

地震属性在天然气水合物预测中的应用

沙志彬^{1,2}, 梁金强², 郑涛², 陆敬安², 王力峰², 苏丕波²

(1. 中国地质大学 资源学院, 武汉 430074; 2. 广州海洋地质调查局, 广州 510760)

摘要:地震属性是地震资料中可描述的、可量化的特征,它代表了原始地震资料中所包含的总信息的子集。地震属性分析就是将地震数据分解成各种属性。当地层中沉积物的孔隙内充填天然气水合物之后,沉积物的许多物理性质会发生相应的变化,这种变化导致了地震波的运动学和动力学特征发生改变,从而引起其地震属性的变化。针对南海北部陆坡天然气水合物研究区的地震数据提取各类地震属性,包括瞬时振幅、瞬时相位、瞬时频率、相对极性、能量半衰时、AVO1、AVO9 和波阻抗属性。通过分析各种地震属性的响应特征及其与天然气水合物沉积层的关系,建立含天然气水合物地层的地震属性响应识别特征,利用统计学和聚类分析方法,结合地震正演结果对天然气水合物矿层目标进行预测,研究其平面分布规律,从而为天然气水合物钻探井位的确定提供可靠依据。

关键词:天然气水合物;地震属性;预测;应用

中图分类号:P744.4

文献标识码:A

文章编号:0256-1492(2013)05-0185-08

经过多年的勘探及研究,2007 年我国在南海北部神狐海域成功钻获了天然气水合物实物样品,钻探结果显示在 8 口钻井中共有 3 个站位获得了天然气水合物样品,证实了南海北部蕴藏有丰富的天然气水合物资源^[1-4]。

目前,BSR、振幅空白带、速度倒转、极性反转、纵横波速度增加、泊松比降低、纵横波速度比降低等地震异常特征,仍是识别天然气水合物的主要标志。但是,具备上述特征不一定存在水合物,因为地震信息存在多解性^[1,5]。因此,要判断由水合物赋存而形成的 BSR,还存在许多技术问题,需要在实践中不断改进和提高采集、处理和解释技术^[4,6]。

为加强天然气水合物的识别,并且为了能够从多方面、多视角地对水合物可能赋存的地层反射界面特征进行研究,笔者利用 LANDMARK 软件的地震属性提取模块对南海北部陆坡水合物研究区的三维数据体进行了几十种复数道属性处理计算,从而对研究区数据体进行地震属性分析。根据研究区的水合物形成条件、赋存环境和地质背景,通过分析、试验、对比,最后从几何学、运动学、动力学和统计学的几大类地震属性中优选出瞬时振幅、瞬时相位、瞬

时频率、相对极性、能量半衰时、AVO1、AVO9 和波阻抗等属性,认为这些属性较好地反映了研究区的 BSR、天然气水合物成矿带及 BSR 下部的游离气,在水合物及游离气的识别和检测方面有着各自的作用,直观地揭示了水合物的地震综合异常特征,较好地解决了水合物的预测问题。当然,在利用各种地震属性信息检测水合物的过程中,应注意各种地震信息的相互印证,才能更准确地识别水合物并把握其赋存部位^[7-10]。

下面说明各种地震属性在天然气水合物预测中的应用。

1 常规地震属性

我国的天然气水合物资源调查工作已经进行了多年,地震勘探是最有效的勘探方法^[2-3]。BSR 是最常用的天然气水合物识别标志,是天然气水合物和游离气的相边界,在 BSR 处存在地震波速度差,BSR 是天然气水合物和游离气反射的复合结果,其反射幅度对天然气水合物相边界的游离气很敏感^[10-11]。因此常规剖面 BSR 只是指出了在其之上很可能有水合物存在,但对水合物的聚集程度及厚度并没有直接的信息给出。基于这种情况,需要提取地震属性来进一步研究水合物及游离气的特征。

通过分析天然气水合物的地球物理特点,结合实际的地质情况,优选瞬时振幅、瞬时相位、瞬时频率、相对极性和能量半衰时等对水合物及游离气比较敏感的属性,对水合物及其下部游离气的平面分

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(2009CB219502);国家高技术研究发展计划课题(2009AA09A202);中国地质调查局项目(GZH201100303)

作者简介:沙志彬(1972—),男,教授级高工,石油与天然气地质专业,主要从事天然气水合物的属性和成矿预测研究,E-mail:shazb2008@163.com

收稿日期:2012-07-30;改回日期:2012-10-19. 文凤英编辑

布进行识别和预测。

1.1 瞬时振幅剖面

瞬时振幅信息是某一道给定时刻能量的稳定性、平滑性和极性变化的一种度量。它的振幅是反映的振幅包络,它使强反射更强而弱反射更弱,反映了地震波能量的瞬时变化情况。通常含天然气水合物的波阻抗较下伏游离气层波阻抗高,地震剖面上 BSR 表现为强振幅,而在含水合物层内部由于地层密度相对均匀常常表现为弱振幅特征,与常规地震剖面相比,瞬时振幅信息更能突出 BSR 强反射及水合物发育部位的强反射振幅(图 1)。

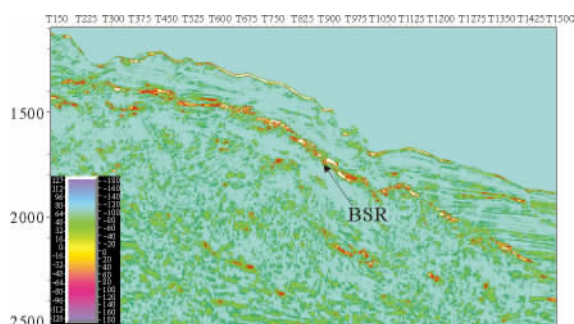


图 1 Line1 测线的瞬时振幅属性剖面

Fig. 1 Instantaneous amplitude profile of Line1

1.2 瞬时相位剖面

瞬时相位剖面是一种不考虑振幅强度的一种相位剖面,反映的是地震剖面上反射同相轴的连续性,即当地震波穿越不同岩性地层时会引起地震波的相位变化,因此,BSR 斜穿地层在瞬时相位剖面上表现较为明显(图 2);BSR 不连续或振幅较弱时,瞬时相位剖面上则可以更加清晰地追踪 BSR,能够提高解释的精度;但当地层与 BSR 面平行或交角较小时,相位剖面的效果不明显。

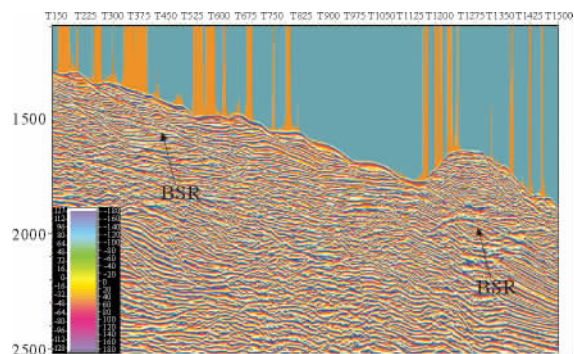


图 2 Line1 测线的瞬时相位属性剖面

Fig. 2 Instantaneous phase profile of Line1

1.3 瞬时频率剖面

瞬时频率是对应于给定时刻信号的复能量密度函数(即功率)的初始瞬间的中心频率(均值)的一种度量。这就意味着零相位地震子波波峰的瞬时频率等于子波振幅谱的平均频率。瞬时频率属性通过反映地震反射波所在时间的即时频率来反映地层的含气性,不同于 AVO 属性通过振幅的变化来反映游离气的存在。地震波穿过含游离气地层时,高频成分被吸收,在瞬时频率剖面上表现为低频特征。由于游离气和水合物常常赋存在一起,当游离气发育到一定的厚度及范围时,由于游离气的存在,造成反射波高频成份大量吸收,围区明显存在低频现象,因此,瞬时频率剖面能清楚地反映游离气富集区分布范围(图 3)。

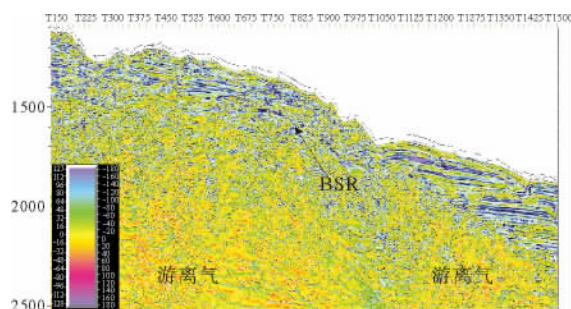


图 3 Line1 测线的瞬时频率属性剖面

Fig. 3 Instantaneous frequency profile of Line1

1.4 相对极性剖面

对地震数据进行相对极性地震属性提取,该属性对 BSR、振幅空白和游离气的指示也比较敏感,可以给出比较直观的感觉(图 4),为天然气水合物解释的可靠性提供了进一步的证据。相对极性剖面上,清晰地显示了 BSR 与海底极性相反,剖面上红白色相间部分就是水合物富集地层。

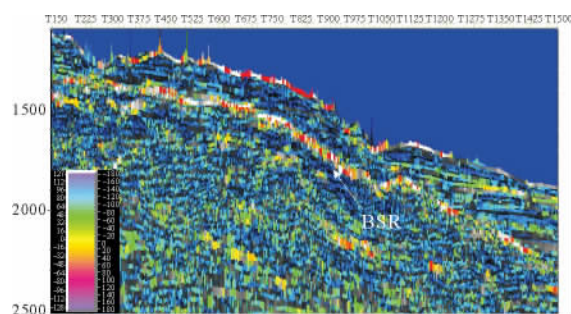


图 4 Line1 测线的相对极性属性剖面

Fig. 4 Relative polarity profile of Line1

1.5 能量半衰时剖面

对地震数据进行能量半衰时地震属性提取,这些属性对 BSR、振幅空白和游离气的指示亦比较敏感,从而可以给出比较直观的感觉(图 5),为水合物解释的可靠性提供进一步的证据。能量半衰时剖面上,亦清楚地显示了 BSR 下游离气对地震波能量的衰减,剖面上黄色部分就是水合物富集地层。

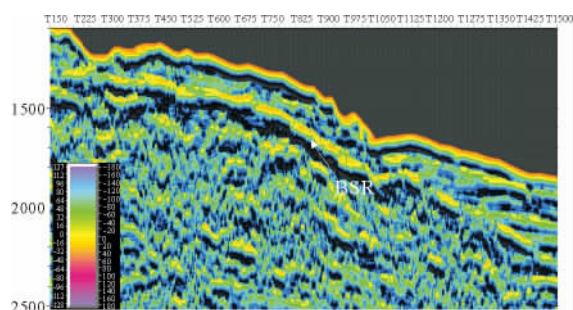


图 5 Line1 测线的能量半衰时属性剖面
Fig. 5 Energy half period profile of Line1

从以上分析可以看出,瞬时振幅、瞬时频率、瞬时相位、相对极性和能量半衰时剖面可以很好地识别出天然气水合物的赋存特征,包括振幅空白带、BSR 下游离气的分布、倾斜地层中 BSR 的穿层现象,为减少地质解释的多解性提供了可参考的依据。但需指出的是,瞬时振幅、瞬时频率、瞬时相位(简称“三瞬”)剖面都要求地震数据做到相对保幅处理,减少动校正拉伸时水平叠加而引起的高频信息的损失,保证“三瞬”信息的准确性和可靠性,以利于做出精确的地质解释^[5,10]。

2 AVO 属性

AVO(Amplitude Versus Offset)是一种振幅随偏移距变化特征分析和识别岩性及油气藏的地震勘探技术^[11-12]。它的分析方法是在叠前对地震反射振幅随炮检距变化特征进行分析,借此对岩石中孔隙流体性质和岩性做出推断。天然气水合物主要是由甲烷分子和水分子组成,大量烃类气体的存在是水合物形成的先决条件之一,因此,水合物的 AVO 检测重点体现在烃类的显示上。

通过分析天然气水合物的地球物理特点,结合实际的地质情况,对研究区地震数据进行 AVO 反演处理,经试验筛选、对比,认为 AVO1(截距剖面)和 AVO9(流体因子剖面)两种属性对天然气水合物

及游离气比较敏感,它们反映了成矿带内水合物的富集程度、分布状态^[7,13-14],因此重点对这两种 AVO 属性剖面进行解释。

2.1 AVO1(Intercept)属性剖面

该剖面在物理上相当于零偏移距 P 波反射剖面。它的反射特点与常规地震资料处理的 CDP 叠加剖面相似而又有区别。当入射波垂直入射到界面时, $R \approx R_0$, I 反映了垂直入射时 P 波反射系数的近似值。这种剖面没有转换波,只有反射纵波。因此,由 I 值构成的剖面叫 P 波剖面。与常规的叠加剖面相比,P 波剖面更接近于零炮检距剖面,反映地震波在垂直入射时的振幅叠加。 I 值大表明上下层 P 波速度差值大,反之则小,故可以利用该剖面识别 BSR。

从 AVO1 剖面可以看出,其分辨率更高,信噪比也有一定程度提高,BSR 特征更加清晰,在 AVO1 剖面上可以更加明显地看出 BSR 与海底极性反转,该强同相轴近似平行海底,且切割正常地层反射的同相轴,是明显的 BSR 特征(图 6)。

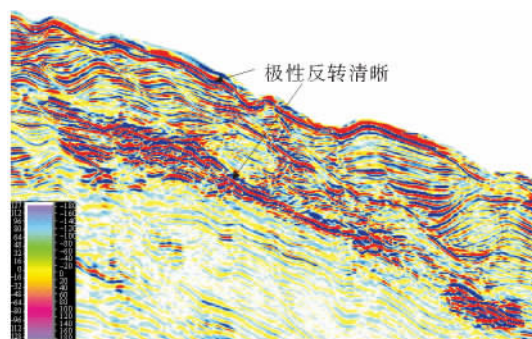


图 6 Line1 测线的 AVO1 属性剖面
Fig. 6 AVO1(Intercept) profile of Line1

2.2 AVO9(Fluid Factor)属性剖面

计算 AVO9(流体因子剖面)的方法有很多,本文采用的流体因子算法为:

$$\Delta F = \frac{\Delta V_p}{V_p} - b \frac{V_s}{V_p} \frac{\Delta V_s}{V_s}$$

式中 V_p 是纵波速度, V_s 是横波速度^[3,5]。由于纵波速度随流体而变化,横波速度不随流体而变化,所以该属性反映储层及流体的不同状况,对流体的变化反应很敏感,可以检测含气地层纵波层速度的降低^[25]。对于含气地层,其顶部流体因子应为负值,流体因子剖面能较好地反映气层的位置,游离气发育层表现为强振幅,相应的水合物发育区为弱振幅反射。在地震解释中,可以主要利用该剖面来检测水合物和游离气(图 7)。

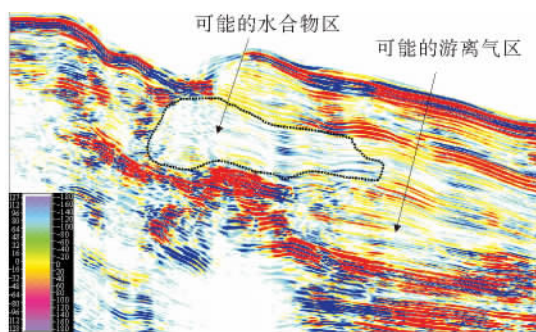


图7 Line1 的 AVO9 属性剖面

Fig. 7 AVO9(fluid factor)profile of Line1

经过以上的分析可以得出结论,AVO 技术是在无井、未开发阶段直接寻找天然气水合物与游离气的重要烃类检测手段,其中 AVO1 和 AVO9 对水合物与游离气较为敏感:

AVO1:相当于反射系数,判定 BSR 界面、解释水合物和游离气。

AVO9:相当于流体因子,能清楚判定水合物和游离气。

应用上述手段,可以提高水合物识别的可信度,特别是在 BSR 特征不明显的环境下,显得尤为重要。

3 波阻抗属性

目前国内外运用的波阻抗反演方法主要有两种,一种是稀疏脉冲反演,另一种是模型约束反演。由于研究区测井资料少,资料多数为地震数据的现状,结合区域地质背景和水合物矿体的特殊特性,在处理中采取稀疏脉冲波阻抗反演方法进行反演^[1,8,15-16]。反演结果分析表明,该方法由于受伪井数据的影响小,主要依赖地震数据,结果具有较高的横向和垂向分辨率。

(1)波阻抗剖面上所表现的阻抗值是相对的,海底界面表现为强反射,高阻抗;BSR 之上的弱反射表明水合物与围岩之间的波阻抗差值小;无反射表明水合物越纯、越富集(图 8)。

(2)水合物的底界面 BSR 界面反射能量强,而其顶界面模糊不清,一般认为无法分辨。也有人认为海底就是其顶界面。通过反演表明,波阻抗剖面能清楚地指出水合物的顶界面。

(3)阻抗特征能清楚地反映 BSR 强界面特征,定性和半定量地反映天然气水合物和游离气的特征。BSR 面以上为阻抗异常区,成团状、楔形状或分段性

分布,为天然气水合物的分布区;BSR 面以下为游离气的分布区,比较分散,阻抗与周围阻抗异常。

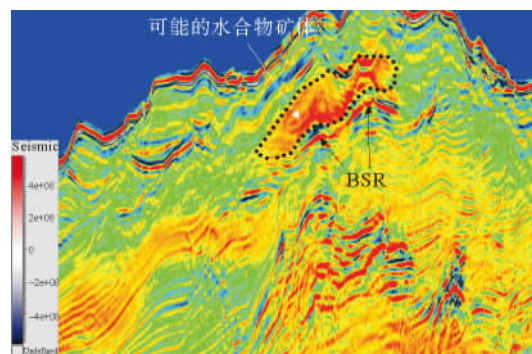


图8 Line1 测线的波阻抗属性剖面

Fig. 8 Wave impedance profile of Line1

波阻抗属性剖面上能更好地凸现含水合物地层高波阻抗特征和下部含游离气层低阻抗特征,较直观地展示水合物的空间展布形态(图 8),对水合物的预测具有较好的应用效果,得到的结果亦比较符合地质实际情况^[1,17-19]。

4 沿 BSR 层属性提取分析

根据水合物的分布特点以及本区实际的地质情况,沿 BSR 所在层位来提取研究区数据的地震属性(图 9)。属性平面图能够更加准确地将天然气水合物的分布范围进行圈定,使勘查工作更具有针对性,特别是利用多种属性的对比分析,将水合物所具有的地球物理特征进行多角度、直观地展示^[19-20]。通过综合分析认为,研究区含水合物岩层的敏感属性呈现出中强振幅、中低频、中强吸收和中强能量的异常特征,通过属性分析,可以宏观分析研究区水合物的展布特征,为进一步勘探提供地球物理依据。

从图 9h 可以看出波阻抗值的分布特点:高值波阻抗分布主要集中在研究区西北部 and 东南部,阈值都是在 $4e+06 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{m/s}$ 以上,可以认为是水合物发育的区域^[1,15,21]。通过以上分析,认为该反演数据体波阻抗高低分异明显,地质现象比较清楚,能较准确地反映地下地质情况,可根据此属性对水合物成矿带进行标定及识别追踪,一并结合地质、测井等其他资料研究水合物的空间分布特征及展布规律,进行储层分析和综合研究。

5 天然气水合物地震异常综合分析

基于天然气水合物的性质及成矿的特殊性,如

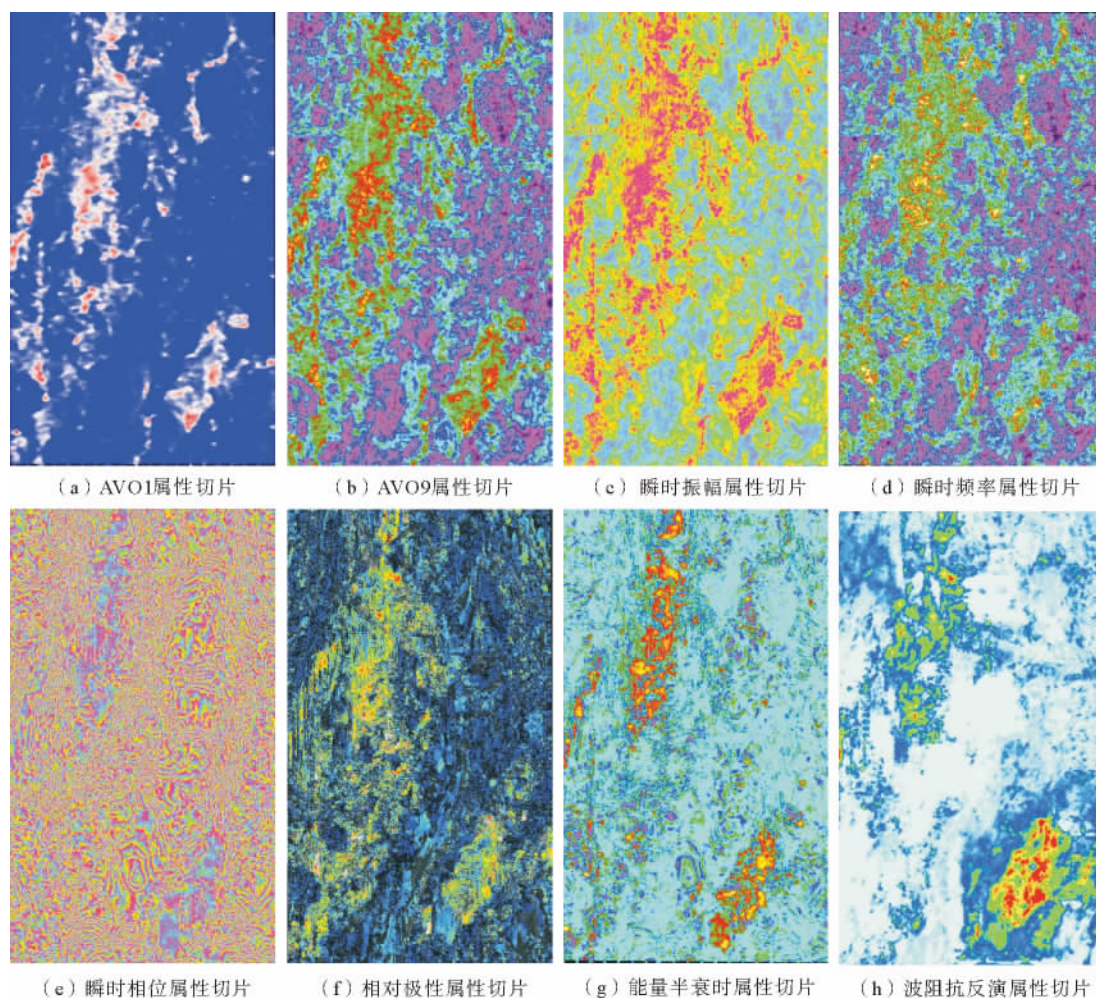


图 9 研究区三维数据体沿 BSR 层的各种属性切片

Fig. 9 The slices of seismic attributes along the BSR from the 3D-data in the study area

果地层中存在水合物,其各种地震属性剖面上必然会产生相关特征的反应,成为水合物重要的识别标志^[22-24]。通过分析水合物的地球物理特点,结合实际的地质情况,优选了瞬时振幅、瞬时相位、瞬时频率、相对极性、能量半衰时、AVO1、AVO9 和波阻抗这些属性,对水合物进行检测分析,从而达到识别和预测水合物的目的^[1,7,14,25]。通过解释研究区的各种地震属性剖面,认为优选出来的这些属性剖面,对水合物的检测比较敏感,能够代表研究区的水合物地震属性异常特征,并划分出 I 类和 II 类地震属性异常特征,分别用于检测游离气、BSR 和水合物成矿带。

5.1 I 类属性异常特征

I 类属性异常特征由瞬时频率、能量半衰时和 AVO9 属性特征构成,由于这类属性对游离气比较敏感,故利用其来检测 BSR 下部的游离气,并将该类属性异常作为 I 类属性异常(图 10a)。

瞬时频率、能量半衰时和 AVO9 属性能够反映岩性的信息,又可以反映流体的信息,因此对 BSR、流体性质、游离气比较敏感。频率信息与地层、沉积、岩性、流体有关;高频信息的强吸收与气藏富存相关,BSR 之下的高频强吸收预示游离气的存在,故在瞬时频率、能量半衰时和 AVO9 属性剖面上能够圈出游离气的大致分布范围。最后把以上各种剖面解释结果叠合,圈出研究区的 I 类属性异常区(图 10a)。

I 类属性异常区的主要特征如下:在瞬时频率剖面上,显示游离气存在而形成的高频强吸收现象;能量半衰时剖面上,亦清楚指示了 BSR 之下游离气对地震波能量的衰减,剖面上黄色部分就是水合物富集地层;AVO9 剖面上较清楚地反映了游离气富集区范围。总体特征是高频强烈吸收现象明显,估计游离气丰度较高,为水合物的形成提供了充足的气源保证。

5.2 II 类属性异常特征

II 类属性异常特征由瞬时振幅、瞬时相位、相对极性、AVO1、波阻抗等属性特征构成,由于这类属性对 BSR 和水合物成矿带响应比较敏感,能够比较清楚地指示水合物的赋存部位,故利用其来检测 BSR 和水合物成矿带,并将该类属性异常作为 II 类属性异常(图 10b)。

在常规剖面上,当 BSR 产状与地层产状成角度斜交时,BSR 反射比较容易识别;当 BSR 产状与地层产状平行时,则不易判断。应用瞬时振幅、瞬时相位、相对极性、AVO1 和波阻抗这些属性剖面反复对比解释后,BSR 的识别变得比较容易,而且基本能确定水合物成矿带的顶面,从而推测水合物的赋存状况。最后把以上各种剖面解释结果叠合,圈出研究区的 II 类属性异常区(图 10b)。

II 类属性异常区主要特征:瞬时振幅地震剖面上 BSR 表现为强振幅;BSR 斜穿地层时在瞬时相位剖面表现较为明显;相对极性剖面上,清楚指示了 BSR 与海底极性相反,剖面上红白色相间部分就是水合物富集地层;AVO1 剖面上 BSR 与海底极性相反明显;波阻抗剖面上弱波阻抗(相对低速)与强波阻抗(相对高速)的转换面为 BSR 的发育位置。研究区总体特征为中—强 BSR 反射,强振幅中—高连续,波形极性反转较明显;BSR 上方表现为弱反射或空白反射,空白带发育情况良好;估计水合物分布均匀,含量较高,是水合物富集的稳定区。

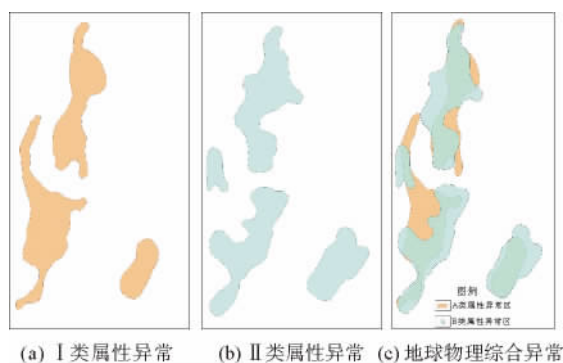


图 10 研究区的各种异常特征

Fig. 10 Characteristics of seismic attributes in the study area

当然,由于地震属性存在多解性,剖面分辨率也不够高,所以各种属性剖面的应用不是绝对的;在解释中应综合考虑其地震属性异常特征,取其交集,排除利用单一地震属性解释水合物时的多解性问

题,提高水合物解释的精度;同时结合实际情况组合使用,要应用各种剖面的信息来相互验证水合物成矿带和游离气的特征,经综合判断才能确定水合物和游离气存在的可靠性。最后,根据 BSR 区块分布、I 和 II 类属性异常区范围,得到研究区的地球物理综合异常图(图 10c),为钻探目标的确定及水合物远景评价提供依据,并为水合物勘探中的井位优选提供保障。

6 结论

基于天然气水合物的性质及成矿的特殊性,通过分析水合物的地球物理特点,结合实际的地质情况,认为地层中如果存在水合物,其各种地震属性剖面上必然会产生相关特征的反映,成为识别水合物的重要标志。通过对南海北部陆坡天然气水合物研究区地震数据的各类地震属性进行提取,经综合分析得出如下认识:

(1)瞬时振幅、瞬时相位、瞬时频率、相对极性、能量半衰时、AVO1、AVO9 和波阻抗等属性,能够相对水合物和游离气进行检测分析,并能够应用于天然气水合物的预测中。

(2)综合分析各种地震属性剖面,得到研究区水合物的地震属性异常特征,并相应划分出 I 类和 II 类地震属性异常特征;I 类属性异常特征由瞬时频率、能量半衰时和 AVO9 属性特征构成,这类属性对游离气比较敏感,利用其来检测 BSR 下部的游离气,并将该类属性异常作为 I 类属性异常;II 类属性异常特征由瞬时振幅、瞬时相位、相对极性、AVO1、波阻抗等属性特征构成,这类属性对 BSR 和水合物成矿带响应比较敏感,利用其来检测 BSR 和水合物成矿带,并将该类属性异常作为 II 类属性异常。

(3)根据 BSR 区块分布、I 类和 II 类属性异常区范围,研究其平面分布规律,得到研究区的地球物理综合异常特征,从而为天然气水合物钻探井位的确定提供可靠依据。

(4)由于地震属性存在多解性,所以各种属性剖面的应用不是绝对的;在解释中应综合考虑其地震属性异常特征,取其交集,排除利用单一地震属性解释水合物时的多解性问题,提高水合物解释的精度;同时结合实际情况组合使用,要应用各种剖面的信息来相互验证水合物成矿带和游离气的特征,经综合判断才能确定水合物和游离气存在的可靠性。

参考文献(References)

- [1] 沙志彬, 郑涛, 杨木壮, 等. 基于波阻抗反演的天然气水合物地震检测技术[J]. 现代地质, 2010, 24(3): 495-500. [SHA Zhibin, ZHENG Tao, YANG Muzhuang, et al. The seismic detecting technique on gas hydrates based on wave impedance inversion[J]. Geoscience, 2010, 24(3): 495-500.]
- [2] 金庆焕. 海底矿产[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001: 74-100. [JIN Qinghuan. Gas Hydrate: A New Future Energy[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2001: 74-100.]
- [3] 张光学, 黄永样, 陈邦彦, 等. 海域天然气水合物地震学[M]. 北京: 海洋出版社, 2003: 92-103. [ZHANG Guangxue, HUANG Yongyang, CHEN Bangyan, et al. Seismology of Ocean Gas Hydrate: [M]. Beijing: Ocean Press, 2003: 92-103.]
- [4] 黄永样, 张光学. 我国海域天然气水合物地质—地球物理特征及前景[M]. 地质出版社, 2009: 78-93. [HUANG Yongyang, ZHANG Guangxue. Geology and Geophysical Signature and Foreground of Gas Hydrate in the Ocean of PRC[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009: 78-93.]
- [5] 李正文, 赵志超. 地震勘探资料解释[M]. 北京: 地质出版社, 1988: 35-49. [LI Zhengwen, ZHAO Zhichao. Interpretation of Seismic Exploration Data[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988: 35-49.]
- [6] 沙志彬, 梁金强, 杨木壮, 等. 天然气水合物成矿带的识别技术研究[J]. 现代地质, 2008, 22(3): 438-446. [SHA Zhibin, LIANG Jinqiang, YANG Muzhuang et al. Study on recognizing technology of gas hydrates zone[J]. Geoscience, 2008, 22(3): 438-446.]
- [7] 沙志彬, 龚跃华, 梁金强. 地震属性剖面在天然气水合物识别中的应用[J]. 南海地质研究, 2006: 105-113. [SHA Zhibin, GONG Yuehua, LIANG Jinqiang. How to judge gas hydrates seismic character from the different kinds of attribute profile [J]. Geological Research of South China Sea, 2006: 105-113.]
- [8] 宋海斌, 张岭, 江为为, 等. 海洋天然气水合物的地球物理研究(Ⅲ): 似海底反射[J]. 地球物理学进展, 2003, 18(2): 182-187. [SONG Haibin, ZHANG Ling, JIANG Weiwei, et al. Geophysical researches on marine gas hydrates (III): Bottom simulating reflecting[J]. Progress in Geophysics, 2003, 18(2): 182-187.]
- [9] 刘学伟, 李敏锋, 张聿文, 等. 天然气水合物地震响应研究——中国南海 HD152 测线应用实例[J]. 现代地质, 2005, 19(1): 33-38. [LIU Xuewei, LI Minfeng, ZHANG Liwen, et al. Studies of seismic characteristics about gas hydrates: A case study of line HD152[J]. Geoscience, 2005, 19(1): 33-38.]
- [10] 马在田, 耿建华, 董良国, 等. 海洋天然气水合物的地震识别方法研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2002, 22(1): 1-8. [MA Zaitian, GENG Jianhua, DONG Lianguo, et al. Seismic recognition studies on marine gas hydrate[J]. Marine Geology and Quaternary geology, 2002, 22(1): 1-8.]
- [11] Katzman-Rafael, Holbrook-W-Steven, Paull-Charles-K. 1994. Combined vertical-incidence and wide-angle seismic study of a gas hydrate zone, Blake Ridge[J]. Journal of Geophysical Research, B, Solid Earth and Planets, 1999, 9: 17975-17995.
- [12] Zelt C A, Smith R B. Seismic travel time inversion for 2D crustal velocity structure[J]. Geophys. J. Int., 1992, 108: 16-34.
- [13] 孙春岩, 章明显, 牛滨华, 等. 天然气水合物地震空白带现象正演模型研究[J]. 地学前缘, 2003, 10(1): 199-204. [SUN Chunyan, ZHANG Mingxian, NIU Binhua, et al. Modeling of seismic blanking zone for gas hydrate[J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(1): 199-204.]
- [14] 张光学. 海底气体水合物 BSR 的 AVO 模拟[J]. 海洋地质, 2001, 2: 54-60. [ZHANG Guangxue. Amplitude versus offset modeling of the bottom simulating reflection associated with submarine gas hydrates[J]. Marine Geology, 1997, 137(1): 25-40.]
- [15] Hyndman R D, Spence G D. A seismic study of methane hydrate marine bottom simulating reflectors[J]. Journal of Geophysical Research, 1992, 97(B5): 6683-6698.
- [16] Miller J J, Myung W L, von Huene R. An analysis of a reflection from the base of a gas hydrate zone of Peru[J]. Am. Assoc. Pet. Geol. Bull., 1991, 75: 910-924.
- [17] Ecker C, Dvorkin J, Nur A M, Estimating the amount of gas hydrate and free gas from marine seismic data[J]. Geophysics, 2000, 65: 565-573.
- [18] Lee M W. Seismic character of gas hydrates on the southeastern U. S. continental margin[J]. Marine Geophysical Researches, 1993, 16: 163-184.
- [19] Shiply T H, Seismic evidence for widespread possible gas hydrate horizons on continental slopes and rises[J]. A. A. P. G. Bulletin, 1979, 63(12): 2204-2213.
- [20] Singh Satish C, Minshall Timothy A. Velocity structure of a gas hydrate reflector at ocean drilling program site 889 from a global seismic waveform inversion[J]. Journal of Geophysical Research, B, Solid Earth and Planets. 1994, 99: 221-233.
- [21] Ewing J I, Hollister C H. Regional aspects of deep sea drilling in the western North Atlantic [C] // Initial Reports of Deep Sea Drilling Project. Washington: Government Printing Office, 1972, 11: 951-971.
- [22] Tucholke B E, Bryan G M, Ewing J I. Gas-hydrate horizons detected in seismic-profile data from the western North Atlantic Hollister C H. Regional aspects of deep sea drilling in the western North Atlantic [J]. Am. Assoc. Pet. Geol. Bull., 1977, 61: 698-707.
- [23] Andreassen-K, Hart-P-E, Grantz-A. Seismic studies of a bottom simulating reflection related to gas hydrate beneath the continental margin of the Beaufort Sea[J]. Journal of Geophysical Research, B, Solid Earth and Planets, 1995, 100(7): 659-673.
- [24] Tinivella U, Accaino F, Della Vedova B. Gas hydrates and active mud volcanism on the South Shetland continental margin, Antarctic Peninsula [J]. Geo-Mar Lett, 2008, 28: 97-106.
- [25] KP Schnurle, C-S Liu, T-H Hsuan, et al. Characteristics of gas hydrate and free gas offshore southwestern Taiwan from a combined MCS/OBS data analysis [J]. Marine Geophysical Researches, 2004, 25: 157-180.

THE APPLICATION OF SEISMIC ATTRIBUTES TO THE PREDICTION OF GAS HYDRATES

SHA Zhibin^{1,2}, LIANG Jinqiang², ZHENG Tao², LU Jingan², WANG Lifeng², SU Pibo²

(1. Faculty of Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510760, China)

Abstract: The seismic attributes, either describable or quantifiable, are regarded as the useful information derived from the original seismic data. The goal of seismic attribute analysis is to extract various characteristics from the seismic data for further study. The interstitial pores filled with gas hydrates may cause the change in physical attributes, making them completely different from those without gas hydrate fillings. Those changes would influence the condition of the seismic wave kinematics and dynamics, and further give rise to the variation in seismic attributes. In this article, we make use of the seismic data from the Northern Slope of South China Sea to extract the various seismic attributes for gas hydrate study, which include instantaneous amplitude, instantaneous phase, instantaneous frequency, relative polarity, energy half period, AVO1, AVO9 and wave impedance. Through establishing the relationship between the seismic responses and gas hydrate bearing sediments, we set up a model for recognizing the seismic attributes of gas hydrate-bearing sediments. In addition, by applying the means of statistics and cluster analysis with the results of seismic deduction, we try to carry out gas hydrate reservoirs forecasting, to reveal the planar distribution pattern of gas hydrate, and at last to provide reliable guidelines for appropriate borehole positioning.

Key words: gas hydrates; seismic attributes; prediction; application;