

# 裂缝储层综合评价方法

——以渤南洼陷沙三段下亚段为例

王长江<sup>1,2</sup>, 汤 婕<sup>1</sup>, 李 珂<sup>3</sup>

(1. 中国石油大学(华东) 地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580; 2. 中国石化胜利油田分公司 地质科学研究院, 山东 东营 257015; 3. 西南石油大学 地球科学与技术学院, 四川 成都 610500)

**摘要:** 裂缝储层勘探潜力大, 其发育受多种因素影响, 需要综合地质、测井、地球物理等资料对其进行描述。通过细致分析渤南洼陷沙三段下亚段的地质资料, 从多个角度对其裂缝储层进行预测, 确定了2种针对性技术, 即利用断层图像增强处理技术预测裂缝发育区, 利用多属性趋势拟合技术预测 I 类储层平面分布; 但仅利用单一技术的预测结果均存在较大的不确定性, 故综合2种技术的预测结果, 使用叠合显示技术来预测研究区裂缝储层优势区带, 以达到提高裂缝储层预测精度的目的。渤南洼陷沙三段下亚段的构造倾角属性与 I 类储层预测厚度的叠合显示结果表明, 义182断裂带和南部罗42井附近是有利裂缝储层发育区。实际钻探的义182、义186和义187等高产油井或有良好油气显示的渤页平1井, 均位于叠合显示技术预测结果中的有利裂缝储层发育区, 表明应用叠合显示技术可提高储层预测精度, 是一种有效的裂缝储层综合评价方法。

**关键词:** 裂缝储层 断层图像增强处理 多属性趋势拟合 构造形态 断裂组合 储层展布 定量计算 综合评价

**中图分类号:** P631.44

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-9603(2014)06-0068-04

据统计, 全球范围内裂缝性油气藏的油气产量占世界油气总产量的一半以上, 因此裂缝储层的勘探潜力非常大, 是一种重要的资源接替类型<sup>[1-5]</sup>。但是, 裂缝储层埋藏较深、产能变化快并且孔隙度低、非均质性强、裂缝分布复杂<sup>[6-17]</sup>, 单一地球物理技术的处理结果存在多解性, 故对储层进行描述时存在一定难度。在中外的地球物理技术研究领域, 一直没有找到适用的针对性技术。针对这一难题, 笔者结合渤南洼陷沙三段下亚段的实际地质资料, 总结了一套针对裂缝储层描述与综合评价的方法, 以降低单一地球物理技术处理结果存在的多解性、提高储层预测精度。

## 1 方法介绍

### 1.1 断层图像增强处理技术

在断层解释中, 较大规模的断层很容易识别, 但是, 一些隐蔽性较强、延伸长度很短、断距较小的断层或是裂缝, 在通常情况下难以识别解释。另外, 深层地震资料的信噪比非常低, 这种情况进一步加剧了断层识别的难度。

断层图像增强处理技术可用于地震数据中断层信息的增强以及去除噪声, 与传统滤波器相比, 断层图像增强滤波器可降低地层干扰, 避开对断层的影响(图1)。基于断层图像增强处理技术的处理结果, 提取构造倾角属性, 可以对地震资料的不连续性进行突出刻画, 从而使得特殊的地质现象表现得更加清晰, 更易于解释。

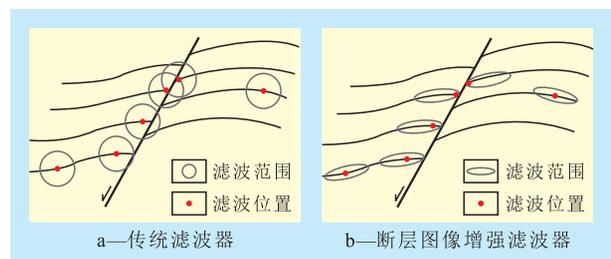


图1 传统滤波器与断层图像增强滤波器原理对比

### 1.2 多属性趋势拟合技术

一种地球物理参数可以反映一种或多种地质因素, 针对某一种地质因素, 可通过多种地球物理参数来体现。多属性趋势拟合技术是利用地球物理参数间的差异, 通过对信息特征的提取和分析, 结合测井资料, 优选出敏感的地球物理属性, 在属

收稿日期: 2014-09-03。

作者简介: 王长江, 男, 高级工程师, 在读博士研究生, 从事油气地质综合解释与油藏描述工作。联系电话: (0546) 8715752, E-mail: wangchangjiang.slyt@sinopec.com。

基金项目: 国家科技重大专项“渤海湾盆地精细勘探关键技术”(2011ZX05006-003)。

性优选的基础上,从统计学角度,建立储层参数与多属性间最优化的定量的线性数学关系,进而反映储层参数分布特征,实现储层预测。该技术可以避免单一属性的多解性,结合测井资料,能够更为准确地反映储层展布特征。其拟合方程为

$$H=Y+a_1X_1+a_2X_2+a_3X_3+\dots+a_nX_n \quad (1)$$

式中:  $H$  为储层参数,如厚度和物性参数等;  $Y$  为截距;  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$  分别为各地震属性的权系数;  $n$  为属性或权系数的数目;  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  为互不相关的地震属性。

### 1.3 叠合显示技术

通过任何一种单一地球物理技术得到的储层预测结果存在较大的不确定性,因此很难达到较高的吻合度。为此,笔者利用叠合显示技术,对构造形态、断裂组合和储层展布信息等多种属性结果进行综合考虑,找到多种因素均显示较好的区域,并将多种因素均指示为有利的地区确定为有利储层发育带,这样不仅可避免单一地球物理技术处理结果的不确定性问题,还可为地质人员部署井位提供更多帮助。

## 2 应用实例

### 2.1 研究区地质概况

渤南洼陷位于济阳拗陷东北部,其北以埕南—埕东断层与埕东凸起相接,向东以孤西断层与孤北洼陷、孤岛潜山构造带相连,向南以孤南断层与三合村洼陷相接,西南方以缓坡形式过渡至陈家庄凸起,向西分别以义东断层、罗西断层与义和庄凸起、邵家洼陷相连。

渤南洼陷沙三段下亚段具备生成大量页岩油气的物质基础,而且分布厚度大、面积广。截至2012年底,已钻探8口工业油流井,其中,义182并于3 429.4~3 480 m井段中途测试,5 mm油嘴放喷,折算产油量为140 t/d,产气量为15 625 m<sup>3</sup>/d;义186井钻至3 680 m见1 m油斑砂质灰岩、2 m荧光细砂岩,在3 665~3 680 m井段中途测试,8 mm油嘴放喷,折算产油量为55.2 t/d,产气量为10 862 m<sup>3</sup>/d;义187井钻至沙三段下亚段3 492 m的深灰色灰质泥岩时发生井涌,槽面出现棕褐色油花和无色透明气泡,油花呈星点状分布,占槽面面积的5%,无色透明气泡呈米粒状,占槽面面积的10%,于2012年11月17日对沙三段下亚段3 456.7~3 478.0 m井段进行测试,5 mm油嘴放喷,折算产油量为184.8 t/d。从目前已发现的工业油流井来看,研究区具有良好

的勘探前景。

### 2.2 利用断层图像增强处理技术预测裂缝发育区

通过分析渤南洼陷沙三段下亚段获得工业油流的井,发现除渤深8井外,其他工业油流井均分布在断层附近,说明断层附近的微裂隙比较发育,页岩油气更容易富集。

分析渤南洼陷岩心、薄片、电镜和荧光等观察资料,认为其储集空间以微孔隙为主,其次为微裂缝。裂缝为油气赋存提供了有效空间,因此研究区发育典型的裂缝性油藏。

对比原始地震剖面与断层图像增强技术处理的地震剖面,发现断层图像增强技术处理的地震剖面断点更清晰,断层的轮廓更明确(图2),说明断层图像增强处理技术可以更加清晰地刻画比较隐蔽的小型断层和裂缝。

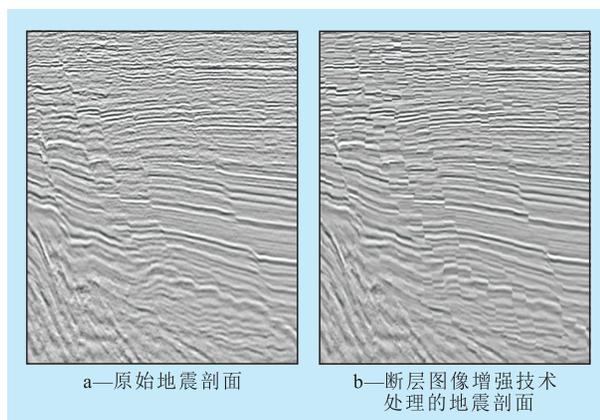


图2 原始地震剖面与断层图像增强技术处理的地震剖面对比

在断层图像增强技术处理结果的基础上,提取渤南洼陷沙三段下亚段构造倾角属性(图3)结果表明:南部罗家地区主要发育北东向、北西向和近东

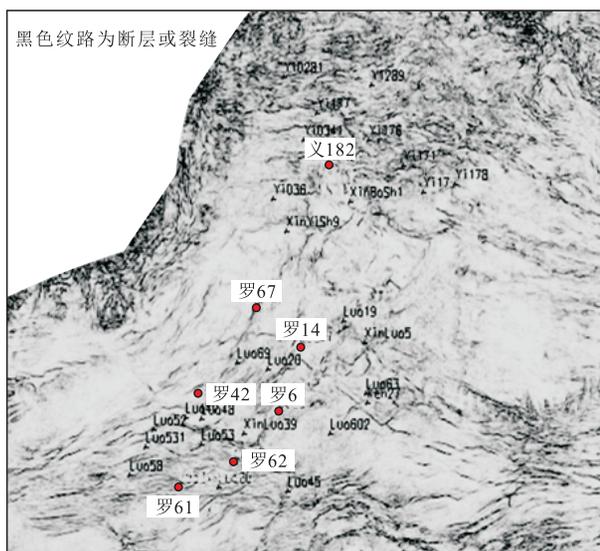


图3 渤南洼陷沙三段下亚段构造倾角属性

西向3组断层,其中北东向的罗67东断层、罗14断层、罗6北断层、罗62东断层以及北西向的罗42南断层、近东西向的罗61南断层为主要断层,且发育一些次级断层,这些断层相互切割形成多个断块、断鼻构造;研究区北部义182井附近的断层比较杂乱,裂缝更为发育。因此,利用断层图像增强地震数据体提取的构造倾角属性可较为全面清晰地反映研究区断裂系统的分布特征。

### 2.3 利用多属性趋势拟合技术预测 I 类储层分布

每一种地震属性可从不同角度反映储层特征,其中的关系十分复杂。同一种地震属性在不同研究区、不同储层对预测对象的敏感性也不尽相同,而且由于不同的地震属性之间可能存在相关性,几个最优的单属性组合不一定是最优化的,也不一定能够获得最优的预测效果。为此,笔者统计了渤南洼陷沙三段下亚段34口已钻井的 I 类储层厚度及其地震属性值,并利用统计学算法,得到 I 类储层厚度与多种地震属性之间最优化的定量计算关系,其表达式为

$$y = 0.030\ 514\ 1a_1 + 0.150\ 818a_2 - 0.813\ 453a_3 + 0.075\ 721\ 7a_4 - 0.015\ 900\ 8a_5 - 0.033\ 889\ 5a_6 - 0.179\ 46a_7 + 0.402\ 083a_8 - 0.737\ 671a_9 - 14.477\ 1 \quad (2)$$

式中:  $y$  为储层厚度;  $a_1$  为平均振幅归一化值;  $a_2$  为平均波谷振幅归一化值;  $a_3$  为拟峰度归一化值;  $a_4$  为反射强度斜率归一化值;  $a_5$  为平均相位归一化值;  $a_6$  为瞬时频率斜率归一化值;  $a_7$  为平均波峰振幅归一化值;  $a_8$  为最大绝对振幅归一化值;  $a_9$  为方差。

参与公式拟合的储层厚度是由井点位置统计得到的,式(2)中的地震属性均为渤南洼陷沙三段下亚段的,通过式(2)中的定量计算关系,可以根据井点储层厚度预测整个研究区的裂缝储层厚度,从而计算 I 类储层厚度预测结果。从图4可见,研究区的 I 类储层在平面上可划分为3个明显条带,南部为罗42井—罗602井的北西向条带,中部为包括罗67井的北西向预测条带,北部为义182井—义178井的东西向条带。预测的 I 类储层分布特征与研究区的实际地质情况较为吻合。

### 2.4 利用叠合显示技术预测有利储层发育区

应用上述2项技术得到的裂缝储层预测结果从不同角度反映了裂缝储层的发育情况,虽然都有一定效果,但是在有些地方与实际情况并不相符,存在不确定性。为了克服单一地球物理技术的不足,笔者利用叠合显示技术,综合断层图像增强处理技

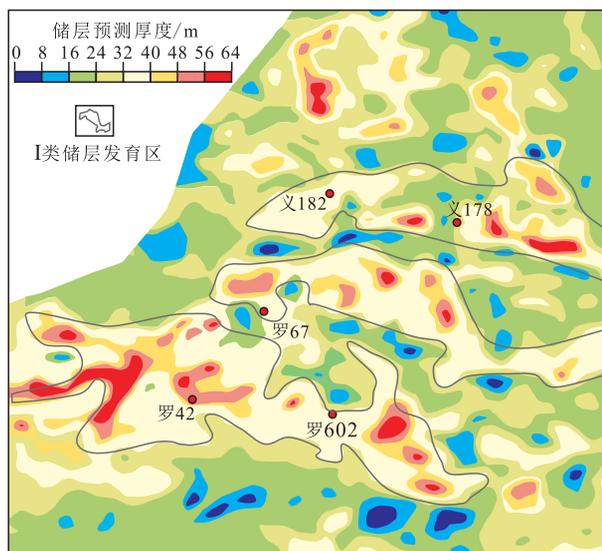


图4 渤南洼陷沙三段下亚段 I 类储层预测厚度

术和多属性趋势拟合技术的有利裂缝储层预测结果,明确二者均反映较好的有利裂缝储层发育区,以达到提高裂缝储层预测精度的目的。

由渤南洼陷沙三段下亚段构造倾角属性与 I 类储层预测厚度的叠合显示结果(图5)可以看出:在研究区北部义182断裂带附近,不仅断层比较发育,而且 I 类储层厚度也较大,说明义182断裂带附近是有利储层发育区;南部罗42井附近断层较为发育, I 类储层厚度也较大,也是有利储层发育区。研究区已完钻的义182、义186和义187等井均为高产油井,这些井均位于北部义182断裂带附近;2011年12月21日完钻的渤页平1井,在罗42井东北部沙三段下亚段2 649~4 335 m井段见油斑显示,发现了较好的油页岩储层。实际钻探的高产油井或良好油气显示井,均位于叠合显示技术预测结果中的

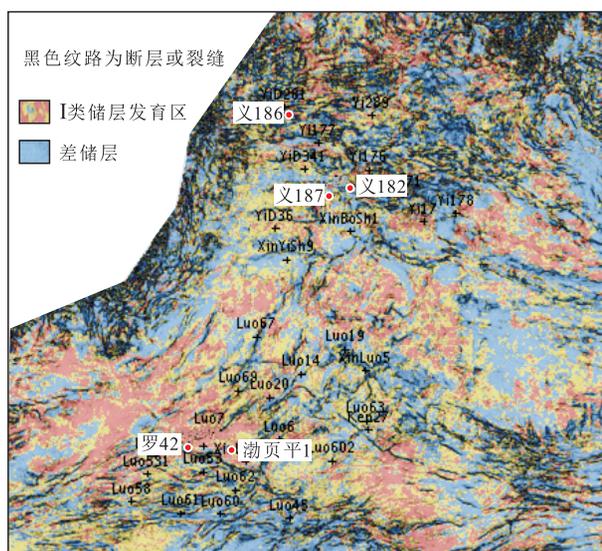


图5 渤南洼陷沙三段下亚段构造倾角属性与 I 类储层预测厚度叠合显示

有利裂缝储层发育区,表明叠合显示技术达到了提高裂缝储层预测精度的目的,是一种有效的裂缝储层综合评价方法。

### 3 结束语

针对裂缝储层预测的难点,虽采用了一些地球物理技术,但仍存在不少问题,且与实钻井的吻合率也有待提高。

通过对渤南洼陷沙三段下亚段地质资料分析,借鉴现代信号分析方法,利用断层图像增强技术处理获得的震数据体提取的构造倾角属性可较为全面清晰地反映研究区断裂系统的分布特征,利用多属性趋势拟合技术刻画 I 类储层展布规律;在 2 项技术预测结果的基础上,使用叠合显示技术,综合构造形态、断裂组合和储层展布信息,寻找有利裂缝储层发育带。针对非常规油藏的勘探,今后的发展方向应侧重于地应力分析、岩石物理与叠前反演、叠后随机反演和各向异性分析等方面。

#### 参考文献:

- [1] 张金川,薛会,张德明.页岩气及其成藏机理[J].现代地质,2003,17(4):466.
- [2] 刘惠民,张守鹏,王朴,等.沾化凹陷罗家地区沙三段下亚段页岩岩石学特征[J].油气地质与采收率,2012,19(6):11-17.
- [3] 张善文,张林晔,李政,等.济阳坳陷古近系页岩油气形成条件[J].油气地质与采收率,2012,19(6):1-6.
- [4] 王永刚,耿斌,张豆娟.济阳坳陷埕北地区变质岩储层特征与测

井解释[J].油气地质与采收率,2013,20(1):48-52.

- [5] 陈尚斌,朱炎铭,王红岩,等.中国页岩气研究现状与发展趋势[J].石油学报,2010,31(4):689-694.
- [6] 张奎华.密度投影技术在页岩裂缝储层预测中的应用[J].油气地质与采收率,2013,20(3):46-48.
- [7] 才博,丁云宏,卢拥军,等.提高改造体积的新裂缝转向压裂技术及其应用[J].油气地质与采收率,2012,19(5):108-110.
- [8] 范昌育,王震亮.页岩气富集与高产的地质因素和过程[J].石油实验地质,2010,32(5):465-469.
- [9] 宋梅远,张善文,王永诗,等.沾化凹陷沙三段下亚段泥岩裂缝储层岩性分类及测井识别[J].油气地质与采收率,2011,18(6):18-22.
- [10] 杨宇,孙晗森,彭小东,等.煤层气储层孔隙结构分型特征定量研究[J].特种油气藏,2013,20(1):71-73.
- [11] 姜建伟,李红茹,李远光,等.安棚深层系裂缝特征重新认识与井网调整[J].油气地质与采收率,2012,19(2):26-28.
- [12] 甘学启,宋文燕,王志萍,等.裂缝对川中雷口坡风化壳储层发育的影响[J].特种油气藏,2013,21(4):53-57.
- [13] 袁静.沾化凹陷罗家地区沙四段顶部至沙三段泥质岩裂缝特征及其影响因素[J].石油大学学报:自然科学版,2003,27(4):20-23.
- [14] 梁积伟,李宗杰,刘昊伟,等.塔里木盆地塔河油田 S108 井区奥陶系一间房组裂缝性储层研究[J].石油实验地质,2010,32(5):447-452.
- [15] 聂永生,田景春,魏生祥,等.裂缝三维地质建模的难点与对策[J].油气地质与采收率,2013,20(2):39-41.
- [16] 杨满平,王正茂.微小断层野外地质调查及作用初探[J].特种油气藏,2013,20(2):29-33.
- [17] 陶珍,张遂安,赵瑞东,等.煤岩微尺度裂缝气体渗流机理研究[J].特种油气藏,2012,19(5):51-54.

编辑 常迎梅

(上接第 67 页)

型油藏的连通性,须对有效缝洞体及有效储层的分布范围进行更为深入的论证。

#### 参考文献:

- [1] 张希明,杨坚.塔河缝洞型碳酸盐岩油藏描述及储量评估技术[J].石油学报,2004,25(1):13-18.
- [2] 鲁新便.缝洞型碳酸盐岩油藏古岩溶系统与油气开发[J].石油与天然气地质,2010,31(1):22-27.
- [3] 丁勇,彭守涛,李会军.塔河油田及塔北碳酸盐岩油藏特征与成藏主控因素[J].石油实验地质,2011,33(5):488-494.
- [4] 彭守涛,何治亮,丁勇,等.塔河油田托甫台地区奥陶系一间房组碳酸盐岩储层特征及主控因素[J].石油实验地质,2010,32(2):108-114.
- [5] Al-Dossary S, Marfurt K J. 3D volumetric multispectral estimates

of reflector curvature and rotation[J].Geophysics,2006,71(5):41-51.

- [6] Roberts A. Curvature attributes and their application to 3D interpreted horizons[J].First Break,2001,19(2):85-100.
- [7] 倪新锋,王招明,杨海军,等.塔北地区奥陶系碳酸盐岩储层岩溶作用[J].油气地质与采收率,2010,17(5):11-16.
- [8] 李宗宇.塔河缝洞型碳酸盐岩油藏油井见水特征浅析[J].特种油气藏,2008,15(6):52-55.
- [9] 刘中春.塔河油田缝洞型碳酸盐岩油藏提高采收率技术途径[J].油气地质与采收率,2012,19(6):66-68,86.
- [10] 荣元帅,李新华,刘学利,等.塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏多井缝洞单元注水开发模式[J].油气地质与采收率,2013,20(2):58-61.

编辑 邹激滢