和接收点网格很密集以构建出立体探测网络,从而精确捕捉地下地质体每个细节,三维地震数据体和传统二维剖面不同,其空间信息连续完整且消除了二维勘探中的插值误差和构造假象^[1]。

实际应用里,三维地震技术的构造成像能力相当卓越,由于空间采样密集,断层系统的空间展布能被精确刻画,哪怕落差仅几米的小断层也可清晰识别,这种高精度的构造成像对复杂断块油气藏勘探很关键,细小断层常控制着油气运移和聚集且三维数据体还支持任意方向切片显示,地质人员能从不同角度查看地下构造,从而构造解释的可靠性极大提高。三维地震技术在储层预测方面有重要应用,多种地震属性像振幅、相干、曲率等被提取后就能识别出河道砂体、生物礁、岩性尖灭等隐蔽型油气藏,在碎屑岩储层中尤其如此,三维地震属性能将古河道平面展布形态刻画得很清晰且砂体厚度变化也能预测,从而给井位优化精确指导。

2.2 四维地震勘探技术

时间这个看似和静态地质扯不上关系的维度,在四维地震技术里却有着极为关键的意义,重复采集油气田生产不同阶段的三维地震数据就能对地下流体动态变化进行实时监测,就像给油气藏安上了一台永远不歇的“监控摄像头”,有了这种动态监测能力,油藏工程师可以直观地看到注入水的推进前缘、剩余油的分布位置以及气顶的扩展范围。

四维地震技术核心价值在于对流体替换敏感,原油被水或气体替换时岩石弹性参数显著改变且在地震响应上会留清晰“指纹”,精确对比不期地震数据能识别出仅几个百分点的流体饱和度变化,油田开发人员靠这种高灵敏度监测能力及时发现注采不均衡、水淹不均匀等问题进而调整开发策略。四维地震技术在提高采收率上有着不可替代的作用,被水驱绕过的剩余油富集区也就是“死油区”,往往储量可观且能被四维地震技术准确识别,依据四维地震监测结果可优化注水井网、调整注采参数甚至重新设计开发方案。

2.3 多波地震勘探技术

纵波和横波在地震波里用不同方式探寻地下世界的奥秘,而多波地震勘探技术把这两种波的互补特性用得很巧妙,联合分析纵波、横波还有转换波的信息以构建更全面的地下认识体系,这种多元探测方式能有效解决单一纵波勘探的局限。

横波有个独特之处就是不能在流体里传播,这特性让其成为识别含气储层的有力工具,常规纵波勘探时,低速含气层常反射强烈,下伏地层信息就被掩盖了,而横波几乎不受气体影响能穿透含气层,得到下部地层的清晰图像且分析纵横波速度比和泊松比的变化,就可以直接判断储层的流体性质;多波地震技术的另一个重要应用领域是裂缝预测,横波穿过裂缝发育带时会分裂为快横波和慢横波这两个偏振方向不同的横波,通过分析横波分裂现象就能确定裂缝发育方向、密度和连通性,这对碳酸盐岩、火山岩等裂缝型储层的勘探开发意义重大^[2]。

多波地震技术独特优势之一是各向异性分析,由于地下岩石受成岩作用、构造应力、裂缝发育等影响,各向异性特征往往很明显,这一特征既影响地震波传播速度也改变波的偏振特性,而多波地震能获取不同方向、类型的地震波信息,从而全面刻画地下介质各向异性特征,这些信息对理解地应力场分布、预测点区位置、优化水平井轨迹等有着重要指导意义,在页岩气等非常规资源勘探中更是如此,岩石各向异性参数与可压裂性评价直接相关,多波地震技术给这类资源高效开发提供关键技术支撑。

3 地震勘探采集技术在石油勘探中的创新突破与未来趋势

3.1 宽方位地震采集技术

复杂地质构造的成像难题就像立体雕塑的全貌需摄影师从多个角度拍摄才能完整呈现一样难以破解,而宽方位地震采集技术通过扩展观测方位角能对地下构造进行全方位“扫描”,这项技术革新彻底改变了传统窄方位采集的局限性,为复杂油气藏精确成像开辟了新途径。

宽方位采集核心优势在于照明能力卓越,盐丘侧翼、逆掩断层下盘等构造复杂之处常规采集方式常形成大片成像盲区,而宽方位技术把横纵比从传统的0.5提到1.0甚至更高,实现了多角度地震波照明,有效填补成像空白,更重要的是获取多方位信息后地下介质各向异性特征能充分显现,从而使裂缝系统精确刻画有了可能^[3]。科学地观测系统设计是技

术实施的关键,现代宽方位采集有多种成熟实施方案,如海上采集的多船协同作业模式靠交叉航线或螺旋航线让方位角均匀覆盖,陆上的高密度面元采集炮点和检波点呈正交或斜交网格分布。

然而,新的技术挑战随着宽方位数据的处理而产生,海量数据的存储和计算需求呈指数级增长,常规处理流程因方位各向异性的存在而不再适用,业界开发了一系列针对性处理技术来应对,其中方位保真处理能确保各个方位信息完整,OVT(偏移矢量片)域处理可实现对方位信息的精细分析,全方位角道集的应用为各向异性参数反演提供数据基础,这些技术创新充分发挥了宽方位采集的潜力。

3.2 智能化与自动化技术

(1) 自动初始拾取

处理人员曾经在初始拾取这一繁琐工作方面花费大量时间与精力,在当前情形下,基于深度学习的自动拾取算法对这一状况予以彻底改变^[4]。卷积神经网络针对数万条人工拾取的初至样本展开学习行为,获取识别初至波的技巧,能够准确捕捉初至波形的细微特征方面,即使在信噪比极低的情况之下,识别性能依然处于稳定状态。

算法所具备的强大适应能力方面体现出其智能化特性,针对不同地区以及不同采集条件之下的地震数据,系统均能够自动调整识别策略以进行应对行为。引入注意力机制能够促使算法聚焦于波形的关键特征区域方面,运用长短时记忆网络能够捕捉地震道之间的空间相关性方面。通过对这些技术进行综合应用,自动初至拾取在准确率方面达到95%,在处理效率方面提升近百倍且算法拾取结果在一致性以及可重复性方面程度很高,避免了人工拾取过程当中存在的主观偏差。

(2) 智能成像解释

地震解释正从艺术领域朝着科学范畴进行转变,传统的解释工作在很大程度上依赖于解释人员所具备的经验以及直觉,然而智能解释系统并非如此,其凭借对大量解释实例的学习行为,从而具备了针对地质特征的“认知”方面的能力,深度学习状态下的断层自动识别系统能够于三维地震数据体当中,以迅速的方式对断层面进行定位操作且对断层空间展布予以追踪,其精度在程度上差不多接近甚至超越经验丰富的解释专家。

多属性融合分析作为智能解释方面的又一重大突破表

现,系统能够对数十种地震属性展开处理工作,借助复杂的非线性映射关系,对属性以及地质目标之间所存在的内在联系进行挖掘,以储层预测为例,算法能够自动找寻振幅、频率、相位等属性的最优组合形式,进而构建高精度的储层预测模型,这种以数据作为驱动的方法,突破了传统经验公式所具有的限制状况,使得复杂储层定量描述拥有了全新的可能性,在引入知识图谱技术之后,地质规律以及解释经验被转化为机器可以理解的知识体系范畴,达成了数据驱动与知识驱动的有机结合情形。

(3) 实时决策支持

在勘探作业面临突发状况情形之下,项目的成功与失败往往依赖于具备快速且准确特性的决策方面。传感器网络、边缘计算以及云端智能,经实时决策支持系统予以整合之后,构建起野外作业涵盖全过程的智能决策体系,对于数据采集的现场区域,系统能够针对每炮数据的质量开展实时监控工作,一旦察觉异常状况,立即进行预警操作并且给出相关解决方案。

在钻井的进程当中,这种智能决策的能力显得尤为关键,系统可以针对随钻地震、测井曲线以及钻井参数实施实时分析工作,借此达成提前对地层压力异常进行预测、对潜在钻井风险予以识别的目的^[6]。当钻遇复杂地质状况的时候,系统在秒级的时间内便能够给出轨迹调整相关建议,以此助力现场工程师做出最优决策。未来,实时决策支持技术将在油气勘探领域扮演愈加关键的角色,一方面随着人工智能、大数据等前沿技术的飞速发展,实时决策系统的智能化水平将进一步提升,深度学习算法能够从海量历史数据中自主学习,掌握复杂地质环境下的隐含规律,形成知识图谱,从而做出比人类专家更加精准、高效的决策;另一方面物联网、5G 通信等技术的普及应用将促使油田数字化、智能化转型进程加快,钻井、测井、录井等环节的设备将实现全面互联各类传感器产生的实时数据流能够被决策系统快速获取并分析,进而对工程实施过程进行全方位、立体化监控。一旦发现异常情况或潜在风险,系统可在瞬时做出智能响应并通过可视化界面、语音交互等人性化方式将优化建议及时传递给工程师,真正实现人机协同作业。

3.3 绿色勘探技术

环境保护已从受道德约束变为受法律要求,对石油工业

而言,绿色勘探不再是可做可不做的而是可持续发展的必然选择,这一理念贯穿地震勘探的全生命周期,源头有清洁震源、过程是低扰动作业、事后还会生态修复,如此形成完整的绿色技术体系。

震源技术的绿色化革新特别引人关注,新一代可控震源对扫描信号设计进行优化,在确保地下穿透能力的前提下能让地表振动强度降低一半还多,电磁震源、分布式震源阵列之类的创新技术实现地震激发悄然无声,在海洋环境里软启动技术和海洋生物监测系统一应用海洋哺乳动物就不会被地震作业干扰,这些技术既符合日益严格的环保法规要求又获得社会公众的理解和支持。绿色采集技术的成熟被无缆节点采集系统的推广应用所标志,独立节点很轻便且能被人工或无人机精准投放从而避免重型设备对地表的碾压破坏,节点有内置的太阳能充电系统且设计为低功耗能够数月连续工作且无需维护,更重要的是这种分布式采集模式能灵活避开生态敏感区域从而在不影响数据完整性的前提下最大限度保护自然环境。

结束语:

近年来,地震勘探采集技术构建起以多维度数据采集、高精度成像处理和智能化综合解释为核心的完整技术体系,给全球油气资源的高效勘探开发提供了很强的技术保障。面向未来,随着量子计算、人工智能、新材料科学等前沿技术和地震勘探深度融合以及碳中和目标下绿色勘探理念全面贯彻,地震勘探采集技术在保障国家能源安全、推进行业转型升级、促进人与自然和谐共生等方面必然会起到更重要的战略支撑作用。

[参考文献]

- [1] 赵改善,何展翔.节点地震勘探技术发展的系统性思考[J].石油物探,2024,63(04):718-734.
- [2] 曹雯,梁瑜.地震勘探技术在石油地质勘探中的应用及发展[J].化工管理,2023,(35):48-50+98.
- [3] 李晓红.地震勘探技术在石油地质勘探中的应用及发展[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(05):162-164.
- [4] 关仲波.探析地震勘探采集技术在石油勘探中的应用[J].信息系统工程,2021,(02):70-71.
- [5] 刘金凤.地震勘探技术在石油地质勘探中的应用及发展[J].石化技术,2020,27(10):137-138.