

供给

责任编辑:程强
电话:59963258
邮箱:chengq@sinopec.com
审校:张春燕
版式设计:王强

从“雾里看花”到“三维透视”

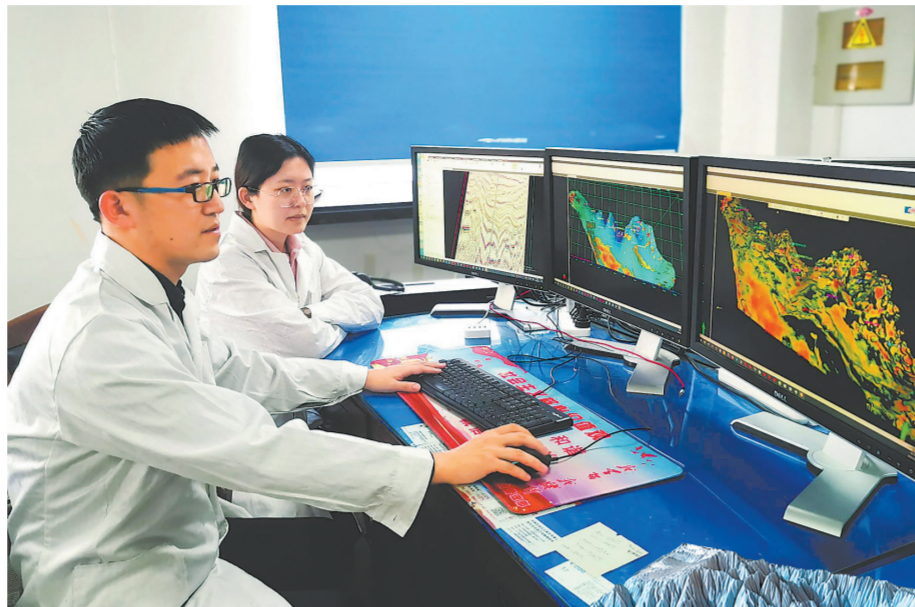
胜利油田物探研究院自主研发并持续优化“数字油藏”技术,为老油田做“智能CT”,实现对地下油藏全生命周期的“透明化”解析,为老油田高效开发打开了新的视野

□邵明浩 张磊 飞洋 许庆勇 李超君

在东部油区主战场,胜利油田勘探开发正面临前所未有的挑战:勘探目标总体呈现“薄、小、碎、深、隐、散”特点;部分区块进入高含水、高采出程度和高采速度的“三高”阶段,剩余油分布隐蔽、分散,犹如“躲猫猫的孩子”,难以精准定位……

如何精准找到这些“藏”在储层迷宫中的剩余油,成为制约老油田稳产增产的瓶颈之一。

以问题为导向,胜利油田物探研究院依托集团公司科技攻关项目,自主研发并持续优化人工智能油藏地球物理技术(“数字油藏”技术),以东部老区丰富勘探开发成果和海量开发动态数据为样本,以先进的人工智能技术为手段,构建了三维油藏模型,为老油田做了一次次精准的“智能CT”,实现了从“雾里看花”到“三维透视”的技术跨越。



▲胜利油田物探研究院技术人员正在基于“数字油藏”技术开展研究。张磊摄

剩余油都去哪儿了?

构造条件复杂、储层非均质性强、地震描述与剩余油预测的不确定性显著增强……随着勘探开发程度不断加深,胜利东部的油藏目标愈加“破碎”与“隐蔽”。

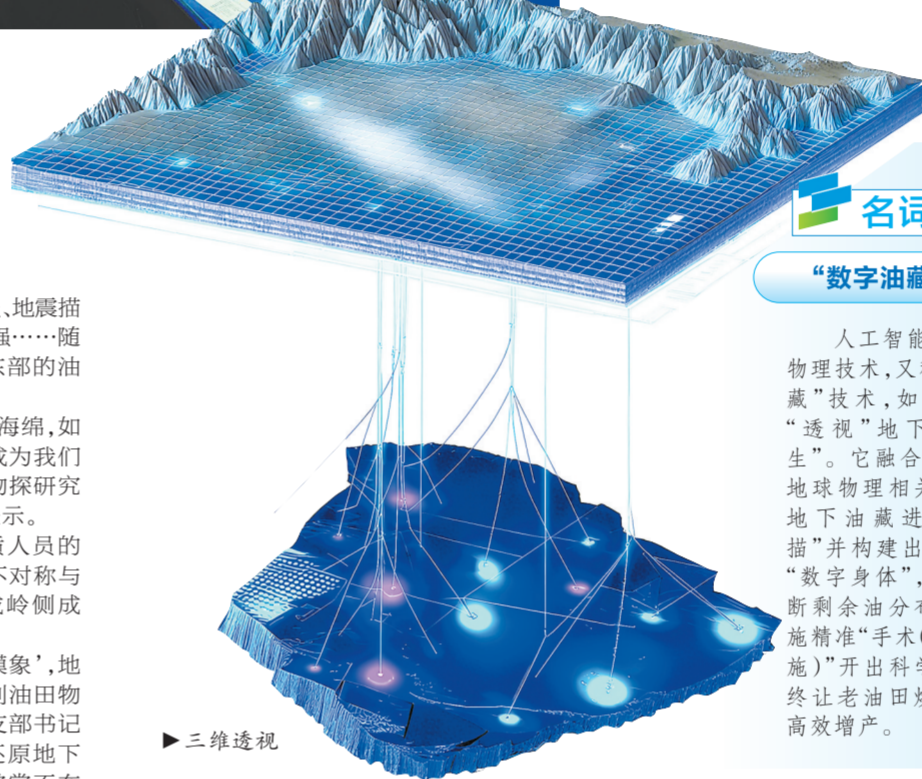
“地下油藏就像一块吸满水的海绵,如何精准找到剩余油、提高采收率,成为我们亟待攻克的关键技术。”胜利油田物探研究院油藏地球物理首席专家魏国华表示。

过去,井位部署主要依赖地质人员的专业知识和实践经验。由于信息不对称与个人理解差异,容易陷入“横看成岭侧成峰”的认知局限。

“以前预测储层有点像‘盲人摸象’,地下油藏的三维形态全凭想象。”胜利油田物探研究院油藏地球物理研究室党支部书记陈雨茂介绍,二维图纸难以真实还原地下情况,导致“输出端”与“接收端”常常不在一个“频道”,沟通成本高,决策效率低。

更严峻的是,老油田的剩余油分布在空间上更加零散,有的藏在微裂缝里,有的滞留在低渗透区域。如何在这些“地质迷宫”中精准定位剩余油,并实现精准挖潜?

面对难题,胜利油田物探研究院以“数



►三维透视

据驱动、多级约束、防震双控、大数据模拟”为核心思路,研发了人工智能油藏地球物理技术,构建起能够透视地下的“数字油藏”系统,让看不见、摸不着的地下油藏“活”起来,也让剩余油的“藏身之处”逐渐浮出水面。

“数字油藏”如何实现“透明洞察”?

要让地下油藏真正“透明化”,仅靠传统方法远远不够。

“‘数字油藏’系统好比为地下油藏建造了一座‘数字大楼’,以前油藏在地质家的脑海里,现在可以全部呈现在眼前。”魏国华解释,“构造建模是搭建大楼的‘四梁八柱’,储层建模和流体建模则是精心布置每个房间。”

研究人员基于地质构造图、小层平面图等基础图件,融合地震、测井、录井等多源数据,依托油藏地质认识与数学算法,逐步完成构造建模、物性建模与流体建模,为油藏开发研究、缝网压裂优化、钻井风险防控等提供全流程技术支撑。

在建模过程中,科研团队突破了多项关键技术瓶颈。面对地下油藏如“摔碎的

“我们通过类似给模糊照片‘修图’的方式,放大测井曲线的局部特征,建立不同比例的样本集。”陈雨茂说,“这使地层对比从‘手动拼图’升级为‘自动匹配’,效率提升10倍以上,吻合度达85%。”

在储层物性预测这一关键环节,团队创新研发了“半监督学习+多级约束”技术,精准锁定并点物性标签。陈雨茂说:“我们可以多维度、跨尺度映射地下物性特征,单井孔隙度预测精度提升至89%,岩相划分精度超90%。”

从地层对比到储层预测,再到剩余油分布模拟,“数字油藏”技术真正实现了对地下油藏全生命周期的“透明化”解析,为老油田的高效开发打开了新的视野。

由“数字油藏”向“数字孪生”迈进

在孤岛中一区、林樊家等老区,“数字油藏”技术展现出强大的场景适配能力。

针对开发多年的高含水区,科研团队通过基于大数据模拟器的剩余油预测技术,精准定位局部高饱和度和剩余油区域,助力老区突破“采收率50%为极限”的传统认知,向60%甚至70%的目标迈进。

在页岩油开发领域,该技术更是大显身手。5米以内的水平井轨迹设计误差、100%的人靶率、95%以上的优质岩相钻遇率,以及80%的大尺度裂缝预测精度,这些突破性指标不仅优化了压裂方案、保障了井眼安全,更创造了多项行业新纪录。

近两年,油藏地球物理建模技术已申请国家发明专利8项,发表SCI(科学引文索引)文章4篇,在油田26个区块部署井88口,累计增产近30万吨,提高采收率2.5个百分点。这些实实在在的数据,为东部老油田效益开发提供了可复制、可推广的“胜利方案”。

“从实验室到生产现场,我们始终坚持以问题为导向。”魏国华介绍,为攻克地震-地层深度误差难题,团队联合多部门优化速度模型,将误差从70米降至5米以内,助力勘探开发一体化,让技术与现场需求无缝衔接。

如今,各专业的数据和成果都集成在三维立体模型上,地质、工程等不同部门能够打破壁垒,在同一个模型上协作,相互佐证、校正认识,大幅提升了研究效率和决策质量。

当前,物探研究院正聚焦更小尺度裂缝预测,推动“数字油藏”技术从1.0向2.0升级。在数字化转型进程中,这项技术还将推广至胜利东部、西部、海上等多种类型油藏,为油气资源高效开发贡献更多科技力量。

应用案例

看清油藏“过去”与“现在”“硬骨头”区块重焕生机

林樊家-尚店油田陶组油藏历经数十年开发后,主力区块逐渐进入高含水后期,传统手段难以捕捉剩余油的动态分布。胜利油田物探研究院以“数字油藏”技术为核心,为这片老油田打造“三维动态CT系统”,从勘探空白期到滚动建产期,再到未来潜力拓展期,实现了全开发周期的精准预测与决策。

该油田位于东营、惠民凹陷之间,林樊家凸起以西,整体为披覆构造,是典型的复式油气聚集区,具有多套含油层系、多种油藏类型。常规静态模型无法描述储层与不整合面的复杂接触关系,剩余油分布如同“雾里看花”。东部尚店油田为典型复杂断块油藏,存在多个不整合界面,断裂发育、剥蚀、超覆等现象导致地层结构复杂,圈闭落实难度大。

胜利油田物探研究院油藏地球物理研究室党支部书记陈雨茂说:“这里的油藏像被‘打碎又拼接’的拼图,砂体横向变化快,井间构造难以控制,传统方法连砂体边界都画不准,更别说找剩余油了。”

而“数字油藏”技术,让“硬骨头”区块重焕生机。

构建“数字油藏”的核心,是打造一套融合“空间+时间”的三维地质模型。团队整合地震、测井、动态监测等多源数据,通过三大关键技术,让地下油藏的“过去”与“现在”清晰呈现。

不整合油藏的网格划分是首要难关。常规建模方法易导致尖灭线位置不准、不整合面附近网格无限细分。团队创新研发“虚拟断层控制尖灭线刻画技术”,提取控制层内面割线,建立虚拟断层,精准还原砂体露头展布,同时,匹配纵横网格尺度,形成整体网格系统,完美贴合油藏构造,杜绝了网格扭曲、厚度突变问题。

模型不仅要“有形”,更要“有料”。团队收集12口井的孔渗数据、31口井的生产动态数据,用地质统计学相控随机模拟技术,将地震趋势、测井曲线、生产动态等数据“编织”进模型。

团队建立“实钻-校正-迭代”的闭环机制,让“数字油藏”模型越来越贴近油藏实际。例如在林北7井区,原本预测馆46小层平均油层厚度2.5米,结合LFLZ3-44井实钻2.5米、LFLZ3-32井实钻2.4米的新资料,模型将平均厚度修正为2.1米,提高了模型与实钻井吻合度。

“数字油藏”的核心在于“动态”。团队将1990年以来30多年开发数据输入“数字油藏”模型,按1个月为时间步长,划分354个模拟阶段,完整“回放”了油藏的注采历程。通过模拟发现:馆46小层受注水开发影响,主流线区域含水率已达95%以上,剩余油主要富集在井间空白带和构造高部位,精准定位“甜点区”。

平面上,剩余油呈“窄条带”富集。在储量控制程度低、构造高部位及井间区域,剩余油饱和度最高;纵向上,9-1、11-2小层未动用,主力层10-1、10-3剩余地质储量仍占总储量的40%;层内则呈“倒三角”分布,底部优先动用,剩余油集中在层内顶部,为开发调整提供了清晰靶区。

基于“数字油藏”模型部署的LZ9P09井,初期日产油6.2吨,比传统方法设计的井高出2.3吨;后续部署两口零散调整井,预测可提高采收率0.9个百分点。

过去,确定油水界面只能取井间数据中间值,如11-3小层曾笼统定在1040米;现在,模型通过动态拟合精准外推油水界面,误差缩小至5米内。此前,水平井部署靠“拍脑袋”,并距过大易留剩余油,过小则浪费成本;模型模拟150米、200米、250米、300米4种井距后,确定250米为最优井距,单井累计产量最高。

模型还能模拟不同开发方案的效果,比如对比发现,水平井15年单井累计采油量是直井的3倍,为井型选择提供了量化依据。

从勘探空白期的“搭框架”,到滚动建产期的“动态调整”,再到未来的“谋长远”,物探研究院的“数字油藏”技术,正让林樊家-尚店老油田开发步步精准。截至目前,该技术已助力区块新建产能2.4万吨/年,为东部老油田的效益开发提供了可复制、可推广的技术范式。



林樊家-尚店油田开发场景。

资料图片

新闻会客厅

用数智化手段解放生产力

□访谈对象:胜利油田物探研究院油藏地球物理首席专家 魏国华

问:“数字油藏”技术和以前的常规技术有何区别?

答:简单来说,“数字油藏”就像是给老油田做“智能CT”。我们了解地下情况,好比透过一张模糊的二维平面图去猜一个复杂三维积木的结构,以前,主要靠地质人员的经验和手工操作,不同的人可能得出不同的结论。

比如,我们要对比地下的小层,非人眼看测井曲线,一小层一小层地去对。像孤岛这样的老区,不到10平方公里就有上千口井,要对比二三十个小层层位,人工干下来,小半年都不一定能完成,效率非常低。

现在,我们利用大数据和人工智能技术研究智能地层对比方法,用神经网络技术把测井曲线上的标志当作大数据标签进行训练,实现了自动划分和对比,可以快速、精准地构建地下的三维透明模型,油藏在哪儿、断层怎么走,都看得一清二楚。这不仅解放了我们大量对比人员的生产力,而且工作效率提升了至少10倍,精度也更高了。

问:“数字油藏”在哪些关键环节实现了突破?

答:“数字油藏”贯穿了油藏研究的全链条。比如在构造建模方面,我们融合地震和测井数据,实现了地震层位的智能解释、断层的智能识别,整个构造框架的搭建都实现了智能化。

在储层建模方面,我们要搞清楚每一层是砂岩还是泥岩、砂体纵向是什么叠至关系,横向是怎么尖灭的,砂体孔隙度和渗透率怎么样,这就是“填充”构造框架的内容。现在我们用智能的岩相建模和物性建模方法,不仅能高效地把这些参数填进去,还能根据新钻井或生产动态中发现的矛盾,比如注水不见效等,去动态更新模型,找出是哪个砂体不连通,实现了模型的“实时动态调整”。

最核心的在剩余油预测上。传统

的剩余油预测依赖“油藏数值模拟”,它是基于复杂的油气渗流理论,通过历史拟合反推油藏原始地质情况及其动态变化。但有个很大的问题:计算复杂,调参过程极其繁琐,效率很低。我们后来想,能不能换一种思路?

我们把所有的动态数据,比如产量、压力等,都作为大数据样本,用深度学习的方法训练出一个大数据模型。它不再是一个参数一个参数地去调,而是通过数据驱动和已知的油气富集模式驱动,自动完成历史拟合,直接预测出剩余油的分布。

我们用这套方法和传统方法对比过,剩余油的分布规律非常接近,但效率获得了极大提升。这让我们能够快速、准确地找到那些剩余油富集的“甜点区”。

问:“数字油藏”在生产中应用成效如何?

答:印象最深的是孤东二区、四区,此前区块综合含水率高达98%,采出来的几乎全是水,大家都觉得没什么潜力了,区块也被判了“死刑”。但我们通过这套新的智能方法,发现地下虽然高度水淹,但依然存在局部富集区。我们根据预测结果打了几口井,成功在高含水率里打出了日产油5吨的井,含水率还很低,找到了“水中的金娃娃”。我们整个团队感到特别自豪。

“数字油藏”技术也为页岩油开发提供了全要素的地质工程“甜点”模型。页岩油开发要实现地质工程一体化,不光要看构造、岩相,还要看工程“甜点”,比如裂缝、脆性指数、地应力等,这直接关系到我们怎么布井、怎么压裂才能形成有效缝网。我们对模型精

度的要求达到了“米级”,从以前的几十米误差压缩到5米以内,这样才能保证水平井100%精准入靶,通过工程“甜点”要素模型支撑压裂方案优化。我们的智能建模方法,为页岩油从布井、钻井到压裂的全过程提供了一个模型驱动的“抓手”,实现了全周期服务,确保“布好井、打好井、压好井”。

问:在技术研发和落地应用过程中遇到了哪些挑战?

答:难点主要集中在两个方面:一个是对模型精度的极致追求,另一个是在技术选型与知识积累过程中的探索。

一个典型案例是页岩油藏的建模。对于常规油藏,模型深度存在数十米的误差通常在可接受范围,但页岩油立体开发是多层楼的结构,纵向上每层楼之间就差40多米,横向上不同水平井距就两三百米,立体开发的水平井钻井对储层深度预测的精度要求是颠覆性的,我们必须要将误差从几十米量级压缩到5米以内。如果预测偏差达到几十米甚至上百米,就意味着钻井轨迹可能完全偏离“甜点”靶区,将直接导致工程失败。

为此,胜利油田组建了跨学科的综合攻关团队。一方面,我们的地震处理人员致力于开发基于速度模型更新的快速偏移成像技术;另一方面,建模团队综合利用地震、测井、VSP(垂直地震剖面法)等数据来重构和优化速度模型,能够根据钻井信息实时更新。

那段时间,团队投入了大量时间进行井震资料的反复标定与迭代,核心目标就是让地震解释的深度结果与实钻深度实现高度吻合。

在技术学习和选型方面,我们最初决定研发智能地层对比技术时,发现国内可借鉴的成熟案例非常少,普遍认为这项技术实现难度极大,因此必须进行自主攻关。

初期阶段,面临的首要问题是算法选型。人工智能领域有上百种算法,哪一种最适合解决我们测井序列的自动

划分与对比问题?没有先例可循。

我们采取了系统的研究策略:首先是理论基础研究,团队系统地学习了深度学习的核心理论与方法;其次是进行大量的算法对比试验,我们构建了样本数据集,对多种主流算法进行了反复的训练、测试与效果评估,最终筛选出最适合我们地质需求的模型架构。

这个过程周期长、工作量巨大,但其目的是从根本上转变依赖人工经验的传统工作模式,将人力从重复性劳动中解放出来,聚焦于更具创造性的地质规律研究和开发方案优化。

技术突破是跨专业团队协同创新的成果。工作的复杂性决定了它绝非单一专业团队能够独立完成,而是依赖地质、地球物理、测井、油藏工程和计算机科学等多个学科的深度合作。正是通过这种紧密的、目标导向的联合攻关机制,我们才逐步突破了精度瓶颈,成功将人工智能技术从理论探索推向了生产实践。

每当我们的模型成功指导在高含水率区钻获高产油流,团队都会感到所有的坚持和付出是值得的。这不仅是在技术上的成功,更是对我们面向油田实际需求、敢于创新科研模式的肯定。

问:“数字油藏”技术未来如何发展?

答:未来,我们要构建的是一个全生命周期的数字油藏,推动“数字油藏”向“数字孪生”迈进。

在时间上,从打第一口井开始,一直到油田枯竭,整个生命周期的数据都能整合到这个模型中;在空间上,它要能涵盖从空白区、滚动区到成熟区的全尺度范围。这是一个非常宏大的目标,需要多学科团队的协同攻关。

我们坚信,用数智化手段解放生产力,让科研人员从重复劳动中解脱出来,将更多精力投入更深入的地质研究和开发方案优化,必将推动油田开发技术不断向前发展,让每一个老油田都焕发出新的生机。