

# 岩性油气藏储层预测与评价技术

赵冰冰 罗杰帅 张亮 刘欢欢

中石化河南油田分公司勘探开发研究院唐河地质研究所 河南 南阳 473400

**摘要：**本文围绕岩性油气藏储层展开研究，系统阐述其复杂多样的岩性、不规则的分布及差异较大的物性特征。剖析地震勘探、地质统计学等储层预测技术，以及测井评价、多参数综合评价等储层评价技术的原理、优势与局限。旨在为岩性油气藏勘探开发提供理论与技术支撑，助力提升勘探精准度与开发效率。但现有技术仍存不足，未来需强化理论研究与技术创新。

**关键词：**岩性油气；藏储层；预测与评价技术

## 引言

随着油气勘探开发的持续推进，岩性油气藏在全球油气资源中的地位愈发重要。与构造油气藏不同，岩性油气藏受储集层岩性变化控制，其独特的储层特征，给常规勘探、预测及评价技术带来挑战。深入研究岩性油气藏储层特征，研发适配的技术，对提高勘探开发成功率、降低成本意义重大。本文系统梳理岩性油气藏储层特征，并对当前的预测与评价技术进行全面分析。

### 1 岩性油气藏储层特征

(1) 储层岩性复杂多样。岩性油气藏的储层岩性涵盖碎屑岩、碳酸盐岩、火山岩等多种类型。碎屑岩储层因粒度、分选性和磨圆度的差异，具有不同的孔隙结构和渗透率；碳酸盐岩储层受沉积环境、成岩作用的影响，溶蚀孔洞、裂缝发育，非均质性强；火山岩储层岩性多样，原生孔隙、次生裂缝并存，储集空间复杂。

(2) 储层分布不规则。岩性油气藏的储层分布受沉积相、古地貌等因素的严格控制，多呈透镜状、薄层状或不规则体状，在横向和纵向上变化迅速，这使得传统的油气勘探方法难以有效识别和追踪。

(3) 储层物性差异大。由于沉积作用和成岩改造的多样性，岩性油气藏储层的孔隙度、渗透率等物性参数在空间上变化显著，部分储层还存在低孔、低渗甚至特低孔、特低渗的情况，给储层评价带来极大挑战。

### 2 岩性油气藏储层预测技术

#### 2.1 地震勘探技术

##### 2.1.1 地震反演技术

地震反演是岩性油气藏储层预测的核心技术之一，其原理是基于地震数据，结合测井信息，通过反演算法获取地下地层的波阻抗、速度等参数，进而推断储层的岩性、厚度和分布范围。

波阻抗反演利用地震反射数据与波阻抗之间的关

系，通过反演计算得到地下地层的波阻抗分布。不同岩性的岩石具有不同的波阻抗值，因此可以通过波阻抗反演结果识别不同岩性界面，预测储层的横向变化。叠前反演则在波阻抗反演的基础上，利用叠前地震数据的振幅随偏移距变化(AVO)信息，获取岩石的弹性参数，如纵波速度、横波速度和密度等。这些弹性参数对储层含油气性具有敏感响应，通过对弹性参数的分析，可以对储层含油气性进行定性或定量分析。

然而，地震反演结果受多种因素的影响。地震资料品质是影响反演结果的关键因素之一，地震数据的信噪比、分辨率等都会对反演结果产生重要影响。测井数据的准确性也至关重要，测井数据是地震反演的重要约束条件，不准确的测井数据会导致反演结果的偏差。此外，反演算法的稳定性和适用性也会影响反演结果，不同的反演算法对数据的要求和处理方式不同，需要根据实际情况选择合适的反演算法<sup>[1]</sup>。在实际应用中，需要进行多方面的质量控制，如对地震数据进行预处理，提高数据的信噪比和分辨率；对测井数据进行标准化处理，确保数据的准确性；对反演结果进行验证和分析，及时发现和纠正问题。

##### 2.1.2 地震属性分析技术

地震属性是指从地震数据中提取的具有特定地质意义的参数，如振幅、频率、相位等。通过分析这些属性与储层特征之间的关系，可以预测储层的分布和物性。

振幅属性与储层的厚度和含油气性密切相关。在储层厚度较薄时，地震反射振幅会随着储层厚度的增加而增大，当储层厚度达到一定程度后，振幅会趋于稳定。含油气储层由于其物理性质与周围岩石不同，会导致地震反射振幅的异常变化，因此可以通过振幅属性来识别含油气储层。频率属性能够反映储层的岩性变化，不同岩性的岩石对地震波的吸收和衰减特性不同，导致地震

波的频率发生变化。相位属性则有助于追踪地层的连续性,通过对相位属性的分析,可以确定地层的界面和构造形态。

然而,地震属性众多,且不同属性对储层特征的响应存在一定的不确定性。在实际应用中,需要通过属性优化和综合分析,筛选出对储层预测最敏感的属性组合。属性优化方法包括主成分分析、聚类分析等,通过这些方法可以减少属性的维数,提高属性的有效性。综合分析则是将多种地震属性与地质、测井数据相结合,从多个角度对储层进行预测,提高预测的准确性。

### 2.1.3 地震成像技术

高精度的地震成像技术对于清晰刻画岩性油气藏储层的构造形态和内部结构至关重要。偏移成像技术通过对地震波传播路径的精确计算,将地震反射数据归位到其真实的地下位置,提高成像的分辨率和准确性。

早期的偏移成像技术主要基于射线理论,如几何射线偏移、克希霍夫偏移等。这些方法计算简单,但对复杂地质构造的成像效果较差<sup>[2]</sup>。随着计算机技术和地震勘探理论的发展,波动方程偏移成像技术逐渐成为主流,如叠后时间偏移、叠前时间偏移和叠前深度偏移等。叠后时间偏移适用于构造简单、地层倾角较小的地区,叠前时间偏移则考虑了地震波的传播速度随偏移距的变化,适用于构造较复杂的地区。叠前深度偏移则能够精确考虑地震波在复杂介质中的传播路径,对复杂构造和速度变化剧烈的地区具有更好的成像效果。

近年来,随着地震采集技术的不断发展,三维地震成像、四维地震成像技术逐渐得到广泛应用。三维地震成像能够提供地下三维空间的地震信息,更加直观地展示储层的构造形态和分布特征。四维地震成像则是在三维地震成像的基础上,增加了时间维度,通过对不同时间的地震数据进行对比分析,获取储层的动态信息,如油气开采过程中储层物性的变化、流体的运移等,为岩性油气藏的开发提供有力支持。但地震成像技术对地震采集设备和数据处理算法要求较高,成本也相对较大。在实际应用中,需要根据勘探目标和地质条件,选择合适的地震成像技术,以提高成像质量和勘探效益。

## 2.2 地质统计学方法

地质统计学方法以变差函数为核心,通过对储层参数的空间变异特征进行分析,建立储层参数的空间分布模型。常用的地质统计学方法包括克里金插值法、协同克里金法等。

克里金插值法是一种基于区域化变量理论的最优无偏估计方法,它能够充分利用已知数据的空间相关性,

对未知点进行预测。在应用克里金插值法时,首先需要储层参数进行变差函数分析,确定其空间变异特征,然后根据变差函数模型和已知数据,计算未知点的估计值和估计误差。克里金插值法在储层参数空间预测方面具有较高的精度,但它只考虑了单一变量的空间相关性,对于多变量的情况,预测效果可能不理想。

协同克里金法则可以综合利用多种地质数据,如地震数据、测井数据和地质分析数据,提高储层预测的精度。协同克里金法在克里金插值法的基础上,考虑了多个变量之间的空间相关性,通过建立多个变量的变差函数模型,对未知点进行联合估计。在实际应用中,协同克里金法需要确定不同数据之间的协同关系,选择合适的协同变量和变差函数模型,这需要大量的地质数据和专业知识。此外,地质统计学方法对数据的质量和数量要求较高,数据的缺失、误差等都会影响预测结果的准确性。同时,模型的建立需要合理选择变差函数模型和参数,否则可能导致预测结果偏差较大。

## 3 岩性油气藏储层评价技术

### 3.1 测井评价技术

#### 3.1.1 常规测井解释技术

常规测井包括电阻率测井、声波测井、密度测井等,通过测量不同物理参数,获取储层的岩性、孔隙度、渗透率和含油气饱和度等信息。

电阻率测井是利用岩石的导电性差异来判断储层的含油气性。含油气储层的电阻率通常较高,而含水储层的电阻率较低<sup>[3]</sup>。通过测量不同深度的电阻率值,可以确定储层的含油气边界和饱和度。声波测井则是利用声波在岩石中的传播速度与岩石孔隙度之间的关系,计算储层的孔隙度。密度测井是通过测量岩石的密度,来识别岩性和计算孔隙度。

但常规测井数据受井眼条件、泥浆侵入等因素的影响较大。井眼的不规则、泥浆的侵入会导致测井数据的失真,影响解释结果的准确性。此外,常规测井只能获取井眼周围有限范围内的信息,对于储层的横向变化难以准确描述。在实际应用中,需要对常规测井数据进行校正和处理,结合地质资料和其他测井数据,提高解释的准确性。

#### 3.1.2 成像测井技术

成像测井能够提供高分辨率的井壁图像,直观展示储层的岩性特征、裂缝发育情况和沉积构造。如微电阻率成像测井、声波成像测井等,通过对成像资料的分析,可以准确识别储层的岩性界面、裂缝类型和产状,为储层评价提供更加丰富的信息。

微电阻率成像测井是利用多个微电极测量井壁的电阻率,通过电阻率的变化来反映井壁的地质特征。声波成像测井则是利用声波反射原理,获取井壁的声波图像。成像测井技术虽然提高了对储层微观特征的认识,但数据解释相对复杂,需要专业的技术人员和软件支持。在数据处理过程中,需要对图像进行去噪、增强等处理,提高图像的质量。在解释过程中,需要结合地质知识和其他测井数据,对图像进行分析和判断,确定储层的特征和参数。

### 3.2 储层综合评价技术

#### 3.2.1 多参数综合评价法

多参数综合评价法是将地震、测井、地质等多方面的数据进行综合分析,建立储层评价指标体系,对储层进行分类和评价。通过选取与储层岩性、物性、含油气性相关的多个参数,利用数学方法确定各参数的权重,进而计算储层的综合评价指数。

在建立储层评价指标体系时,需要充分考虑各种数据的特点和优势,选择对储层评价最有效的参数。常用的参数包括地震属性、测井参数、地质特征等。确定参数权重的方法有多种,如层次分析法、主成分分析法等。层次分析法是通过建立层次结构模型,对不同层次的参数进行两两比较,确定其相对重要性,从而得到参数的权重。主成分分析法是通过对多个参数进行降维处理,提取主要成分,根据主要成分的贡献率确定参数的权重。

该方法能够充分利用各种数据的优势,提高储层评价的准确性和可靠性,但指标体系的建立和参数权重的确定需要大量的实际数据和经验积累。在实际应用中,需要根据不同地区的地质特点和勘探目标,对指标体系和参数权重进行调整和优化,以提高评价结果的适用性。

#### 3.2.2 人工智能评价技术

近年来,人工智能技术在岩性油气藏储层评价中得到了广泛应用。人工神经网络、支持向量机等算法能够对大量的地震、测井数据进行学习和分析,建立储层特征与评价结果之间的非线性关系模型。

人工神经网络是一种模拟人类大脑神经元结构的计

算模型,它由多个神经元组成,通过神经元之间的连接权重来传递信息<sup>[4]</sup>。在储层评价中,人工神经网络可以通过对大量已知储层数据的学习,建立储层特征与评价结果之间的映射关系,从而对未知储层进行评价。支持向量机则是一种基于统计学习理论的机器学习算法,它通过寻找一个最优分类超平面,将不同类别的数据分开。在储层评价中,支持向量机可以根据储层的特征参数,对储层进行分类和评价。

人工智能评价技术具有自适应能力强、处理复杂数据能力强的优点,能够快速准确地对储层进行评价。但该技术对数据的依赖性较大,模型的可解释性相对较差,在实际应用中需要与地质知识相结合,确保评价结果的合理性。在建立人工智能模型时,需要对数据进行预处理,包括数据清洗、标准化等,提高数据的质量。同时,需要选择合适的模型结构和参数,通过交叉验证等方法对模型进行优化,提高模型的预测精度。

### 结束语

岩性油气藏储层因岩性复杂、分布不规则、物性差异大,给勘探开发工作带来极大挑战。尽管当前储层预测与评价技术在应用中取得一定成效,不过地震反演结果易受数据和算法的影响,地质统计学方法对数据的质量和数量要求苛刻,人工智能模型解释难度大等问题依旧突出。因此,未来有必要深入开展基础理论研究,持续创新勘探开发技术,克服现有技术瓶颈,实现岩性油气藏资源的高效开发。

### 参考文献

- [1]刘化清,刘宗堡,吴孔友,等.岩性地层油气藏区带及圈闭评价技术研究新进展[J].岩性油气藏,2021,33(1):25-36.
- [2]耿斌,周德志,王敏,等.胜利油区储层测井评价技术发展及展望[J].油气地质与采收率,2024,31(4):184-195.
- [3]李琦,李剑,翟常博,等.复杂岩性油气藏预测理论技术创新与勘探应用[J].中国科技成果,2023,24(5):38-40.
- [4]潘玉娇.非常规油气储层的岩性分析及相关技术研究[J].西部探矿工程,2023,35(9):51-54.