

基于属性约束的烃源岩地震反演定量预测

牛聪^{1,2)}, 崔维^{1,2)}, 王建花^{1,2)}

1) 中海石油(中国)有限公司北京研究中心, 北京, 100028;

2) 海洋油气勘探国家工程研究中心, 北京, 100028

关键词: 多属性约束; 地震反演; 烃源岩; 定量预测

烃源岩评价是含油气盆地、凹陷勘探研究的基础。目前常用的地球化学、测井、地震识别三大类评价方法, 均能实现烃源岩的评价, 但又受资料制约, 存在各自局限性。笔者等结合地质、沉积、地化及测井、地震等数据探索了多属性约束下基于地震反演的烃源岩定量预测技术研究, 确定了研究区内文昌组烃源岩的发育规模, 并对其进行了烃源岩等级评价和生烃量的估算。

1 研究区概况

陆丰凹陷位于珠江口盆地东北部, 被北部隆起、海丰凸起、东沙隆起和惠陆低凸起所围, 面积约为 7760 km²。X 研究区位于陆丰凹陷东北部, 为典型的北断南超型箕状断陷, 且具有“厚文昌、薄恩平”的特点, 目前勘探程度较低, 仅在其南缘有一口井钻遇文昌组。前人已在地球化学、测井、地震相类比等方面对文昌组烃源岩进行了预测, 但未能实现定量评价。笔者等从地质—地球物理结合的角度, 在多属性约束下利用地震反演对烃源岩的发育规模、TOC 含量、生烃潜力进行评价, 指导了区块的井位部署。一旦证实区块的生烃潜力, 将带动周边多个未钻圈闭的钻探。

2 技术思路与实现流程

研究表明基于地震反演实现烃源岩有机质含量(TOC)、镜质体反射率(R_o)等有机质丰度参数的预测有其可行性(刘志斌等, 2016; 韩双彪等, 2023)。如何建立精准的低频模型是目前常用的约束稀疏脉冲反演的关键步骤之一。对于多井区, 仅利用井插值建模即可以较为准确地反映区域横向变化情

况, 但 X 区块仅有一口钻井钻遇文昌组, 并且位于构造高部位, 而烃源岩主要发育在洼陷中央, 距离井点位置超过 80 km, 单一口井难以准确反映整个洼陷内部沉积环境横向变化情况, 预测结果不可靠。为此, 笔者等采用基于多属性约束建模方法进行地震反演, 以降低反演的多解性, 最终实现 TOC 的准确预测。

3 方法应用与关键步骤

3.1 优质烃源岩测井响应特征与 TOC 曲线求取

对目标研究区 X1 井测井曲线分析, 文昌组优质烃源岩, 其对应测井曲线为高自然伽马、高电阻率、高声波时差、低密度的响应特征, 而在非优质烃源岩的泥岩段, 则无“三高一低”的响应特征。因此, 基于以上认识, 笔者等选择 $\Delta \log R$ 法来预测 TOC 曲线。通过烃源岩地球化学数据与测井解释的结合, 可得到连续分布的烃源岩 TOC 数据, 解决了地化采样点数少、TOC 描述在剖面上连续性差的缺点。

3.2 有机质含量敏感参数分析与预测模型建立

利用岩石物理交会分析这一工具, 开展有机质含量敏感参数实验。笔者等研究中基于误差最小和相关性最大的原则, 在目的层段运用线性回归模型对各参数的敏感程度进行判别, 确定研究区识别 TOC 程度最高的敏感参数为纵波阻抗, 其相应的有机质含量的预测模型为: $TOC = -0.003125 \times PI + 30$, 这就为下步 TOC 值的反演提供了可靠的依据。

3.3 基于多属性约束的地震反演预测 TOC

陆丰凹陷文昌组烃源岩一般表现为低频、连续、中强反射的特征。对研究区周边具有 3 口钻井的 A 洼陷的分析认为, 频率属性(反映频率变化)、

收稿日期: 2023-12-10; 改回日期: 2024-02-05; 责任编辑: 章雨旭。DOI: 10.16509/j.georeview.2024.s1.067

作者简介: 牛聪, 男, 1980 年生, 博士, 高级工程师, 主要从事石油地球物理勘探技术研究与应用; Email: niucong@cnoc.com.cn。通讯作者: 王建花, 女, 1979 年生, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事海洋油气勘探技术研究与管理; Email: wangjh7@cnoc.com.cn。

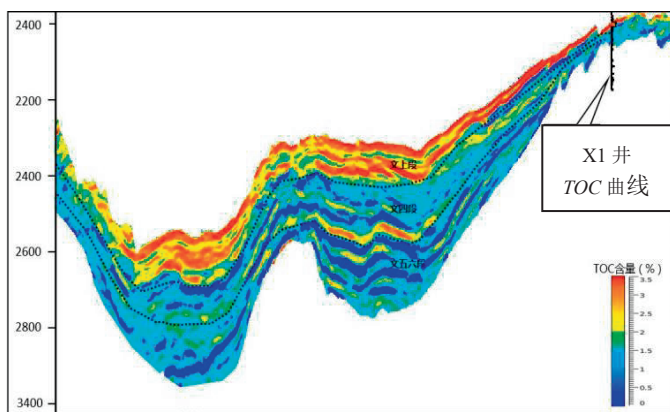


图1 研究区文昌组过 X1 井 TOC 预测剖面

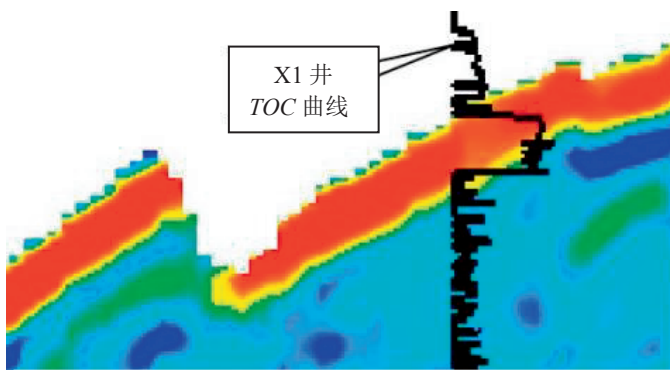


图2 研究区文昌组过 X1 井 TOC 实钻对比

混沌属性（反映连续性情况）、均方根振幅属性（反映振幅变化）能够很好地表征烃源岩地震相的变化情况，将 3 种属性融合可很好地刻画文昌组内部烃源岩的发育规模。

A 洼陷 3 口钻井，其中，1 井、2 井、3 井在文四段分别钻遇 52 m、47 m、36 m 厚层泥岩，TOC 含量均大于 2.13%，有机质类型均为 I-II₁ 型，烃源岩为优。通过平剖结合，证明 A 洼陷烃源岩的多属性融合结果与地质、沉积认识一致。因此，将融合属性作为约束条件生成低频模型参与地震反演，得到纵波阻抗数据体，再利用 TOC 与纵波阻抗关系计算出 TOC 数据体。相较于直接地震反演得到的 TOC 数据体，利用多属性约束的地震反演结果得到的 TOC 与区域地质认识更为符合。

4 应用实例及效果

利用上述反演方法预测研究区 TOC 体（图 1），X1 已钻井在文上段钻遇 62 m 厚层泥岩，TOC 含量为 1.9%~3.3%，预测 TOC 值为 2.0%~3.5%，厚度为

66 m，误差为 6.4%，说明 TOC 的预测结果与预测厚度同实钻井吻合度较高（图 2）。

从 TOC 预测结果可以得到，文上段发育一套 TOC 含量较高的优质烃源岩，TOC 含量大于 2%，并且从洼陷边缘到洼陷中间，TOC 的含量逐渐增高，烃源岩的厚度逐渐增大，说明洼陷中间优质烃源岩更为发育。整体而言，文昌组优质烃源岩主要发育于文昌组上段，中等烃源岩发育于文四段，而文五六段不具有优质烃源岩的发育规模，这一认识与其地质认识一致。

根据烃源岩评价标准，对文上段和文四段优质烃源岩及中等烃源岩的发育规模及体积进行空间雕刻和定量预测。经计算，文上段优质烃源岩体积为 68 km³，文四段中等烃源岩体积为 92 km³。结合行业内石油天然气资源量计算方法和研究区的勘探实际，确立该区烃源岩生烃量的计算公式：

$$Q = H \cdot S \cdot HI \cdot TOC$$

综合该区地化和盆模技术分析参数，HI 取 460 mg/g，最终估算研究区内的生烃量为 6.3 Gt。

5 结论

（1）多属性约束下的地震反演烃源岩的定量预测可降低预测的多解性，为今后烃源岩评价提供了一种新的思路。

（2）由于属性值域范围不同，各属性融合前，需对 3 种属性分别做归一化处理。

（3）应根据实际的地质背景、沉积环境，选择合适的融合方法，并基于已钻井，通过平面—剖面共同质控属性融合的合理性与准确性。

参 考 文 献 / References

- 韩双彪，谢林丰，唐致远，李剑，王成善，Horsfield B. 2023. 基于傅里叶变换质谱的烃源岩成熟度评价方法及地质意义. 地质学报, 97(5): 1717~1721.
- 刘志斌，牛聪，刘方. 2016. 基于地震反演的烃源岩定量评价方法——以渤海湾盆地辽西凹陷为例. 中国海上油气, 28(5): 16~19.

NIU Cong, CUI Wei, WANG Jianhua: Quantitative prediction of Source rock based on seismic inversion under multi-attribute constraints

Keywords: multi-attribute constraints; seismic inversion; source rock; quantitative prediction