

DOI: 10.3969/j.issn.1672-7703.2020.05.012

基于梦想云的人工智能地震解释模式研究与实践

杨平 詹仕凡 李明 李磊 郭锐 尚民强 陶春峰

(中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司)

摘要: 为了探索云计算与人工智能技术在地震资料解释领域的结合方式,更好地发挥两者的协同优势,在深度学习解释软件研发实践的基础上,提出了基于梦想云+深度学习算法的地震资料解释新模式:①由梦想云数据湖与计算中心为深度学习算法提供大量的数据与高弹性计算平台;②深度学习技术与传统地球物理方法优势互补,共同搭建地震与地质解释的新流程;③在梦想云平台上应用深度学习模块,直接为梦想云平台的业务决策场景提供有效地震成果信息支持。这种模式可以取代大量手工操作、实现更高预测精度,从而为高效益、高精度油气勘探打下坚实的基础,经实践验证,取得了令人鼓舞的效果。

关键词: 梦想云;深度学习;人工智能;地震资料解释

中图分类号: TE19

文献标识码: A

Research and practice on artificial intelligence seismic interpretation mode based on E & P Dream Cloud

Yang Ping, Zhan Shifan, Li Ming, Li Lei, Guo Rui, Shang Minqiang, Tao Chunfeng

(BGP Inc., China National Petroleum Corporation)

Abstract: In order to explore the combination of cloud computing and artificial intelligence technology in seismic data interpretation, and to give play to their collaborative advantages, on the basis of the R & D practice of deep-learning seismic interpretation software, a new seismic data interpretation mode based on E & P Dream Cloud and deep learning method has been proposed, which includes: (1) Data Lake and Computing Center of E & P Dream Cloud provide a large number of high-quality label data and high elastic computing platform for the deep learning algorithm. (2) Deep-learning technology and traditional geophysical methods complement each other to establish a new process for seismic and geological interpretation. (3) The application of deep-learning module on the E & P Dream Cloud platform directly provides effective information support of seismic achievements for business decision-making on E & P Dream Cloud platform. This mode can save a large number of manual operations and achieve higher prediction accuracy, thus laying a solid foundation for high-efficiency and high-precision oil and gas exploration. After real data practice, encouraging results have been achieved.

Key words: E & P Dream Cloud, deep learning, artificial intelligence, seismic data interpretation

0 引言

不断提高油气勘探开发效率和精度是油公司实现降本增效的重要途径。勘探开发效率和精度的提高需

要以信息化、数字化为基础^[1-2],同时也需要借助先进的应用软件对所需数据进行分析与处理,最终得到支撑勘探开发决策的地质认识。计算机处理得越快、分析得越全面,研究人员获得地质认识所需时间就越

基金项目:中国石油天然气集团有限公司科学研究与技术开发项目“深层与非常规物探新方法新技术”(2019A-33);中国石油天然气股份有限公司投资信息化重点项目“勘探开发一体化协同研究及应用平台(一期)建设”(PetroChina-IT-2017-N104);中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司科技项目“储层高分辨地震反演技术深化研究及软件集成”(01-03-02-2019)。

第一作者简介:杨平(1975-),男,四川郫县人,1997年毕业于石油大学(华东),教授级高级工程师,东方地球物理公司高级技术专家,主要从事地震资料解释方法研究及应用工作。地址:河北省涿州市华阳东路东方公司科技园,邮政编码:072750。E-mail: yangpingbgp@126.com

收稿日期:2020-07-10;修改日期:2020-07-20

短、结果也越趋客观真实。国内始于1999年的数字油田建设,正是顺应了上述认识发展规律,因此取得了明显的成效,创造了巨大的经济效益^[3]。

随着油田信息化建设的不断深化,人们认识到对油田数据的应用可以更深、更广、更智能;智能化技术的广泛应用,对推动由“数字油田”进一步发展提升为“智能油田”甚至“智慧油田”^[4]起到了核心作用。中国石油在前期油田信息化建设的基础上,经过3年多的不懈努力,于2018年11月27日成功研发并正式发布了勘探开发梦想云,成为国内第一个油气行业主营业务共享智能云平台。该平台在统一的数据湖和技术平台的基础上搭建通用的应用环境,并提供数据共享、业务协同、应用软件共享、软件开发支持等服务,为中国石油智慧油田建设奠定了坚实基础^[5]。

2016年3月,谷歌围棋机器人AlphaGo战胜围棋世界冠军李世石,宣告了新一轮人工智能浪潮的到来。之后以深度学习(Deep Learning,简称DL)为代表的人工智能技术应用快速席卷全球,推动了各行各业的技术突破,并对社会生活产生重大影响,也为地震勘探技术的创新发展带来了新的契机^[6-7]。一大批或是耗时耗力、或是陷入瓶颈期的传统技术或业务有望通过DL技术来提升效率和精度。基于以上共识和技术应用探索,学术界很快涌现出一大批研究成果,研究内容涉及地震勘探领域的方方面面,且大多数研究取得了较好的效果,提升了人们对DL技术发展前景的良好预期^[8]。

目前DL技术研究往往以独立软件模块开发为主,总体处于分散状态,既没有良好的软件平台,也没有统一的发展规划,很难形成实质性的规模化生产能力。本文在DL解释软件研发实践的基础上,提出基于梦想云+深度学习的地震资料解释新模式,以期通过这种模式,充分发挥梦想云的数据、算力与场景优势,发挥深度学习的算法优势,大幅提高地震资料解释效率和精度,进而为高效益、高精度油气勘探提供更强大的技术支撑。

1 基于梦想云的数据与软件服务平台

云计算(Cloud Computing)早期主要是指分布式计算,而目前的云计算是指能够提供包括分布式计算、负载均衡、并行计算、网络存储和虚拟化等多种计算机技术的一种网络资源^[9],成为与信息技术、软件、互联网相关的综合性服务^[10]。通常,“云”的服务类型分为3类,即基础设施即服务(IaaS)、平

台即服务(PaaS)和软件即服务(SaaS)^[11]。其中IaaS提供虚拟化计算资源,如虚拟机、存储、网络和操作系统;PaaS为开发人员提供构建应用程序和服务的平台;而SaaS则用于通过网络向用户提供应用软件服务。

勘探开发梦想云(简称梦想云)是中国石油勘探与生产信息化建设第四阶段的成果,即共享智能阶段的成果。此前的3个阶段分别是分散建设阶段(2001年之前)、集中建设阶段(2001—2010年)和集成应用阶段(2011—2015年)。上述发展历程体现了信息技术发展的时代水平和客观需求,与国际大型石油公司信息技术发展基本保持了同步。梦想云的发布标志着中国石油的上游业务将实现在数字化方面的重大转型升级,预示着石油数字化产业将在中国进入规模化发展新阶段。

梦想云的建设遵循了“两统一、一通用”^[5]原则,即在统一的数据湖和统一的技术平台基础上,搭建通用的应用环境(图1)。其中的“统一”,既是云平台内部的统一,也是整个中国石油内部的统一,是建设“共享中国石油”的基础;其中的“通用”,既具有业务标准化、规范化的内涵,也包含其中的通用技术可用于不同业务板块的含义,同时也隐含着可面向全球企业和个人提供服务能力的内涵,是建设“世界一流云平台”的保障。

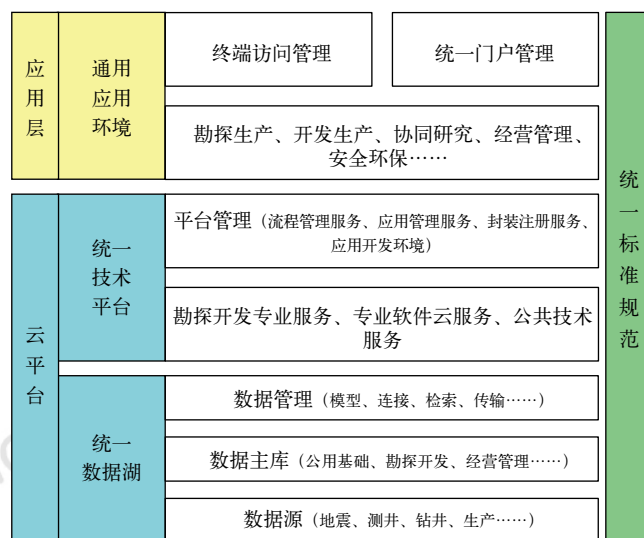


图1 梦想云总体结构示意图

Fig.1 General structure of E&P Dream Cloud

数据湖是一项与大数据息息相关的技术,建设统一的数据湖,可实现数据的逻辑统一和共享。梦想云基于中国石油勘探开发数据模型(EPDM),应用数

据湖技术,开发了主数据管理、元数据管理、质量管理、安全管理、数据服务等主要功能,构建了统一数据服务,实现上游全业务链数据的统一管理、治理与安全共享应用。大港油田的实践表明,利用梦想云,研究项目的数据准备时间可由5h缩短到1min。

基于PaaS云架构,梦想云建立了统一开放的技术平台,具备容器、微服务、软件开发流水线、企业服务目录、应用商店等主要功能,形成了“模块化、迭代式”敏捷开发模式,统一支持上游业务应用的开发、集成与服务,具备了业务协同、智能创新、专业软件共享、应用集成和应用开发支持五大服务能力。在此基础上,平台为业务用户提供统一应用入口,为应用开发者提供统一技术规范与开发环境,为平台管理者提供一体化运维功能,能够支持技术平台持续发展。

在统一数据湖和统一技术平台的基础上,梦想云构建了涵盖勘探生产、开发生产、协同研究、经营管

理等多个领域的通用应用。支撑跨盆地、跨油气田企业的数据共享和成果继承;支持各种专业软件的云化管理和整合应用。可形成以项目为主线、以问题为导向的辅助决策工作环境,勘探开发专业人员和决策人员可在同一场景下协同研究与决策。综合研究的全过程可共享、可协同、可控制、可追溯,提高效率的同时节约了成本,保证了质量。

如图2所示,本文构想的解释新模式中,数据湖将会作为原始数据的主要来源及解释成果的存储场所。同时会基于PaaS构架来开发或移植大量的解释模块(包括人工智能解释模块),从而为云解释提供软件支撑。最后,在大数据和智能软件服务的基础上,解释人员在应用层通过软件调用数据,实现多人、异地、实时办公与沟通交流。多学科、一体化综合研究成为现实,可有效提高解释的效率和精度,降低勘探决策风险。

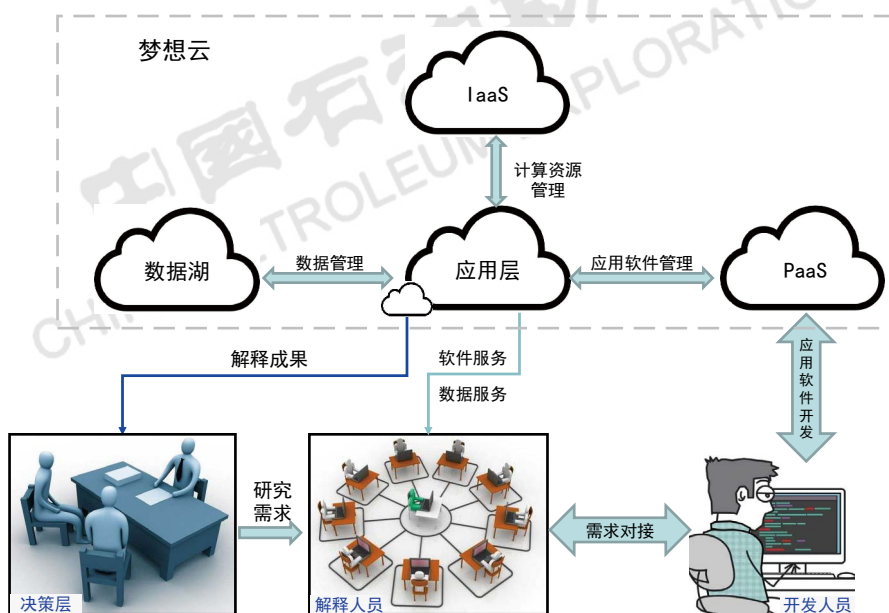


图2 基于梦想云的软件开发与应用模式

Fig.2 Mode of software development and application based on E&P Dream Cloud

2 “梦想云 + 深度学习”解释新流程

人工智能(AI)被视为第四次工业革命的源动力,推动了传统制造业、服务业的深刻变革,智能手机、智能医疗等新型产品和服务层出不穷,社会生活在AI的参与下正发生日新月异的变化^[12]。具体到地震资料解释环节,则需要顺应这种变化,充分发挥AI的强大功能,开发新的AI解释软件模块,完善或

取代部分耗时耗力或长期难以突破的传统方法,提升地震资料解释的效率和精度。

除了单项技术的改变,传统的地震资料解释模式也必须有所改变。2014年,金弟等提出一种基于分布集中融合协同工作模式的解释系统部署方案,解决了当时地震资料解释模式的低效率、低协同性等问题^[13]。随着计算机技术的发展,目前要实现传统技术与AI技术的融合与优势互补,更好地发挥两者的作用,

达到整体最优的效果。通常认为, AI 取得成功的三大核心要素是数据、算力与算法。考虑到梦想云具备数据与算力优势, 结合 DL 方法(新一代 AI 技术的主流算法), 本文构想了一种基于梦想云与 DL 方法联合的地震资料解释新模式。

地震资料解释的传统模式如图 3 所示, 总体可分为数据收集整理、构造解释、属性生成与分析、地质预测 4 个基本环节, 各环节之间是顺序执行的关系。从长期以来的生产实践可知, 这 4 个环节的操作过程中普遍存在以下问题: ①资料收集、加载费时费力; ②大量时间花在构造解释上, 留给分析研究的时间往

往不足; ③由于分析过程主要靠人脑而不是计算机, 属性分析的精度与定量化程度有待进一步提高; ④测试数据、生产数据、地质认识等重要信息往往仅在地质预测阶段依靠解释人员的经验、记忆和推理发挥作用, 难以直接以数据的方式融入计算过程并体现在最终图件上, 导致预测结果受主观认识影响严重。受早期技术条件所限, 上述问题成为长期困扰解释人员的拦路虎, 十几年来没有太大的进展。随着云计算与人工智能技术的发展, 这种不利局面终于有机会可以得到扭转。笔者认为, 以上每个环节都可以通过“梦想云+深度学习”的方案进行改进, 从根本上解决这些问题。

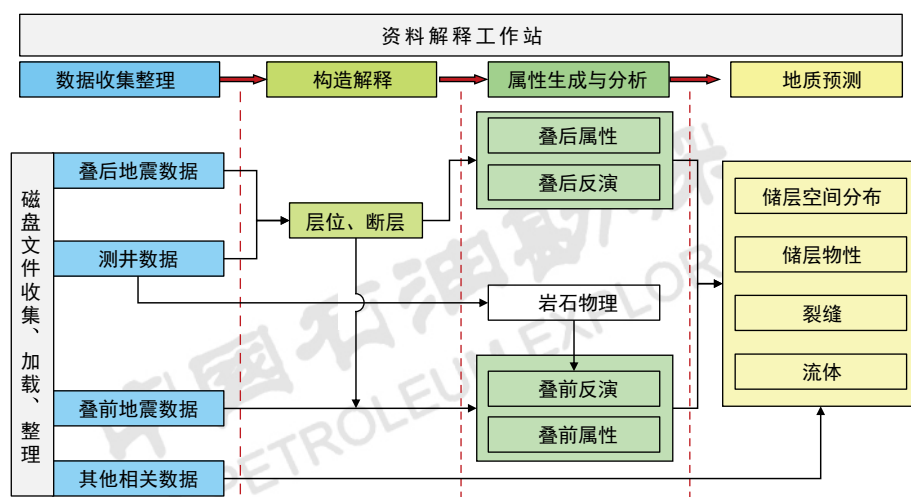


图3 传统的地震资料解释模式示意图

Fig.3 Schematic diagram of traditional seismic data interpretation mode

本文构想的地震资料解释新模式如图 4 所示, 整个流程也分为 4 个环节, 各环节均在梦想云应用平台上实现。该模式与传统模式的不同之处主要体现在 3 个方面:

(1) 流程方面有较大改变: ①分析过程以标签设计、增广和神经网络训练、优化为主; ②构造解释与其他工作并列, 不再作为所有分析工作的前置环节; ③传统属性分析结果既可以作为标签参与到神经网络训练中, 又可以与 DL 预测成果一起参与地质预测; ④研究环境由配置了全套软硬件资源的独立的工作站转变为基于更多资源的云平台和更简洁的云前端(普通终端), 平台的软硬件资源实现了集约化管理, 总体成本将大幅降低, 软硬件资源利用率将大幅提高。

(2) 数据利用效率大幅提高: ①原始数据直接来源于梦想云数据湖, 节约大量资料收集、整理的时间;

②地震、测井之外的其他数据, 如地理信息、生产数据、测试数据、各种知识型数据等更为丰富, 同时还可以利用其他工区数据, 且这些数据可直接作为标签参与神经网络训练, 大大扩展了信息来源, 有利于多学科融合; ③地质研究的成果数据最终将回归到数据湖, 不仅可作为其他项目研究的数据源, 研究经验还能以标签的形式被其他研究所应用, 实现了知识的重复利用。

(3) 解释方法发生重大转变: ①传统地球物理方法可在标签增广、地质预测环节发挥作用, 实现传统方法与 DL 方法的优势互补, 但总体来说不再直接作为最终成果; ②新的解释模式要求解释人员与开发人员直接沟通(图 2), 充分开展需求分析并参与标签与网络的设计, 而不是像传统模式中那样单一地应用软件, 这对解释人员的业务能力提出了新的要求; ③部分特殊环节, 如合成记录标定、工业制图等, 目

前仍适宜采用传统方法来实现；④大量的计算工作不再由本地工作站承担，而是通过云平台分配到计算中心，其超级计算能力将使长时间的等待成为历史，解释的交互过程将会更加实时；同时多人协作也不再受机器条件限制，多学科协同成为可能。

由此可见，地震资料解释新模式充分利用梦想云数据优势与平台优势，可在通用平台上直接开发和应用深度学习模块及其他专业软件，研究成果也可直接在云平台上用于决策支持，大大简化了中间环节，提升了效率和协同性。

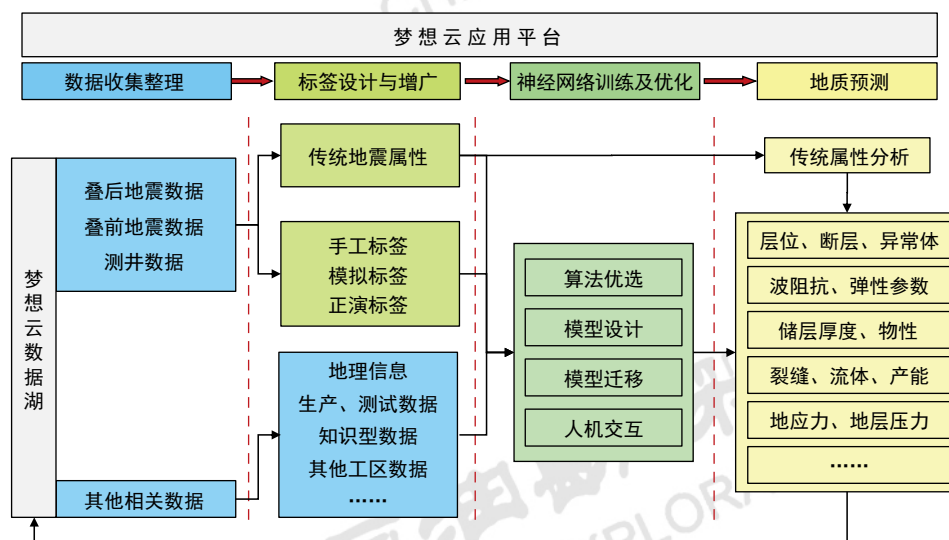


图4 基于“梦想云+深度学习”的地震资料解释模式示意图

Fig.4 Schematic diagram of seismic data interpretation mode based on “E&P Dream Cloud + deep learning”

3 基于梦想云的深度学习软件开发与应用

基于开源 DL 算法与梦想云 PaaS 服务，尝试性开发了测井岩性解释、层位断层解释、波阻抗反演等模块，并利用梦想云获取数据开展试验，取得了较好的效果。

3.1 测井岩性解释模块

测井岩性解释模块采用了包含 11 个隐层的卷积神经网络（包括卷积、池化和全连接层）。虽然目的层是砂泥岩互层，只需区分砂岩和泥岩，但网络采用了 softmax 函数作为激活函数，以适应多种岩性的任务。在一个具有 160 口井的工区内，随机选取 120 口井参与训练，耗时 10h（CPU 单进程）；然后对另外 40 口井进行测试，耗时 10min。测试结果如图 5 所示，可见 DL 预测结果与传统方法（人工）解释结果基本一致，仅在个别位置有细微差异，如图 5 中 A、B 处。由于采用了 softmax 函数，这种差异可以通过设置不同的概率阈值来加以调整。可见，DL 技术可以有效提高测井岩性解释的效率和精度。在网络模

型确定之后，可以在十几分钟内完成上百口井的岩性解释，在老井复查中可以快速完成目标筛选，大大减少解释人员的工作量。

与多层感知机（MLP）、自动机器学习（Auto-ML）等浅层学习方法进行对比发现，无论在效率还是精度上，DL 方法都明显表现更优秀。因此后续研究仅针对 DL 方法展开。目前还完成了基于少井的多岩性预测方法以及测井曲线预测方法等模块的开发。

3.2 层位断层解释模块

层位解释模块采用了包含 10 个隐层的网络结构。无论目的层振幅强弱、有无断层，只要特征明显的层，就可以在全工区只解释 9 条骨干剖面的情况下，迅速完成全区层位解释（小于 2min），效果明显优于传统自动追踪方法。图 6a 是传统方法追踪结果，图中黄点为种子点，可见在没有种子点控制的断块上（图中矩形和椭圆形所示），传统方法都不能正确追踪；图 6b 是 DL 方法追踪结果，很好地解决了上述问题。据统计，DL 方法对特征明显层的追踪精度能达到 99% 以上。

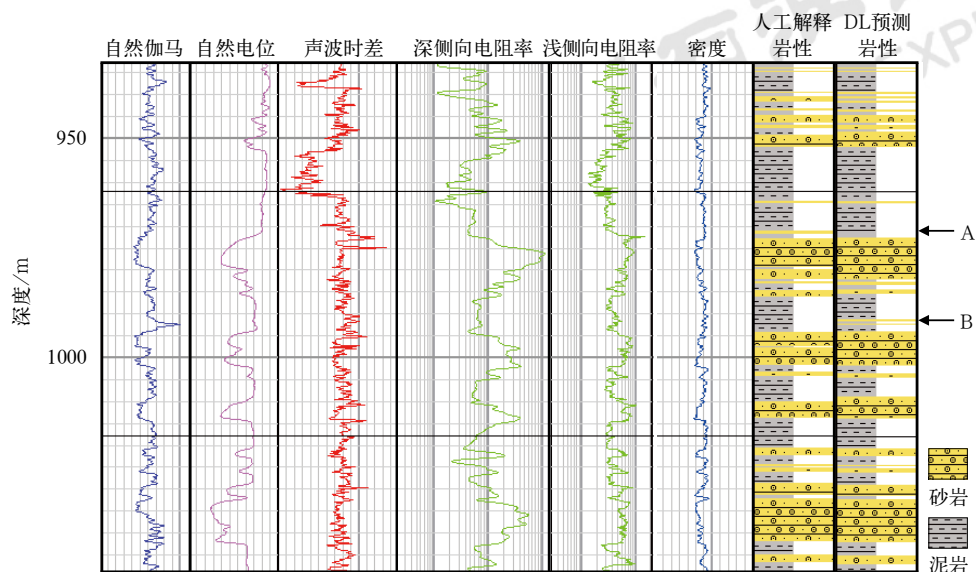


图 5 测井岩性解释成果对比

Fig.5 Comparison of lithologic interpretation results from well logging

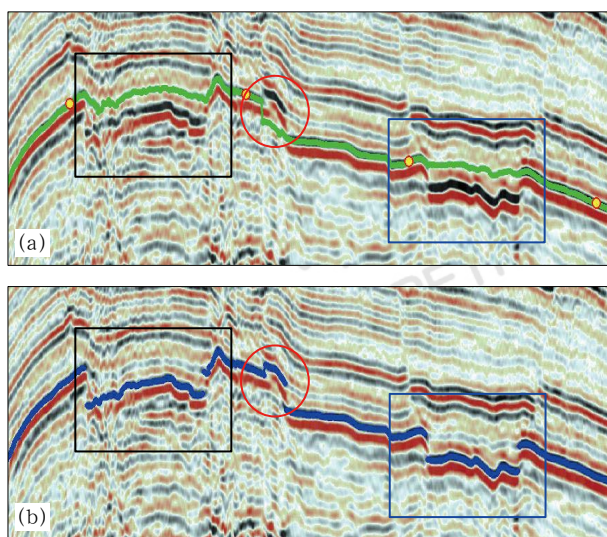


图 6 传统方法 (a) 与 DL 方法 (b) 层位追踪结果对比
Fig.6 Comparison of horizon tracking results between traditional method (a) and DL method (b)

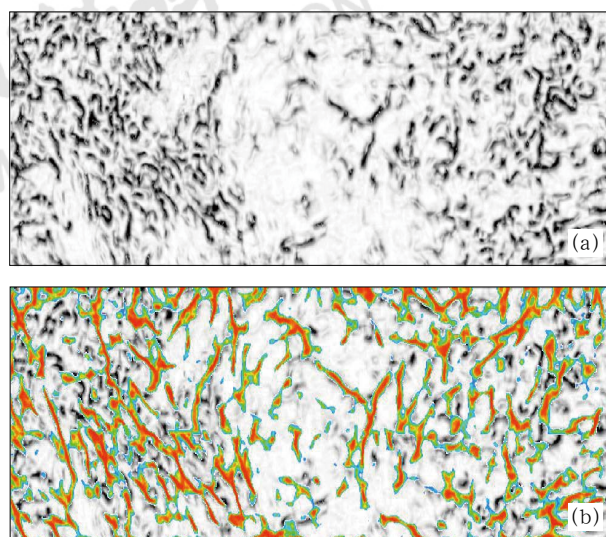


图 7 相干方法 (a) 与 DL 方法 (b) 断层识别效果对比
Fig.7 Comparison of fault identification results between coherence method (a) and DL method (b)

断层解释模块的网络结构相对复杂,效果也更加明显。特别是在低信噪比地区,DL 方法识别精度比传统的相干方法高出很多。如图 7 所示,在相干平面图上很难发现的断层发育规律,在 DL 平面图上清晰可见并有迹可循。

3.3 波阻抗反演模块

针对地震反演的数据特征,采用 CNN+RNN (Recurrent Neural Network, 循环神经网络) 的深度学习网络模型用于叠后反演。这种设计提高了网

络的泛化能力,且符合地质与地球物理规律。利用 5 口井进行标签增广,得到 1060 个不同的标签,输入到深度学习反演 (DLI) 网络中得到深度学习反演结果。利用 30 口井做约束稀疏脉冲反演 (CSSI),其反演结果用于与深度学习反演结果对比分析。

图 8 是过训练井的连井波阻抗剖面对比图,可以看出顶部的极低阻抗泥岩层在 CSSI 和 DLI 剖面中均得到很好反映,可以作为标志层。两者对比可得出以下认识:①总体来看,DLI 结果清晰揭示了 T_{2-1} 上下地层的差异性,即 T_{2-1} 与标志层之间地层波阻

抗总体大于 T_{2-1} 之下地层；而 CSSI 结果则不能反映这种变化。② DLI 结果的分辨率明显高于 CSSI 结果，细节处基本正确反映了纵向上小层的阻抗变化。③ CSSI 结果显示的连续性太好，不能很好地反映储层的横向剧烈变化；而 DLI 结果显示则是有断有续，相对更合理。除了上述优点，DLI 具有两点不足：一是对厚层的反映不够好，二是个别小层的反演结果与井不符。但总体来说，DLI 结果具有较高的分辨率并正确反映了储层的横向变化特征。

图 9 是 CSSI 与 DLI 波阻抗平面对比图。图中 W1 井~W5 井是参与训练的井，其余未标注井名的 25 口井参与了 CSSI。由图 9 可知 CSSI 与 DLI 整体

特征比较接近，均是中部呈北西—南东走向的高阻条带，两侧为相对低阻区。在细节上两者具有局部差异，表现为：① DLI 的横向分辨率更高，反映出更多细节，如椭圆形标记处类似于河道的低阻条带在 DLI 平面图上表现得更为清晰，这说明了这种差异的合理性。② 在 CSSI 平面图上，W3 井所在位置阻抗最高，但在 DLI 平面图上，该井仅是相对于其他训练井为高阻抗，但在整个平面图中属于中等阻抗。考虑到 CSSI 有 30 口井参与反演，初步认为 DLI 结果可能不够准确。但由于井点处的相对关系基本合理，而工区西南角（DLI 平面图的高阻区）并无更多的钻井，目前不能完全确认 DLI 结果的正确性。

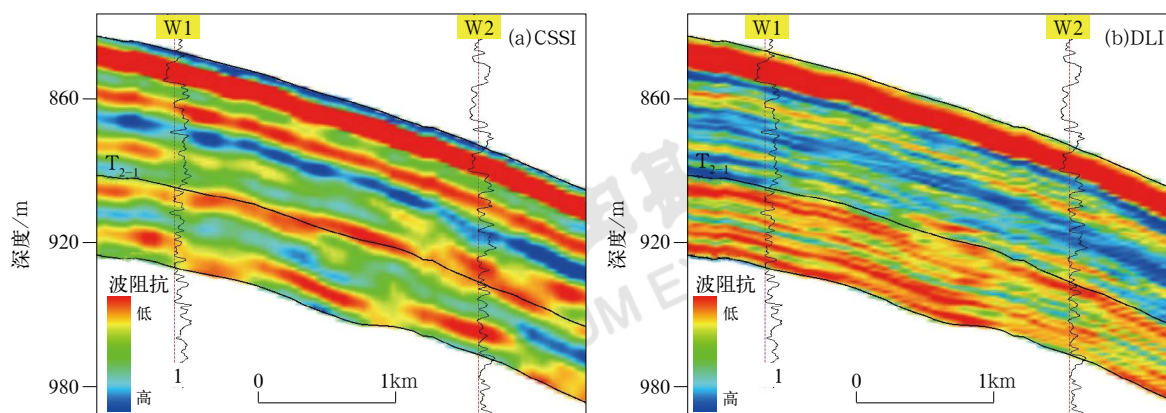


图 8 过训练井的连井波阻抗剖面对比图

Fig.8 Comparison of well-tie impedance profiles CSSI (left) and DLI (right) across training wells

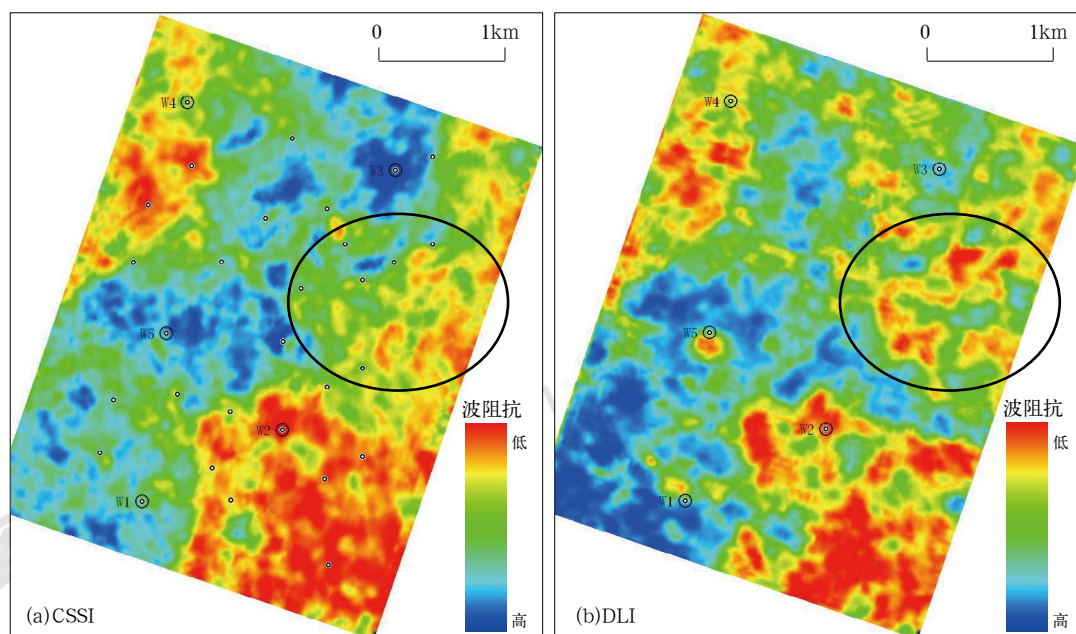


图 9 CSSI (左) 与 DLI (右) 波阻抗平面对比图

Fig.9 Comparison of CSSI (left) and DLI (right) impedance maps

4 结语

(1) 梦想云平台提供了数据资源、软件开发、应用平台及协同工作环境,利用DL可以开发出高效率、高精度的算法。基于两者结合的解释模式有利于地质研究效率与精度的提升。

(2) 基于DL的层位断层解释,效率和精度都优于传统自动追踪算法;DL反演很容易得到高分辨率的波阻抗剖面,这些都说明DL解释技术发展前景广阔,有必要进一步加大研发投入。

(3) 今后需要进一步完善梦想云的开发平台、提升DL解释模块的性能、优化基于梦想云的解释流程,加快“梦想云+深度学习”解释模式的推广应用,为油气勘探开发提质增效提供强有力支撑。

参考文献

- [1] 杨金华,李晓光,孙乃达,等.未来10年极具发展潜力的20项油气勘探开发新技术[J].石油科技论坛,2019,38(1):38-48.
Yang Jinhua, Li Xiaoguang, Sun Naida, *et al.* Twenty items of new technology for oil and gas exploration and development in next decade[J]. Oil Forum, 2019,38(1):38-48.
- [2] 王宏琳.通向智能勘探与生产之路[J].石油工业计算机应用,2016,24(4):7-20.
Wang Honglin. The road to smart E&P[J]. Computer Applications of Petroleum, 2016,24(4):7-20.
- [3] 高志亮,石玉江,王娟,等.数字油田在中国及其发展[J].石油科技论坛,2015,34(3):33-38.
Gao Zhiliang, Shi Yujiang, Wang Juan, *et al.* Development of digital oilfields in China[J]. Oil Forum, 2015,34(3):33-38.
- [4] 李斌,刘伟,毕永斌,等.智慧油田建设与发展[J].石油科技论坛,2018,37(3):47-52.
Li Bin, Liu Wei, Bi Yongbin, *et al.* Construction and development of intelligent oilfields[J]. Oil Forum, 2018,37(3):47-52.
- [5] 杜金虎,时付更,张仲宏,等.中国石油勘探开发梦想云研究与实践[J].

- 中国石油勘探,2020,25(1):58-66.
- Du Jinhua, Shi Fugeng, Zhang Zhonghong, *et al.* Research and practice of Dream Cloud for exploration and development of PetroChina[J]. China Petroleum Exploration, 2020,25(1):58-66.
- [6] 张荣,李伟平,莫同.深度学习研究综述[J].信息与控制,2018,47(4):5-17.
Zhang Rong, Li Weiping, Mo Tong. Review of deep learning[J]. Information and Control, 2018,47(4):5-17.
- [7] 罗珩,邹鑫,周子康,等.深度学习在油气地震勘探中的应用[J].中国石油和化工标准与质量,2019,39(20):86-90.
Guo Jun, Zou Xin, Zhou Zikang, *et al.* Application of deep learning in oil and gas seismic exploration[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2019,39(20):86-90.
- [8] 赵改善.石油物探智能化发展之路:从自动化到智能化[J].石油物探,2019,58(6):791-810.
Zhao Gaishan. Road to intelligent petroleum geophysical exploration: from automatic to intelligent[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2019,58(6):791-810.
- [9] 许子明,田杨峰.云计算的发展历史及其应用[J].信息记录材料,2018,19(8):66-67.
Xu Ziming, Tian Yangfeng. Development history and application of cloud computing[J]. Information Recording Material, 2018,19(8):66-67.
- [10] 罗晓慧.浅谈云计算的发展[J].电子世界,2019(8):104.
Luo Xiaohui. On the development of cloud computing[J]. Electronics World, 2019(8):104.
- [11] 王雄.云计算的历史和优势[J].计算机与网络,2019,45(2):44.
Wang Xiong. The history and advantages of cloud computing[J]. Computer & Network, 2019,45(2):44.
- [12] 蒋万胜,李冰洁.论人工智能技术对人类社会发展的影响[J].西安财经学院学报,2020,33(1):23-29.
Jiang Wansheng, Li Bingjie. On the revolutionary influence of artificial intelligence technology on the development of human society[J]. Journal of Xi'an University of Finance & Economics, 2020,33(1):23-29.
- [13] 金弟,庄锡进,王启迪,等.一种地震资料解释系统[J].计算机系统应用,2014,23(8):63-67.
Jin Di, Zhuang Xijin, Wang Qidi, *et al.* A seismic data interpretation system[J]. Computer Systems & Applications, 2014,23(8):63-67.