

向上进行大面积的预测。

论文以哈萨克斯坦 K 气田为例,首次采用“两宽一高”地震勘探技术^[1,2],其具有的宽频、宽方位、高密度特点,使得地震成像更为精细,对后期形成的异常高压次生气藏范围预测及形成机理进行了更为详细的描述。研究成果对其他老气田也有一定的借鉴意义。

2 气田概况

K 气田位于北乌斯尔特盆地西北部的布扎奇隆起上。油田范围内钻遇了新生代、中生代地层,其中中生代中上侏罗统砂岩为最重要的含油气储层。为长轴背斜构造被断裂复杂化。

该油田有两个油气层:白垩系和侏罗系。2019年前人已经对侏罗系油气层做了详细的描述。

根据 2011 年白垩系储量报告描述,白垩系油气层与侏罗系被 30~40m 厚的粘土岩层隔开。白垩系地层目前已发现了 Neocomian 阶中的 6 个气藏: K 1nc-A, K 1nc-B, K 1nc-B, K 1nc-Γ, K 1nc-Д1, K 1nc-E。在 Aptian 阶中发现了两个天然气藏: K1a-1、K1a-2。白垩系气藏 1979 年 10 月投入开发,初步确定的气体储量为 12079 百万方,截至 2010 年已采气 4235.3 百万方,剩余 7863.7 百万方,采出程度 35.06%,单井平均产气为 41.2 千方/天;1993 年采气量达到峰值,年产量为 255.2 百万方,占总储量的 2.11%,当年平均产气 120.2 千方/天;1994-1999 年,采气量减少到 79 百万方;1999-2009 年,采气量从 79 万方增长到 167.2 百万方。

近年来新钻井,如 7001 井、7003 井、8237 井均在浅层非目的层钻遇了异常高压气层,但其附近老井表明,当时钻井并没有异常高压气层的存在。因此分析新钻井所钻遇的异常高压气藏为后期形成的次生气藏。为了避免新钻井钻遇异常高压地层出现事故,需要提前精准预测次生气藏的分布,掌握其分布规律及主控因素。“两宽一高”地震勘探技术的应用为解决这一问题提供了基础。

3 地震成像

通过精细的道集处理和偏移成像,使得本次处理的结果保真度高、频带较宽,信噪比适中,波组特征清楚,目的层信息丰富;断点、断裂特征清晰^[3]。与以往地震成果对比,“两宽一高”地震成果目的层保真保幅程度更高,信噪比分辨率满足解释需求、波组特征好、目的层信息丰富,为解释提供真实可靠数据基础,有利于对浅层次生气的识别及解释,其特征清晰、边界明显。“两宽一高”地震资料上还发现浅层次生气藏之下存在很多低频异常强反射,为本区气藏的典型响应,老地震资料成像不明显(见图 1)。通过与井数据对比分析,这些异常反射为井上破裂点,导致了井内气体的泄漏。

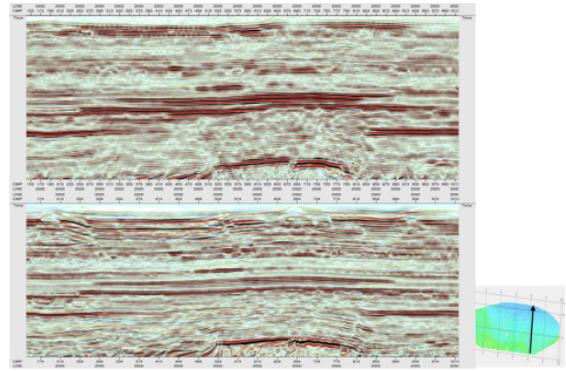


图 1 Inline2100 新老成果剖面对比
(上为两宽一高地震成果;下为以往处理成果)

通过井上对比发现,地震资料中低频强振幅能够很好地反映浅层气藏。利用气藏在地震反射中的这一特性,优选振幅、频率类优势属性,进行气藏的识别。“两宽一高”地震资料所展示气藏范围内低频强振幅特征明显,边界清晰(见图 2)。

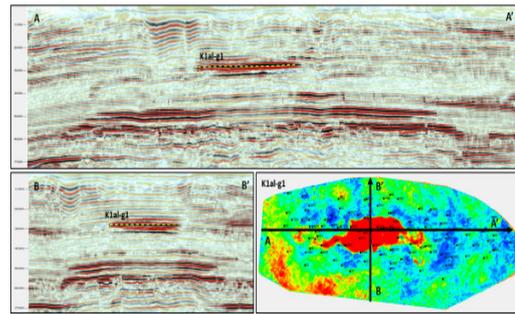


图 2 过 K1a1-g1 浅层次生气藏的十字剖面

图 3 为属性识别的气藏平面结果,平面分布来看,最浅层呈现点状分布,随着埋深变大气藏成片状分布,自浅至深气藏范围越来越大,气藏边界清晰。可以根据此类特征将气藏由深至浅分为三类:剩余主力气藏,次生气藏和零星气藏。次生气藏为主要的引起钻井事故的异常高压带,主要分布在 K1a 顶部和 K1a1 中部地层。K1a 主要分布在构造的高部位,成片状分布,面积 27.44 平方公里, K1a1 高压气藏主要分布在构造高部位,呈片状分布,面积 21.5 平方公里。剩余主力气藏主要分布在已发现的白垩系的 K1a 中下部及 K1nc 地层。

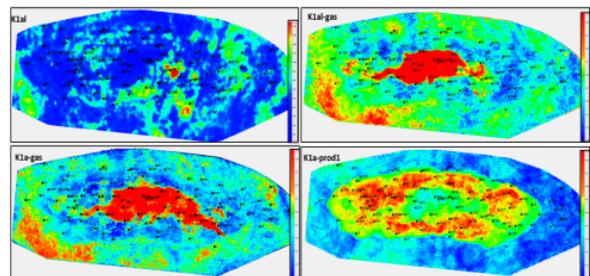


图 3 气藏范围平面预测图

4 断裂刻画

该研究区断层具有不同方向分布的特点。根据“两宽一高”地震数据的分方位特点,可以开展不同方向的断层分析。根据不同方位的数据体,首先提取不同方位的平面属性。本区主要发育北东-南西向断层和东-西向断层。垂直断层走向的方位数据体对断层有较好的识别作用,首先利用150-180度方位数据体进行属性的优选。利用该方位数据体提取600ms的曲率属性,相干属性,边缘检测属性,蚂蚁体属性和智能断层解释属性,对比本工区断层发育的特点,曲率属性和智能断层解释属性能较好地反映该工区的断层发育特征,刻画较其他属性更为清晰,因此主要优选这两个属性对本工区进行断层的研究。利用不同方位的数据体,进行不同方位的属性提取和优选。以曲率属性为例,150°~180°方位和90°~120°方位数据体对断层识别作用较好,能够较好的反映北东-南西向断层和东西向断层,因此利用这两个方位的曲率属性进行融合。同样以这两个方位进行智能断层解释属性的融合。最后将该两种属性进一步优化融合,突出断层响应特征(图4),识别的断裂发育带更加清楚,能够有效指导断层的平面、剖面解释和组合。

断层平面展布规律与区域构造特征一致,主要在侏罗纪和白垩系早期发育近东-西向和北东-南西向断层。可以看到利用“两宽一高”地震资料刻画的剩余主力气藏范围与研究区断层走向近乎一致,推测深大断裂沟通源岩和主力气藏,油气沿断层垂向运移,使得气藏能量有所补充,剩余气聚集。而在浅层K1a顶部和K1al中部地层,断层不发育,次生气藏的油气并非通过断层从深部气源运移上来。

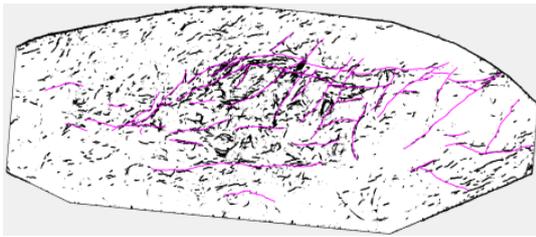


图4 属性融合预测断层平面图

5 裂缝预测

利用“两宽一高”地震资料宽方位的特点,可实现基于OVT域处理后的道集数据进行叠前方位各向异性裂缝预测,保留更精确的全方位与炮检距信息,利用叠前P波信号所携带的与方位相关的各种属性变化特征来预测裂缝,可对OVT道集进行叠前方位各向异性强度研究,达到识别小尺度裂缝的密度及方位的目的^[4,5]。

OVT域裂缝预测理论基础是当地震波从不同方向通过整齐排列的垂直或斜交地面的裂缝时,会产生各向异性,其反射系数、旅行时差都会存在一定变化^[6]。假设裂缝沿同一走向垂直地面展布,地震波通过时,就会产生水平各向异性

(HTI),主要表现为纵波振幅、速度、旅行时差会随着裂缝走向的不同而发生变化,其反射系数不仅与地震波的入射角有关,而且与地震波的传播方位也密切相关。当入射角一定时或在较小范围内变化时,HTI介质的纵波反射系数随方位角变化关系可以拟合为一个椭圆。当地震波平行裂缝传播时,纵波能量衰减小,振幅较强,对应于椭圆的长轴;当地震波垂直裂缝走向传播时,纵波能量衰减大,振幅相对较弱,对应于椭圆的短轴。因此,椭圆的长轴方向平行于裂缝走向,而短轴方向则垂直于裂缝走向。椭圆越扁,代表各向异性越强,裂缝密度就越大^[7,8]。

通过将裂缝预测成果与叠后断层结果对比发现,大部分裂缝主要分布在工区高部位,与曲率属性预测断层发育带一致(图5)。通过将裂缝预测成果与气体泄漏点对比发现,在工区西部和南部裂缝发育带气体泄漏较多。说明裂缝强度较大的地区应力比较集中,容易导致井体破损。

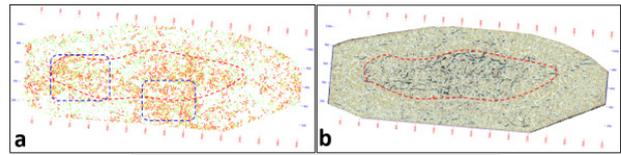


图5 OVT预测裂缝分布综合分析图

6 综合分析

根据以上综合分析认为,次生气藏形成主要是因为位于裂缝发育带,裂缝沟通了主力气藏和浅层地层,剩余主力气藏由于有深大断裂沟通气源,有能量补充,油气以裂缝为路径垂向泄露到浅层储层,形成异常高压气藏,主要分布在浅层K1a顶部和K1al中部。因此断裂和裂缝对研究区次生异常高压气藏形成有着绝对的控制作用。

下一步钻井应参考“两宽一高”地震资料所刻画的主力剩余气藏及次生气藏分布范围,寻找剩余气甜点,并提前做好防喷措施。需参考叠前裂缝预测刻画的裂缝分布范围及强度,避开裂缝集中发育带。

7 结论

①“两宽一高”地震勘探技术能很好地应用于开发中后期老油气田,利用其独有的宽频、宽方位、高密度优势,地震成像分辨率更高,预测剩余油气范围精细可靠。其宽方位特性使得断裂和裂缝精细刻画成为可能。

②“两宽一高”地震勘探技术在K气田的应用,不仅厘清了次生异常高压气藏的形成机制和控制因素,还为下一步本研究区开发井的部署指明了方向。对其他老油气田有一定的借鉴作用。

参考文献

- [1] 凌云研究小组.宽方位角地震勘探应用研究[J].石油地球物理勘探,2003,38(4):350-357.

- [2] 王学军,于宝利,赵小辉,等.油气勘探中“两宽一高”技术问题的探讨与应用[J].中国石油勘探,2015,20(5):41-53.
- [3] 王学军,蔡加铭,魏小东.油气勘探领域地球物理技术现状及其发展趋势[J].中国石油勘探,2014,19(4):30-42.
- [4] 李培明,康南昌,邹雪峰等.“两宽一高”高精度地震勘探关键技术[C].中国地球物理2013第十九分会场论文集,北京:中国地球物理协会,2013:111-118.
- [5] 甘其刚,杨振武,彭大钧.振幅随方位角变化裂缝检测技术及其应用[J].石油物探,2004,43(4):373-376.
- [6] 杜启振,杨慧珠.方位各向异性介质的裂缝预测方法研究[J].中国石油大学学报(自然科学版),2003,27(4):32-36.
- [7] 刘依谋,印兴耀,张三元,等.宽方位地震勘探技术新进展[J].石油地球物理勘探,2014,49(3):596-610.
- [8] 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.