

页岩油气储层甜点预测的地球物理方法研究 与应用效益分析

刘春颖（中国石油化工股份有限公司东北油气分公司，吉林 长春 130062）

摘要：页岩储层通常较为致密，且埋深较大，勘探开发难度大、成本高，页岩油气储层的复杂性和非均质性使得储层预测成为油气勘探中的关键环节。准确识别页岩储层，找寻页岩油气富集区，对于提高勘探效率、降低成本以及实现页岩油气资源的经济开采具有重要意义。本文以地震资料为基础，通过地震属性分析与地震反演方法相结合，对页岩储层甜点进行预测，在实际应用中，预测结果与实际测试数据较为吻合，实现了页岩甜点的准确刻画，测试井获得较高产量，落实了研究区千亿方的页岩气资源量，为页岩油气的经济开发提供有力支撑。

关键词：页岩油气；储层预测；地震属性；地震反演；经济效益

中图分类号：P631.4

文献标识码：A

文章编号：1674-5167（2025）012-0055-03

Research on Geophysical Methods for Sweet Spot Prediction in Shale Oil and Gas Reservoirs and Analysis of Application Benefits

Liu Chunying (Northeast Oil and Gas Branch of China Petroleum&Chemical Corporation, Changchun Jilin 130062, China)

Abstract: Shale reservoirs are usually dense and buried deep, making exploration and development difficult and costly. The complexity and heterogeneity of shale oil and gas reservoirs make reservoir prediction a key link in oil and gas exploration. Accurately identifying shale reservoirs and searching for shale oil and gas enrichment areas is of great significance for improving exploration efficiency, reducing costs, and achieving economic exploitation of shale oil and gas resources. This article is based on seismic data and combines seismic attribute analysis with seismic inversion methods to predict the sweet spots in shale reservoirs. In practical applications, the predicted results are in good agreement with the actual test data, achieving accurate characterization of shale sweet spots, high production of test wells, and confirming the shale gas resources of billions of cubic meters in the study area, providing strong support for the economic development of shale oil and gas.

Keywords: shale oil and gas; Reservoir prediction; Seismic attribute; Seismic inversion; economic benefits

随着国内外对非常规油气资源的日益重视，页岩油气资源的开发需求不断增加，如何有效预测页岩油气储层，寻找有利于页岩油气低成本高效益开发的甜点区，已成为油气勘探中的关键技术之一。页岩油气储层甜点在空间上如何展布，这通常需要借助地震资料进行预测。地震属性作为相对较容易获得的一种地震信息，通过分析研究地震反射特征的变化，能够对页岩储层、含油气性及构造特征进行初步识别，在页岩储层甜点预测中有广泛的应用。而对于更精细的识别，则需要利用地震反演技术，地震反演作为一种高效的地球物理手段，通过对地震数据的处理和分析，能够有效提取地下储层的物理属性，提供更高精度的储层预测。

近年来，页岩气藏复杂的地质特征以及较高的勘探开发成本对传统勘探方法提出了更高要求，准确的预测页岩油气富集的甜点区、找寻有利于工程压裂的高脆性区，有利于降低勘探开发成本，获得更高产量，提高经济效益。

1 常用储层预测方法研究

1.1 地震属性分析

地层岩性的变化以及油气的存在会使地震的反射特征发生变化，通过地震属性的分析可对页岩储层及含油气性进行初步评价。

在地震波的传导过程中，当穿过的岩层声波特征发生变化时就会产生地震反射，如当地震波穿过砂岩与页岩界面时，由于二者的声波特征通常存在较大差异，因此会产生地震反射，从砂岩到页岩的岩性界面通常为波谷，从页岩到砂岩的岩性界面通常为波峰，可通过地震反射特征对页岩进行初步识别。此外，页岩的沉积物颗粒相对较细，细粒沉积物共振频率较高，频率类地震属性也可用来初步识别页岩。

当储层含气时，会使反射波振幅增强，表现为强波谷强波峰特征，因此，振幅类属性如均方根振幅、最大振幅、绝对振幅等可用于检测页岩储层含气异常。地层含气时，反射波的高频成分被大量吸收，表现为低频特征，因此频率类属性如瞬时频率、平均瞬时频

率等对含气性也有较好的响应。另外,含气地层会吸收地震波的能量,吸收衰减类的属性同样可以用于检测页岩储层含气性。

断裂对于页岩油气的工程压裂具有一定影响,几类属性通常可用来识别构造形态及断裂发育情况。常用几何属性如相干、曲率、蚂蚁体等常用来识别不同尺度的断层。相干是基于振幅的计算,利用多道相似性将地震数据转换为相关系数数据体,假设地层是连续的,则地震波应是渐变的,相邻的地震道之间是相似的,当出现断层时,地层连续性被破坏,相邻地震道的波形特征会出现突变,引起相关系数的变化从而被识别出来,对于能引起明显地层错断的较大的断层比较敏感。曲率属性可用于描述地下的构造形变特征,断层在平滑后可近似的认为其曲率具有正负性的变化,对于产生形变较大的断层敏感性较好。蚂蚁体是通过模拟蚁群觅食行为的仿生算法生成的地震属性体,其原理是释放“蚂蚁”在地震数据体中追踪断层等异常信息,当发现断层时就释放“信息”召集其他蚂蚁跟进,从而识别和追踪数据中的细小信号异常,因此对于小断裂也有较好的响应。

1.2 地震反演方法研究

页岩储层的 TOC、孔隙度、含油气性、脆性等因素影响页岩油气的富集程度以及是否具有经济可采性,这些关键因素的预测通常通过地震反演的方法实现。

页岩油气储层甜点的地震反演是通过地震数据对地下岩层结构和性质求解,进而为储层甜点预测提供支持的一种技术手段。页岩气藏的复杂性以及较高的勘探开发成本要求反演方法具备高精度和高可靠性,能够精确反映储层的物性特征以及空间展布特征。

储层反演技术可分为确定性反演、非线性统计反演及广义反演。确定性反演主要包括基于模型的反演及井约束稀疏脉冲反演,是以地震资料为主的反演方法,井的作用是辅助求取子波及建立初始模型。非线性统计反演如有色反演、神经网络反演等,是试图利用统计方法建立地震与井之间的非线性统计关系,直接将地震波转换为井曲线的反演方法。广义反演如地质统计学反演,尊重数据的统计学规律,分辨率更高。

常用的反演方法获得井间高频成分通常通过两种方式,一是确定性插值模型,即利用反距离加权、克里金等方法,其井间插值结果是确定的,但模型化较强;另一种是统计学随机模拟,利用变差函数分析优选相关样本对井间储层给出概率统计结果,但该方法更适用于样本均匀地区,而且随机性较强。两种方法对于高频成分的估计主要依赖于井资料。虽然无法直接通过地震获取高频成分,但地震的横向变化反映了

沉积环境的变化,相似的沉积环境产生相似的沉积结构,结构的变化会产生不同的波形,可以充分利用地震波形的横向变化开展高频成分估计。地震波形指示反演遵循沉积学基本原理,利用地震波形的横向变化来指示储层空间的相变特征,进而分析储层垂向岩性组合的高频结构特征,是一种体现相控思想的高频模拟方法。

与传统反演方法相比,波形指示反演能够利用更为精细的波形信息,对地震数据进行更深入的分析,提高了纵向及横向分辨率,反演结果确定性强,且受井的分布位置影响较小,对于非均匀井位同样适用。通过这一方法,可以有效预测储层的纵横波速度、密度等重要物理特征,从而实现对储层甜点的精准预测,其在页岩油气甜点预测中的应用优势主要体现在其对复杂地质环境的适应性和对储层物性参数的高精度恢复上。页岩油气储层通常有较强的非均质性,波形指示反演通过利用全波形数据,能够对地震信号的每一个细节进行分析,从而获得更为准确的地下物性参数,在对页岩油气储层的甜点区域进行预测时,能够有效提高预测的空间精度和可靠性。在实际应用中,波形指示反演能够识别出 3m-5m 厚的砂体,并且预测的砂体在剖面上变化自然、边界清晰。通过地震波形指示反演方法,可以有效对窄薄储层进行定量预测,提高储层预测的精度和可靠性,是本研究区常用的页岩油气储层预测方法。

2 地球物理方法应用效果验证

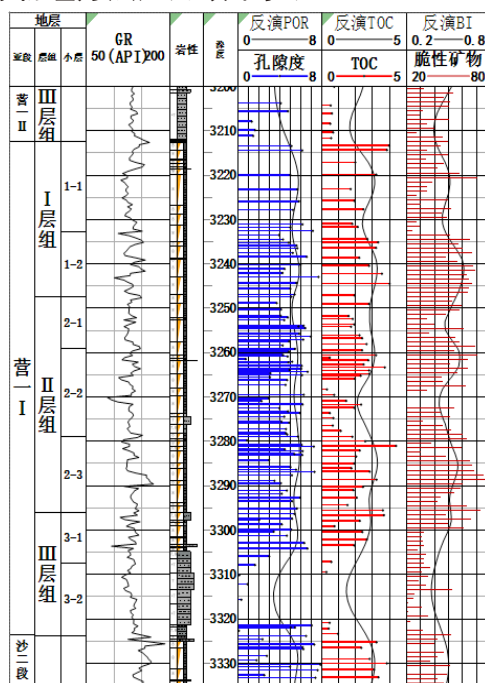


图1 某井实测值与反演预测结果对比
在页岩油气储层甜点预测中,实际分析的结果与

反演结果的验证能够有效检验地震反演技术的可靠性和应用效果。在多个页岩油气勘探项目中,基于三维地震数据,利用地球物理方法,能够有效揭示储层的空间展布特征和物性特征,明确有利的甜点区。在某一页岩气田的勘探过程中,采用了波形指示反演方法,对其页岩储层关键参数进行了精细化的定量预测,成功识别了有利甜点区域。提取反演预测结果的井旁伪井曲线,与已有的井的实际分析化验数据进行对比,数据趋势较为吻合,验证了反演结果的高精度与可靠性,如图1所示。

断裂发育情况影响着页岩油气储层的压裂改造,对此,基于地震数据的几何属性,采用裂缝模拟技术对断裂发育情况进行了预测,并将预测结果与实际压裂时监测的微地震结果进行对比分析,预测结果与实际微地震监测结果有较好的一致性,裂缝模拟中裂缝更发育的一侧,率先监测到微地震事件的发生并延伸,表明预测结果的可靠性,如图2所示。

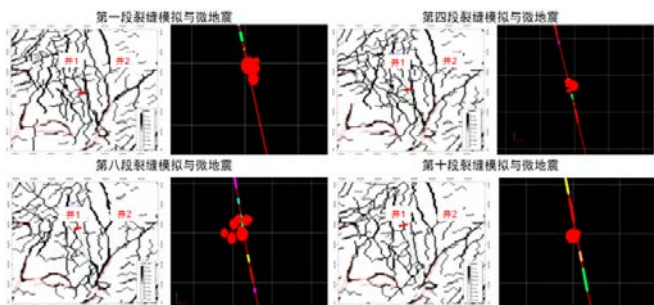


图2 某井区裂缝预测结果与微地震监测结果对比

基于地震多属性分析与地震反演相结合,综合考虑了影响页岩气富集的地质因素以及有利于页岩气低成本高效开发的工程因素建立适应研究区的甜点划分标准,实现了研究区页岩气储层甜点区的精准刻画,结果如图3所示,单井资料验证结果符合率在85%以上。

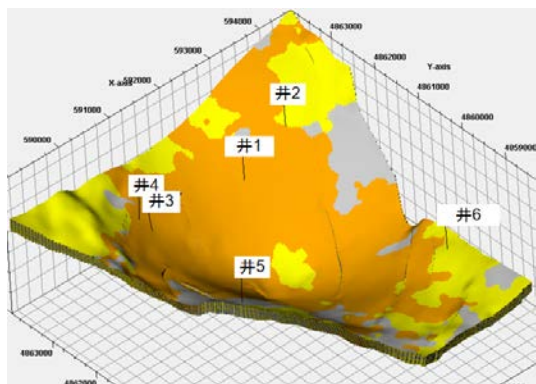


图3 研究区甜点预测结果

3 应用效益分析

地球物理技术的应用有效降低了研究区页岩油气的勘探开发成本,提高了经济效益。在降低成本方面,地球物理方法能够精准预测地下储层的关键参数,如

岩性、孔隙度、脆性以及油气分布等,这使得在油气勘探过程中,无需进行全区大范围的资料采集与处理分析,通过针对性地选择关键区域进行数据采集分析,结合高效储层预测技术,能够快速获取高精度的地质信息,避免了大量工作量和资源投入,节省了相关实验费用,有效缩短了勘探周期,降低了整个研究项目的成本。在某已完成项目中,高效的地球物理预测使得项目经费节约139.16万元。

在增加效益方面,利用储层预测技术明确了页岩甜点的纵向及平面展布,优选甜点层段甜点区进行井位部署及老井复试有利于提高经济效益。在预测甜点区内已测试的1号井目前日产气1.4万方,累产气173万方;2号井目前日产气4万方,累产气733万方,测试井获得较好的页岩气产量。储层预测技术的应用显著提升了研究区内页岩储层的刻画水平,成功落实了研究区千亿方的页岩气资源量,这对于保障页岩油气资源的高效开发与利用,以及实现其显著的经济效益,具有极为重要的战略意义。

4 结语

通过地震属性与地震反演相结合,揭示储层的空间结构和物性分布,实现了研究区页岩储层甜点的精细刻画,通过已有井资料等验证了预测结果的准确性。精确的预测结果为甜点区域的识别提供了依据,为井位部署及测试提供了有力支撑,在实际应用中,项目成本有效降低,且多口井获得较高产量,这对提高页岩油气开发的经济效益具有重要意义。未来,随着技术的不断发展,储层预测方法将更加成熟,为页岩油气低成本、高效益的勘探开发提供更强有力的支持。

参考文献:

- [1] 叶增炉.小波相干技术及在地震解释中的应用[D].成都:成都理工大学,2006.
- [2] 李楠,王龙颖,黄胜兵,等.利用高清蚂蚁体精细解释复杂断裂带[J].石油地球物理勘探,2019,54(1):182-190.
- [3] 唐蓓,彭军,隋波,等.优势谱聚焦联合储层反演技术在M油田的应用[J].重庆科技学院学报(自然科学版),2023,25(6):11-16.
- [4] 谢俊阳.页岩油“甜点”地球物理预测方法研究[D].武汉:长江大学,2015.
- [5] 吴昊.页岩油气甜点测井评价方法对比及解释[D].北京:中国地质大学(北京),2020.
- [6] 王林.页岩气储层甜点岩石物理表征与定量地震解释方法研究[D].北京:中国石油大学(北京),2020.
- [7] 刘义生.页岩气“甜点”地震预测方法研究[D].武汉:长江大学,2019.