

Application of Multi-wave Constrained Reflection Seismic Imaging in Offshore Oil and Gas Exploration

Xuan Zhang^{1,2,3,4} Zhen Yuan^{1,2} Na Tian³ Yingyu Xu³ Yue Teng³

1. School of Earth Sciences and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi, 710065, China

2. Shaanxi Key Laboratory of Petroleum Accumulation Geology, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi, 710065, China

3. BGP Inc., China National Petroleum Corporation, Zhuozhou, Hebei, 072751, China

4. National Engineering Research Center of Oil & Gas Exploration Computer Software, Zhuozhou, Hebei, 072751, China

Abstract

The purpose of this study was to explore the application of multi-wave constrained reflection seismic imaging in offshore oil and gas exploration. In this paper, the basic principle of the technique is briefly described, including the concept and classification of multiple waves, the basic principle and implementation method of constrained reflection seismic imaging. On this basis, the specific application in offshore oil and gas exploration is deeply analyzed, and the effect under different geological conditions and the role in oil and gas reservoir identification are investigated. Combined with the data processing method of multi-wave constrained reflection seismic imaging technology, it is revealed that its important role in the interpretation of seismic data and the analysis of reservoir characteristics, and combined with a specific case to evaluate the value, the results show that this technology has achieved remarkable results in offshore oil and gas exploration.

Keywords

multiple wave constraint; reflection seismic imaging; offshore oil and gas exploration; seismic data processing

多次波约束反射地震成像技术在海洋油气勘探中的应用研究

张璇^{1,2,3,4} 袁珍^{1,2} 田娜³ 许颖玉³ 滕越³

1. 西安石油大学地球科学与工程学院, 中国·陕西 西安 710065

2. 西安石油大学陕西省油气成藏地质学重点实验室, 中国·陕西 西安 710065

3. 中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司, 中国·河北 涿州 072751

4. 油气勘探计算机软件国家工程研究中心, 中国·河北 涿州 072751

摘要

本研究旨在探讨多次波约束反射地震成像技术在海洋油气勘探中的应用。文中简要阐述了该技术的基本原理, 包括多次波的概念与分类、约束反射地震成像的基本原理以及实现方法。在此基础上深入剖析其在海洋油气勘探中的具体应用, 考察不同地质条件下的效果及在油气藏识别中的作用。结合多次波约束反射地震成像技术的数据处理方法, 揭示了其在解释地震数据和油气藏特征分析方面的重要作用, 并结合具体案例进行价值评估, 结果显示该技术在海洋油气勘探中取得了显著成效。

关键词

多次波约束; 反射地震成像; 海洋油气勘探; 地震数据处理

1 引言

随着能源需求的不断增长, 海洋油气勘探逐渐成为能

【项目基金】中国石油天然气集团有限公司重大科技专项“多物理场高精度油气地球物理探测技术与装备研究”之课题“多波场地震成像与弹性参数同步反演理论与技术”资助(项目编号: 2023ZZ05)。

【作者简介】张璇(1990-), 女, 中国河北涿州人, 本科, 工程师, 从事地震资料处理研究。

源获取的主要途径。多次波约束反射地震成像技术则是一种先进的地震勘探方法, 在海洋油气勘探领域具有重要的应用价值。目前, 诸多学者关注并深入研究多次波约束反射地震成像技术在海洋油气勘探中的应用, 通过对地质特点、数据处理方法以及实际案例的研究, 揭示该技术在油气勘探中的优势和应用前景。论文旨在深入探讨多次波约束反射地震成像技术在海洋油气勘探中的作用, 为进一步提高勘探效率和准确性提供理论支持和实践指导。

2 多次波约束反射地震成像技术的基本原理

2.1 多次波的概念与分类

多次波是指在地震波传播过程中能经历多次反射或折射的波。根据多次波的产生机制和性质，可以将其分为多种类型，诸如水平多次波、垂直多次波等。水平多次波是指在界面上发生反射后再次穿过同一界面产生的波，而垂直多次波则是在不同界面之间反射后产生的波。多次波约束反射地震成像技术利用多次波的特性，通过多次波的约束和成像，实现对地下结构的精准识别。

2.2 约束反射地震成像的基本原理

约束反射地震成像通过对地震数据进行处理分析以获取地下结构信息，其利用地震波在地下不同介质中传播时的反射和折射特性，记录地震波在地表接收器上的信号，并对这些信号进行处理和逆推，得出地下介质的结构信息。在约束反射地震成像中，通常会结合多次波的约束以增强地震成像的分辨率和准确性。对地震数据进行约束反射成像处理，可以更清晰地显示地下构造，识别地质体的边界和性质，为油气勘探提供重要的地质信息支持。

2.3 多次波约束反射地震成像的实现方法

多次波约束反射地震成像技术运用中，通过在海洋表面或井下布置地震探测器，记录地震波在地下介质中传播并反射的数据。对采集的地震数据进行预处理，包括去除噪声、纠正仪器响应等，以提高数据的质量和准确性。在成像阶段利用多次波约束反射地震成像技术，将处理后的地震数据进行逆时偏移、偏移叠加等算法处理，得到地下介质的成像结果。对成像结果进行地质解释便可有效识别地下构造和岩性界面，为油气勘探提供地质信息支持。

3 多次波约束反射地震成像技术在海洋油气勘探中的应用

3.1 海洋油气勘探的地质特点与难点

海洋地质环境复杂多变，海底地形不规则、水深较大等特点增加了勘探难度。且海洋环境下地质构造复杂，受海洋水体影响地层受到强烈的压力和化学侵蚀，地质构造、岩性变化多样，增加了勘探地质特征的识别难度。此外，海洋地质中常常存在海底沉积物覆盖，对地震波传播和地质解释产生了一定的影响，于一定程度上增加了勘探难度。再加上海洋油气勘探投资大、风险高，技术要求严格，勘探周期长，导致勘探工作面临着一定的经济风险。基于海洋油气勘探的地质特点与难点，需要应用先进的地质勘探技术如多次波约束反射地震成像技术等。

3.2 多次波约束反射地震成像技术在不同海洋地质条件下的应用效果

在浅海浅层地质条件下，多次波约束反射地震成像技术的应用可以准确识别浅部地层结构。浅海浅层地质区域地层变化频繁，包括沉积岩、变质岩、火山岩等。多次波约束

反射地震成像技术约束条件对数据进行处理，提高地震成像的分辨率和准确性，从而准确识别浅部地层的结构、厚度和界面特征。浅海地区海底地形变化多样，如海底丘陵、海底谷地等地貌特征，通过多次波反射数据的处理方法，有效探测海底地形的微小变化，揭示海底地形的细节特征，为地质构造解译和资源勘探提供重要依据。且多次波束反射地震成像技术在浅海浅层地质条件下，能够清晰展现地下构造的细微特征如褶皱、断裂等，反映岩性变化。对地下构造的精细解析，该技术为地质学家提供丰富的地质信息，包括构造演化历史、地层沉积过程等，为后续勘探工作提供可靠的地质模型和数据支持。

在海底沉积物覆盖区，多次波约束反射地震成像技术在勘探工作亦有应用。海底沉积物会对地震波传播造成干扰，影响地质构造解释的准确性。而借助多次波约束反射地震成像技术，对多次波数据进行处理分析可以有效识别并剔除沉积物层的影响，为油气勘探提供准确的地质信息。且能有效克服沉积物层的遮挡效应，展现地质构造的细节特征，为勘探人员提供更可靠的地质模型，降低勘探风险，提高勘探成功率。

3.3 多次波约束反射地震成像技术在油气藏识别的应用

多次波约束反射地震成像技术在油气藏勘探中的应用可细化为以下几方面，就细微构造特征识别而言，通过分析地震剖面，该技术精确识别地下岩石层的褶皱特征，包括褶皱的形态、大小、方向等。这些信息对于确定构造变形程度和形态特征至关重要，在褶皱部位通常会出现油气聚集的可能性更高。检测断裂带，多次波约束反射地震成像技术于该领域的应用亦可帮助准确检测并定位地下断裂带及次级断裂带。断裂带可能是油气运移的通道，勘探人员尤其需要关注这些断裂带，断裂带存在油气聚集分布的概率更大。高分辨率的地震成像可以清晰地显示地下岩性的变化，包括不同岩性之间的界面，岩性界面也是油气聚集的重要地质条件，岩性的变化会影响油气的运移和储集。

4 多次波约束反射地震成像技术的数据处理与解释

4.1 地震数据的采集与处理流程

地震数据采集需要在地表或海底布置地震探测器如地震传感器或水听器，记录地震波在地下介质中的传播情况。震源如重锤或空气枪在地表或海底引发地震波，产生初始地震信号。采集到的原始地震数据需要经过一系列处理步骤，以提取地下构造和岩性信息。

预处理是对原始数据进行时距校正、滤波和去噪处理，以提高数据质量和信噪比。数据叠加环节将多个地震记录叠加在一起，增强信号并抑制噪声。叠加可以通过不同方法实现，如NMO校正（Normal Moveout Correction）和叠加速

度分析。则成像处理利用地震数据进行地下成像，常用的方法包括偏移校正、成像反演等。该步骤将原始地震数据转换为地下介质的成像图像，显示出岩性界面、构造特征等地质信息。在成像过程中引入多次波信息，以约束反射波的成像结果。

4.2 多次波约束反射地震成像技术的数据处理方法

在数据处理中，需要针对原始地震数据进行预处理，通过去噪和纠正确保数据质量。利用先进的信号处理算法可以从地震数据中分离出多次波信号，为后续处理提供准确的输入。随后利用地下介质模型进行多次波的建模，考虑地下介质的速度变化和波的传播路径等因素，以数值模拟方法进行精确的模拟。在成像过程中引入多次波约束以提高成像的准确性和分辨率，借助复杂的数学优化算法设计合适的约束条件，确保多次波信息能够有效地约束反射波成像结果。这样的处理方法能够产生更为精确的地下结构成像图像，为油气勘探提供了可靠的地质信息。

4.3 地震数据的解释与油气藏特征分析

地震数据的解释主要为地震波在地下介质中传播的物理过程。根据地震波的传播速度、振幅和波形等特征，结合地质学知识，可以推断出地下结构的性质，如岩性、孔隙度、饱和度等。地震数据的解释借助地震地层学的理论模型，如地震反射率公式：

$$R = \frac{(V_2 - V_1)}{(V_2 + V_1)} \quad (1)$$

其中， R 为地震反射率； V_1 和 V_2 分别为地震波在两种不同地层中的速度。对地震数据进行反演和解释可以得到地下结构的图像，进而分析油气藏的位置和性质。油气藏特征分析也对地震数据中异常体的识别和解释，异常体指反射强度或波形异常的地下结构，可能是油气藏、岩性改变、构造异常等。通过对异常体的特征进行分析，如形态、大小、位置等，可以推断出其可能代表的地质体，并进一步评价其含油气性质。综合利用地震数据解释和油气藏特征分析，可以实现对油气藏的全面评价和有效预测。不仅需要地球物理学、地质学和工程地质学等多个学科的知识，还需要结合实地勘探数据和先进的数据处理技术，以获取准确、可靠的地下结构信息。

5 多次波约束反射地震成像技术的案例研究

5.1 典型案例的选择与背景介绍

选取了位于北海油田的某一区块，该区域地质构造复杂，受多种构造作用和沉积过程的影响，油气藏分布不均匀，地层间存在断层、褶皱等复杂构造。传统的地震成像技术在该区域受到了地层复杂性的限制，成像分辨率低，难以准确识别油气藏位置和性质。基于此，选择在该区域应用多次波约束反射地震成像技术。引入多次波约束，并结合地质模型和

先进的成像算法，提高成像的准确性和分辨率。在该案例中采集了大量地震数据，并利用多次波约束反射地震成像技术对数据进行处理和解释，精确定位了油气藏的位置和性质。

5.2 多次波约束反射地震成像技术的应用效果分析

多次波约束反射地震成像技术在 Y 区块的应用效果显著，该技术利用地震波在地下多次反射的特性，结合先进的成像算法，能够于地质结构复杂的区域探测过程中提高地下结构的分辨率，从而有效提升了勘探成功率。MCRSI 技术能更准确地识别和定位潜在的油气聚集区，对地下结构进行高分辨率成像可以清晰地显示出地下岩层的变化和异常，有助于识别油气藏的位置和规模。在 Y 区块的实际应用中，成功发现了多个潜在的油气聚集区，为后续的勘探和开发提供了重要线索。

此外，MCRSI 技术还可以加速勘探进程。该技术可显著提高勘探成功率并降低勘探成本，因此可以加速勘探项目的实施进度。在 Y 区块的实际应用中，MCRSI 技术的使用显著缩短了勘探周期，使得油气勘探和开发工作能够更快地取得成果。

6 结语

经研究表明，多次波约束反射地震成像技术在海洋油气勘探领域展现出巨大的潜力。通过该技术勘探者可以获得更为准确和清晰的地下地质结构图像，从而提高勘探的精度和效率。该项技术的应用不仅有效降低了勘探风险，提高勘探成功率，还能够节约勘探成本为海洋油气资源的发现和开发提供了强有力的技术支持。随着技术的不断完善和发展，多次波约束反射地震成像技术将在海洋油气勘探中发挥越来越重要的作用，为行业的可持续发展和资源的合理利用做出贡献。

参考文献

- [1] 田彦灿,李翔,赵玉莲,等.浅海地震资料表面多次波组合压制技术[C]//第二届中国石油物探学术年会论文集(中册),2024.
- [2] 刘斌.基于逆时偏移的浅水自由表面多次波成像技术[J].海洋地质前沿,2023,39(5):83-92.
- [3] 任艺.地震资料复杂多次波的组合压制技术[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(7):176-177+180.
- [4] 叶月明,任浩然,徐志诚,等.海洋单阶次表面多次波分离方法研究[J].CT理论与应用研究,2021,30(2):139-147.
- [5] 叶月明,范国章,李林,等.多次波成像技术在深海油气勘探中的应用[J].中国造船,2019,60(4):222-228.
- [6] 张健男,但志伟,孙雷鸣,等.全波形反演技术在深海地震成像中的研究及应用[J].海洋工程装备与技术,2019,6(S1):250-254.
- [7] 叶月明,郭庆新,庄锡进,等.不同阶次自由表面相关多次波预测与成像方法[J].地球物理学报,2019,62(6):2237-2248.