

Application of Fracture Prediction in Interwell Connectivity Analysis of Carbonate Rocks

Hengchao Yuan^{1,2} Qiang Xian² Lei Dou² Yifan Wu² Chenxi Zhu²

1. School of Earth Sciences and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi, 710065, China
 2. Korla Branch, GRI, BGP Inc, CNPC, Korla, Xinjiang, 841001, China

Abstract

Carbonate fracture cave reservoirs are mainly developed in the Ordovician in Halahatang area, Tarim Basin, which is one of the main production areas of Tarim Oilfield. With the deepening of development, the well pattern density is increasing. Some wells meet the target reservoir but cannot be put into production. The analysis shows that a large number of fractures are developed in the inner strata of Ordovician, and the adjacent reservoirs communicate through fractures, resulting in the escape of oil and gas to the adjacent well reservoirs. Conventional post stack data can only qualitatively predict fracture development characteristics, and cannot carry out inter well connectivity analysis. Use OVT five-dimensional seismic data to carry out fracture prediction, and determine the fracture development direction and length according to the known connected well groups, so as to provide support for the deployment of development well locations.

Keywords

Halahatang; carbonate rocks; fracture prediction; interwell connectivity

裂缝预测在碳酸盐岩井间连通性分析中的应用

苑恒超^{1,2} 鲜强² 窦磊² 吴一凡² 朱晨曦²

1. 西安石油大学地球科学与工程学院, 中国·陕西 西安 710065
 2. 中国石油集团东方地球物理公司研究院库尔勒分院, 中国·新疆 库尔勒 841000

摘要

塔里木盆地哈拉哈塘地区奥陶系主要发育碳酸盐岩缝洞型储层, 是塔里木油田主力产区之一。随着开发程度的日益加深, 井网密度越来越大, 部分井钻遇目标储层但无法投产。分析认为奥陶系内幕地层发育大量裂缝, 相邻储层通过裂缝沟通, 导致油气向邻近储层逸散。常规叠后数据只能定性预测裂缝发育特征, 无法开展井间连通性分析。利用OVT五维地震数据开展裂缝预测, 根据已知连通井组确定裂缝发育方向和长度, 为开发井位部署提供支撑。

关键词

哈拉哈塘; 碳酸盐岩; 裂缝预测; 连通性

1 引言

塔里木盆地哈拉哈塘地区奥陶系主要发育碳酸盐岩缝洞型储层, 在地震剖面上主要变现为“串珠”状, 是塔里木油田重要的产油层系之一。目前, 该区已进入全面开发阶段, 但随着井网密度的加大, 井间距也越来越小, 最小可达到 600m。在实际钻井过程中, 经常出现钻遇储层却无法投产或者实际产量远少于预测产量的情况。分析认为, 走滑断裂是哈拉哈塘地区油气运移的主要通道, 而奥陶系内幕地层伴随走滑断裂发育大量裂缝, 沟通了相邻缝洞型储层, 导致油气向高部位逸散。常规叠后数据只能定性预测裂缝发育特征, 无法开展井间连通性分析。利用 OVT 五维地震数据开

展叠前裂缝预测, 根据已知连通井组确定裂缝发育方向和长度, 为开发井位部署提供支撑(见图1)。

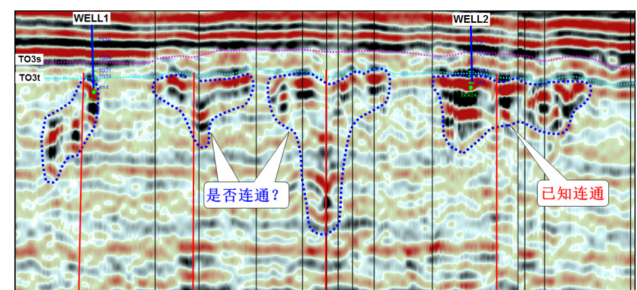


图1 哈拉哈塘地区奥陶系串珠状储层深度域地震剖面

2 研究方法

2.1 宽方位地震 OVT 技术简述

近年来, 宽方位高密度地震勘探已成为提高地震勘探

【作者简介】苑恒超(1990-), 男, 中国河北保定人, 在读硕士, 工程师, 从事地震资料解释及综合研究。

效果的最重要的选择^[1]。通过该勘探方式可获得海量的高品质宽方位地震信息，利用面向宽方位地震勘探的高端处理技术能获取同时拥有炮检距和方位角信息的高品质“**五维**”（即空间三维坐标+炮检距+方位角）叠前地震道集^[2]（见图2、图3）。

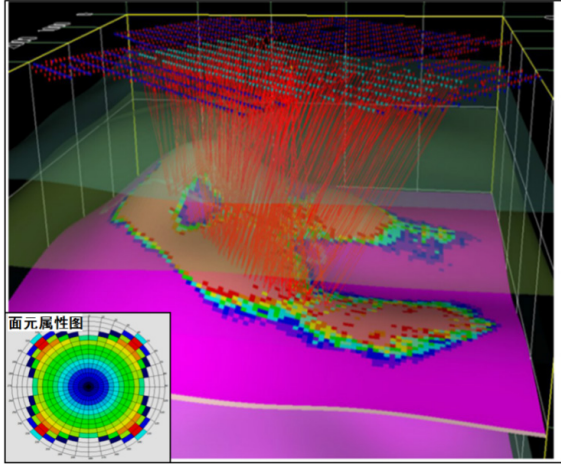


图2 宽方位采集示

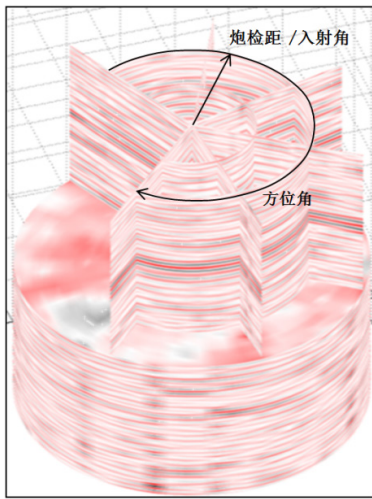


图3 五维地震道集示意图

与常规地震勘探相比，宽方位高密度地震勘探具有以下特点：

①宽方位高密度勘探具有地震成像信息量大及空间连续性好的特点，可获得较完整的地震波场和较好的成像效果，振幅保真性更高。

②由于近地表散射干扰具有三维随机性宽方位勘探更利于压制近地表散射干扰和多次波，以提高成像精度特别是复杂构造的成像精度。

③在断裂区和裂缝性储层中存在明显的HTI各向异性特征，常规（窄方位）勘探可能会弱化或忽略与裂缝平行观测方向的勘探效果，而宽方位勘探在此情况下会明显地改善

对裂缝发育带的识别能力。

与此同时，配套的OVT域宽方位地震数据处理、解释技术也得以创立和发展，OVT道集克服了常规CRP道集近、中、远道能量不均衡的问题，在资料保真和去噪方面有很大提升^[3]，从而能够充分发挥其在储层分析和裂缝预测领域的效能，丰富了叠前地震属性分析的手段和功能^[4]。

2.2 分方位叠加

通过前期断裂研究，研究区内主要发育X型大型走滑断裂，断裂主干呈北西向、北东向展布，断裂破碎带轮廓相对比较清晰，满足分支断裂刻画的需要，但无法以此来开展井间连通型分析（见图4、图5）。

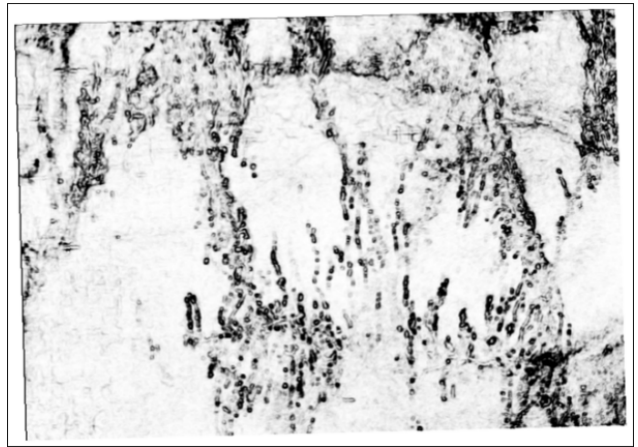


图4 研究区走滑断裂相干属性平面图

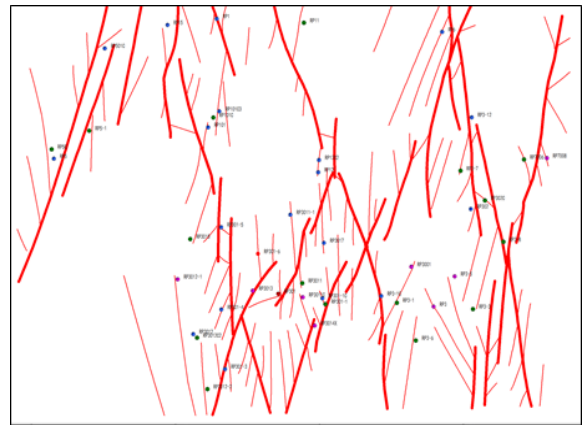


图5 研究区走滑断裂纲要图

OVT数据能交互的优选方位角和偏移距，理想条件下可以分尽可能多的方位和不同偏移距进行裂缝预测以观察效果（见图6、图7）。由于此次资料覆盖次数在仅100次左右，为了使不同方向上的预测裂缝能量一致，选择3500（较小的最大非纵距）作为实际使用的偏移距。同时，为确保每个方向上覆盖次数不低于15次而影响预测精度，四个方向开展裂缝预测。

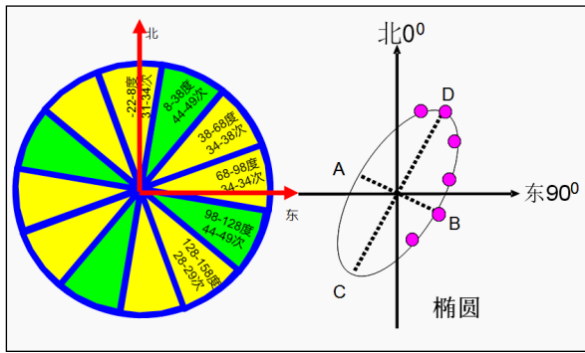


图6 6方位叠加示意图

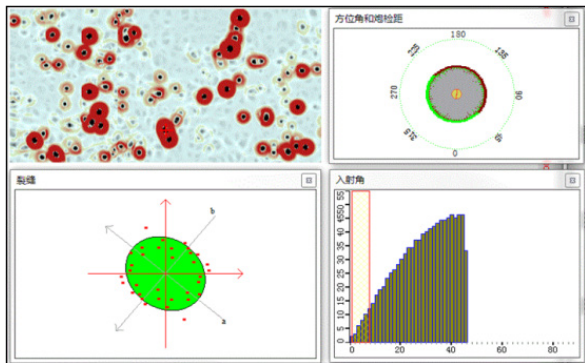


图7 方位角和偏移距交互优选示意图

2.3 裂缝密度与方位预测

通过测试不同算法，发现基于频率属性的裂缝预测准确性最高，预测裂缝密度与全方位叠加走滑断裂整相干平面属性基本一致（见图8、图9）。

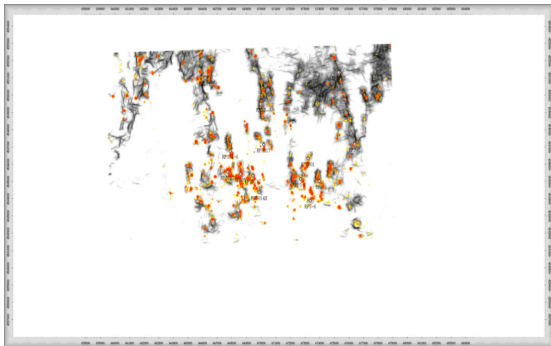


图8 全方位叠加 afe 属性叠串珠属平面

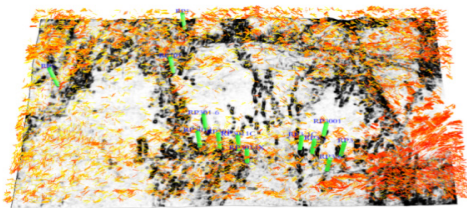


图9 基于频率裂缝预测叠相干平面图

同时，还对裂缝预测方位进行了验证。在研究区内选取了五口井，对比井旁预测裂缝的方向和实际测井得到的裂缝方向，其中四口井方向基本一致，吻合度达80%（见图10），裂缝预测的方向性可靠，可以继续下一步研究。

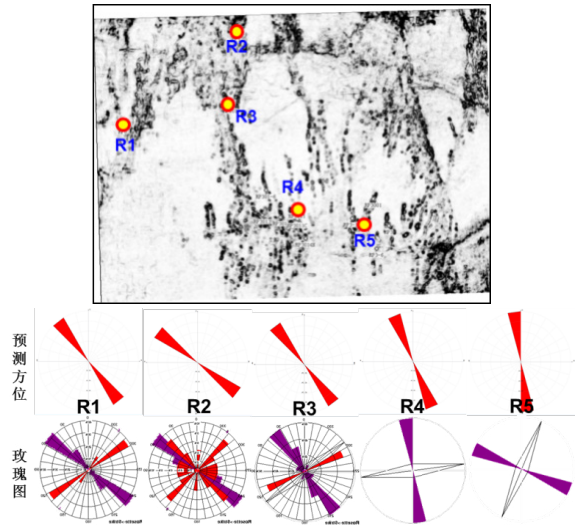


图10 研究区内井旁裂缝预测与测井裂缝方位玫瑰图对比

2.4 裂缝长度标定与验证

裂缝预测的难点在于没有一个相应的标准，裂缝的长度可以调节，人为的因素很大，使得这项技术好看但并不实用。为了能更客观准确的进行裂缝预测，首先要定一个标准，也就是通过已知连通井组来确定裂缝的合理长度。

RP4井组有五口井，位于两组断裂的交汇处（见图11），通过实际生产数据已知五口井是连通的。以此井组为依据，对裂缝的长度由小到大依次进行标定。当裂缝长度标定为350m时，从裂缝的平面展布和三维立体雕刻图上可以看出，裂缝与串珠共同构成了一个大型连通的断溶体（见图12、图13）。因此，我们将350m定为裂缝的标准长度。

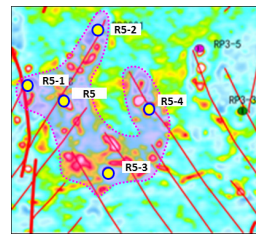


图11 R4井组均方根属性图

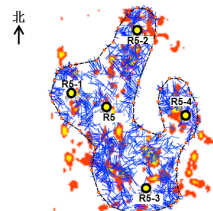


图12 R4井组裂缝预测平面图

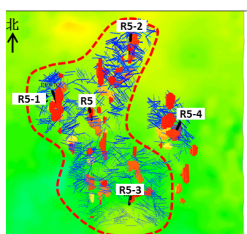


图 13 R4 井组裂缝预测立体图

将裂缝长度标定后，选取 R4 井组进行验证。

R5 井组位于 R4 井组东侧 2.7km 处，共有五口井，同样也处于两组断裂的交汇处（见图 14）。对其设定裂缝长度为 350m 进行连通性分析预测。从裂缝的平面展布和三维立体雕刻（见图 15、图 16）判断，井组内西侧 R5、R5-1、R5-2、R5-3 属于同一个断溶体，具有连通性。R5-4 井旁裂缝与西侧四口井预测裂缝有较明显的边界，因此判断 R5-4 与其他四口井不连通。

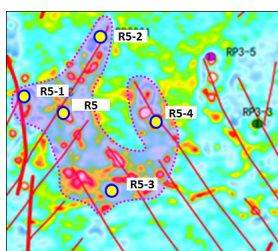


图 14 R5 井组均方根属性图

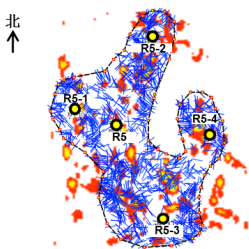


图 15 R5 井组裂缝预测平面图

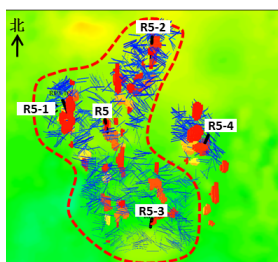


图 16 R5 井组裂缝预测立体图

从 2016 年之前生产数据来看，R5-2 和 R5-3 历年油压变化完全一致，两口井疑似连通（见图 17）；从 2016 年之

后生产数据来看，R5、R5-2 和 R5-3 油压变化基本一致，R5-4 与其他井油压变化与其其他井差距很大（见图 18）。这也证实了该井组中除 R5-4 井之外，其他四口井都是连通的（其中 RP5 是水井、RP5-1 未投产）。

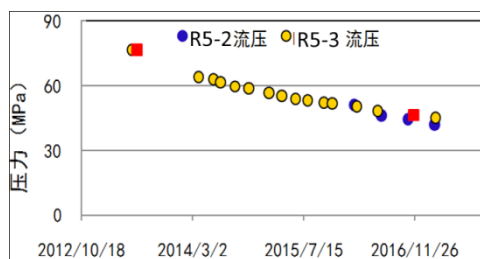


图 17 R5-2 和 R5-3 历年压力变化曲线

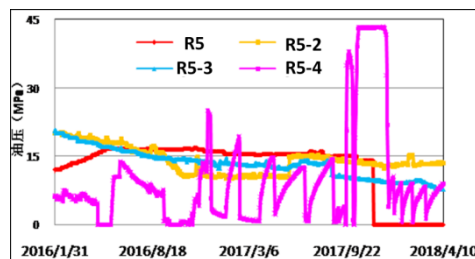


图 18 R5 井组历年油压变化曲线

从地质角度分析，走滑断裂是油气运移的主要通道，裂缝是毛细血管，R5 井组西侧四口井并通过北东走向滑断裂和裂缝连成一个断溶体系统，而东侧 R5-4 井可能是位于另一条北东向主干断裂分支上的一个独立的油气单元。

3 结语

① OVT 数据对储层成像和断裂带预测有很好的提升，能更好地帮助我们分析储层和划分断裂。

②建立了一种基于 OVT 裂缝预测，以实际连通井组为基础，对裂缝长度进行标定，推广到构造相似、位置相近的井组做井间连通性分析的模式，其结果相对客观合理。

参考文献

- [1] 段文胜,李飞,王彦春,等.面向宽方位地震处理的炮检距向量片技术[J].石油地球物理勘探,2013,48(2):206-213.
- [2] 袁燎,张丽娟,温铁民.OVT域处理技术在准噶尔盆地东部致密油勘探中的应用及效果[J].长江大学学报(自然科学版),2015,12(35):22-26.
- [3] 詹仕凡,陈茂山,李磊,等.OVT域宽方位叠前地震属性分析方法[J].石油地球物理勘探,2015,50(5):956-966.
- [4] 党青宁,崔永福,陈猛,等.OVT域叠前裂缝预测技术——以塔里木盆地塔中ZG地区奥陶系碳酸盐岩为例[J].物探与化探,2016,40(2):398-404.