

doi:10.11720/wtyht.2014.6.10

张旭东.琼东南海域天然气水合物地震反射特征[J].物探与化探,2014,38(6):1152-1158.http://doi.org/10.11720/wtyht.2014.6.10

Zhang X D.The seismic reflection characteristics of gas hydrate in southeast Hainan sea area of the South China Sea[J].Geophysical and Geochemical Exploration,2014,38(6):1152-1158.http://doi.org/10.11720/wtyht.2014.6.10

琼东南海域天然气水合物地震反射特征

张 旭 东^{1,2}

(1.广州海洋地质调查局,广东 广州 510760;2.广州海洋地质调查局 国土资源部海底矿产资源重点实验室,广东 广州 510075)

摘要:天然气水合物是一种新能源,目前,世界上许多国家都在进行天然气水合物研究。琼东南盆地是天然气水合物可能赋存的重点目标区,笔者针对琼东南海域二维地震资料进行以突出含天然气水合物地层地震反射特征为目的的处理,进一步识别含天然气水合物地层地震反射特征与分布。通过应用地震资料保幅处理技术,对该海域含天然气水合物地层地震反射特征,如似海底反射(BSR)、BSR 强反射界面之上的高速异常带、BSR 附近的振幅空白带、BSR 的极性反转等,有了更多的认识,对开展全区含 BSR 特征研究有借鉴意义。

关键词:琼东南海域;天然气水合物;似海底反射(BSR);保幅处理

中图分类号: P631.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2014)06-1152-07

水合物被普遍认为将是 21 世纪最具潜力的,接替煤炭、石油和天然气的新型洁净能源之一,同时,也是目前尚未开发的储量巨大的一种新能源。对于我国这样一个能源相对短缺的国家,通过实施水合物资源勘查工作,尽早开发利用水合物是解决我国能源供给不足问题的有效途径。目前,通过南海北部陆坡水合物调查已经确定了重点目标,并钻取了

水合物样品,而南海西部陆坡水合物调查工作开展仍然较少。近几年来,海上采用高分辨率地震调查手段,发现琼东南海域含天然气水合物地层的地震反射特征为该区天然气水合物的评价提供了可靠的定性依据^[1]。但是,由于多次波、气泡效应等在形态上与似海底反射(BSR)都有相似之处,如图 1 所示,反射 A 为气泡效应引起的假 BSR 现象,反射 B

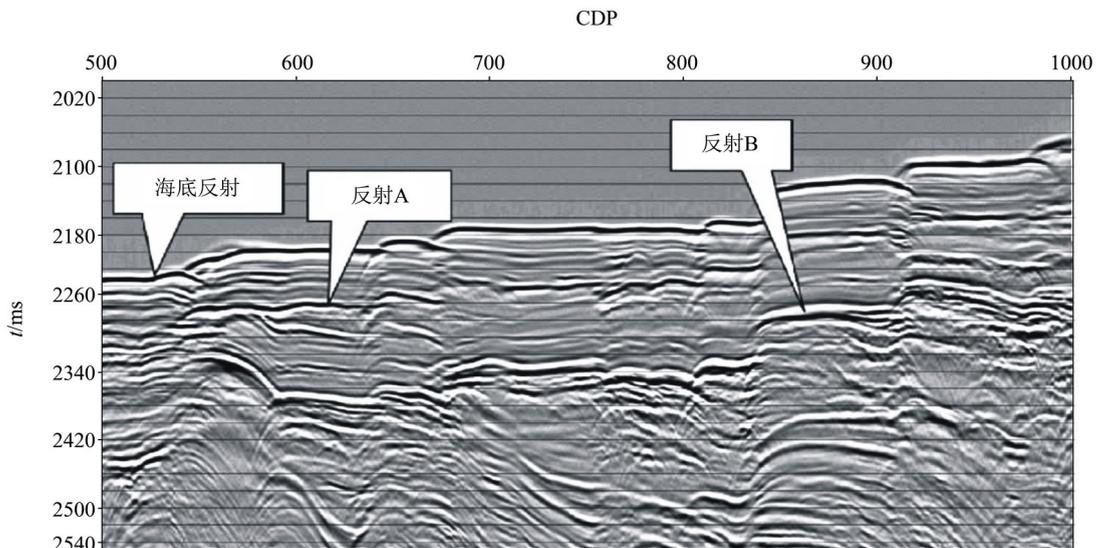


图 1 地震剖面上的真假 BSR 现象(据文献[2])

为真实的 BSR,因此在分析地震剖面时要结合多种地震参数来准确识别。

琼东南调查区位于我国南海北部陆坡的西南端,区域上覆盖琼东南盆地南部、西沙海槽盆地西部以及中建南盆地北部的广阔海域。上述盆地均是在加里东、燕山期褶皱基底上形成的新生代含油气盆地。新生界沉积地层厚,古近系煤系地层普遍处于异常高压和高温,具有形成热成因天然气的地质条件;新近系上新统和全新统海相泥岩具备生物气形成的条件,盆地丰富的热成因和生物成因天然气资源为天然气水合物形成提供了充足的物质基础。

1 地震反射特征概述

由于海洋沉积物中天然气水合物的存在受控于

一定的温压条件,所以在上部海水和地层压力近似的情况下,天然气水合物存在于沉积物中的深度下限主要取决于地温梯度。而海底沉积物中一定范围内存在相似的正地温梯度,这就使得天然气水合物的稳定存在区域只能位于海底表层的沉积物中。由于天然气水合物可以吸附碎屑颗粒,从而降低了沉积物的孔隙度,使得含天然气水合物沉积的声速大于含水或含气的声速^[3],这样在天然气水合物的底界面上会产生一种与海底反射波相位相反的反射波,其形态与海底反射波特征相似,称其为似海底反射(BSR)。图2是本区典型的一条具有BSR反射特征的剖面。BSR反射特征的存在和可识别性是寻找天然气水合物的前提条件。

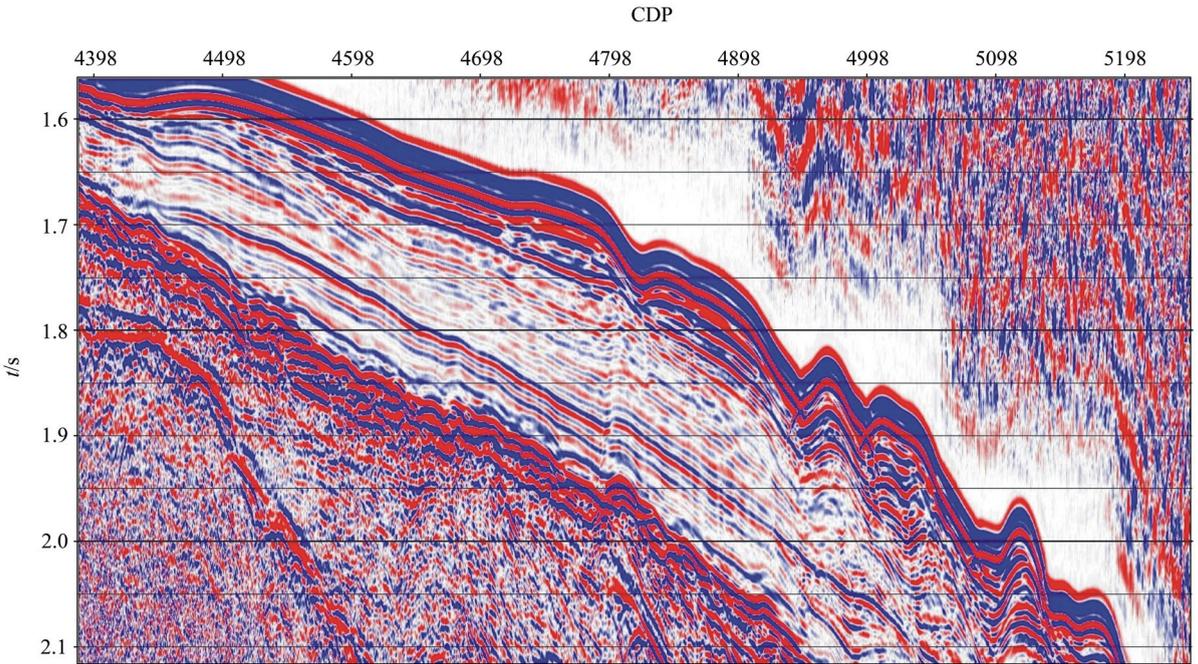


图2 琼东南海域典型含BSR地震剖面

根据前人研究成果,BSR通常有如下可识别特征:①与海底近似平行,或与海底反射层相交;②相交于海底具有高振幅和极性反转的特征,具有从高速层到低速层的界面反射标志;③其上常出现反射空白带(地震振幅相对较弱区域);④常分布于海底地形高处之下或出现于陆坡上。

2 地震资料处理关键技术

针对天然气水合物的存储条件以及天然气水合物存在BSR、振幅异常、速度异常等地震特征,把地震资料处理目标定位在海底面以下1000ms左右的地层。地震资料目标处理的基本思路是以高分辨率、高保真度和高信噪比为重点,以突出含天然气水

合物地层地震反射特征为目的,依据天然气水合物的子波极性、速度、频率、振幅等特征,采取针对性的保幅去噪、子波整形、多次波压制、高精度速度分析等处理手段来实现。

2.1 保幅去噪处理技术

保幅处理是天然气水合物地震数据处理的核心,即处理结果具有保持含天然气水合物地层振幅弱、BSR振幅强的特征^[4-5]。尽管球面扩散补偿在实际处理过程中不是很精确,但由于天然气水合物大多埋深较浅,因此,球面扩散补偿在处理中可以基本恢复地震波能量的损失。噪声压制是保幅处理的另一关键,不同的压噪方法对数据振幅影响很大。本区背景噪声复杂,针对不同的噪声,如涌浪噪声、

外源干扰等,分别采取以保幅为前提的高通滤波、两步法组合去噪等方法去除。图3以外源干扰为例说明保幅去噪方法。两步法组合去噪的第一步是去除

外源干扰双曲线型高频、强能量部分,第二步是衰减线性的剩余噪声。从图3(右)减去的噪声中可以看出,基本不存在有效波信息,处理结果保真保幅。

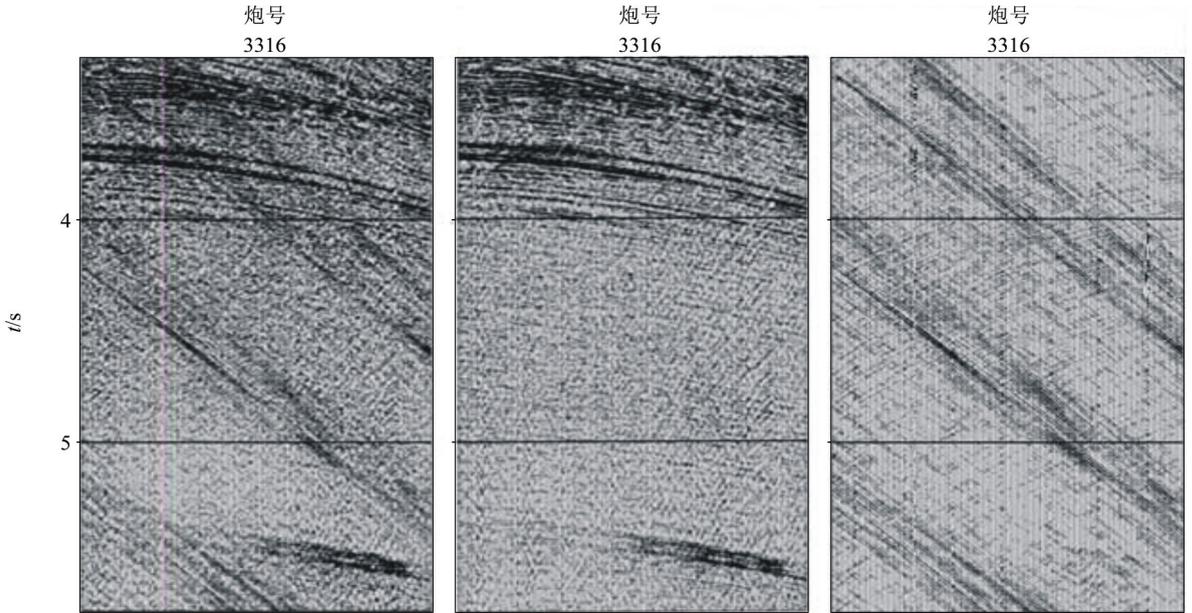


图3 去外源干扰前(左)、后(中)及差异(右)炮集记录

2.2 反褶积处理技术

通过对以往资料的研究知道,BSR 通常被认为介于上部含水合物地层和下部不含水合物地层之间非常明显的过渡带^[6-7]。BSR 反射波的波形极性与海底反射波正好相反,是由于含气层横向过渡为含水岩石或不含水岩石,引起反射界面反射系数发生正负改变而引起的反射波极性反转。在含天然气水合物地震数据处理中,反褶积的目的主要是压缩子波,消除资料中的气泡效应和部分多次波,提高地震资料的分辨率,有利于 BSR 的识别。其重要性体现在两个方面:①海洋地震数据中的气泡效应(即经

过海水传播的反射波与海底反射波混杂在一起导致子波旁瓣能量强且多)容易误导对 BSR 的识别;②反褶积处理使 BSR 反极性特征更加清晰。

笔者采用 τ - p 域预测反褶积方法,在处理中首先进行子波整形,先计算一个零相位化算子,将此算子应用到数据中,使混合相位子波波形接近零相位,然后压缩子波及部分短周期多次波(由于研究区水深变化大,浅水处存在大量海底短周期多次波)。图4为子波整形前后的比较,可以看出,气泡效应和部分多次波被压制,分辨率提高。

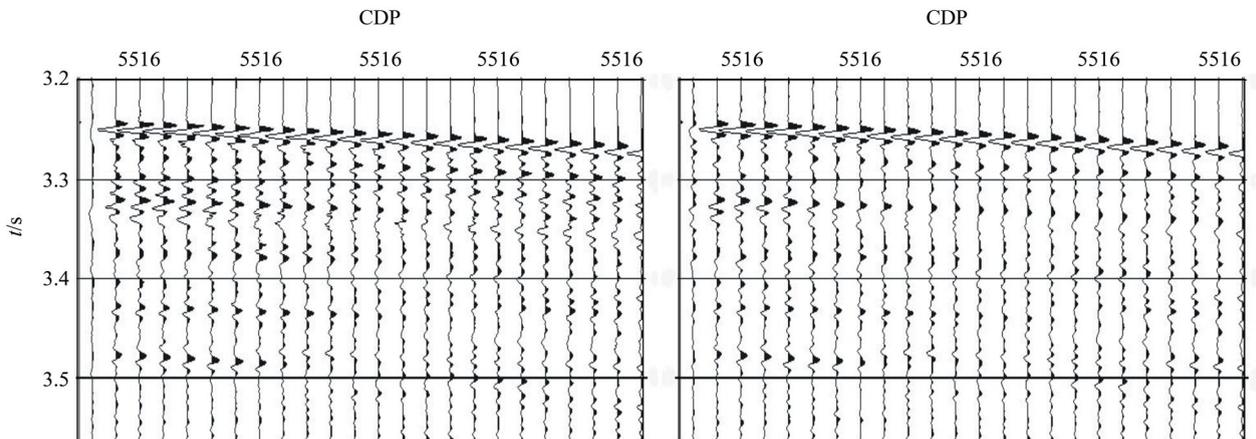


图4 反褶积前(左)后(右)道集

2.3 多次波压制方法

研究区位于南海北部陆坡深水区,水深变化范围约为 200~3 000 m,因此,海底多次波相当发育,严重影响信噪比。在处理中采取了多步串联方法压制多次波。首先,用自由表面相关多次波压制方法消除近偏移距多次波。该方法的主要特点是利用数据本身预测多次波,即为数据驱动的,它不需要预设地下介质的任何信息,但是该方法对中、远偏移距的多次波压制效果有限。然后,针对低于有效波速度

的多次波,用高精度拉东变换方法去除其时差较大的中、远偏移距多次波;最后,采用分频方法压制,针对剩余的由崎岖地层造成的绕射多次波,其同相轴的能量分布不规则,在速度谱上的表现没有规律性,其形态也不符合多次波的规律,且具有频率较高、振幅较强的特点,通过把各种方法串联应用,在不损失有效反射信息的情况下,最大限度地压制原始记录中的多次波,提高目的层的信噪比,如图 5 所示。

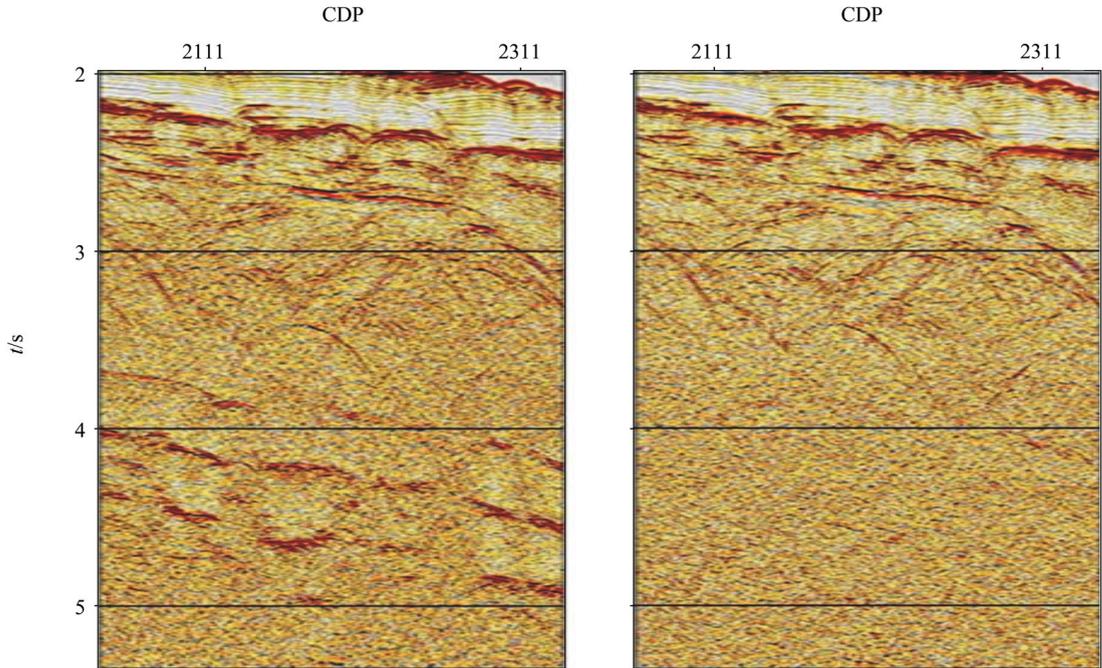


图 5 去多次波前(左)后(右)的叠加剖面

2.4 准确速度场建立

精细的速度分析可以分辨较小的速度差异,有利于识别含水合物层与下伏地层的速度反转关系。如图 6 所示。海底为 2.65 s,在 3.05 s 附近的同相轴子波极性与海底相反,从相应的速度谱能量团上可以看出,3.1~3.2 s 附近出现速度反转现象,层速度从 1 530 m/s 下降到了 1 518 m/s,具备了 BSR 反极性和速度反转两个特征。

针对本区地震资料特点,首先在压制多次之后的叠前时间偏移道集上,采用高密度双谱速度分析方法^[8-9],即:把非双曲线时差参数化,利用零偏移距走时和最大偏移距剩余时差来描述各向异性时移校正,在一定约束条件下自动拾取,得到精度较高的均方根速度场,结合层位信息,获得准确的层速度场。该方法在获得准确速度场的同时,还考虑了地下介质各向异性的特点,远偏移距道集同相轴能够校平,在一定程度上提高信噪比和分辨率,提高了复

杂地质构造的成像精度。

3 地震反射特征认识

通过琼东南海域二维地震资料的处理研究,认为:有效的子波整形处理有利于对 BSR 的波形极性识别;多次波的压制对于识别目的层、突出有效反射效果显著;精细速度分析有利于识别水合物层与下伏地层的速度反转关系。采用保幅去噪处理、子波整形处理、多次波压制、准确速度场建立等技术手段,建立了一套流程,获得了一套行之有效的含天然气水合物地层的处理技术思路。经过保幅处理后的地震数据保持了含水合物层底界上、下反射波的相对振幅关系,并对地震波在传播过程中的振幅损失进行了补偿,有利于识别水合物层的弱振幅区及 BSR 强振幅特征。图 7、图 8 给出了含 BSR 反射信息。

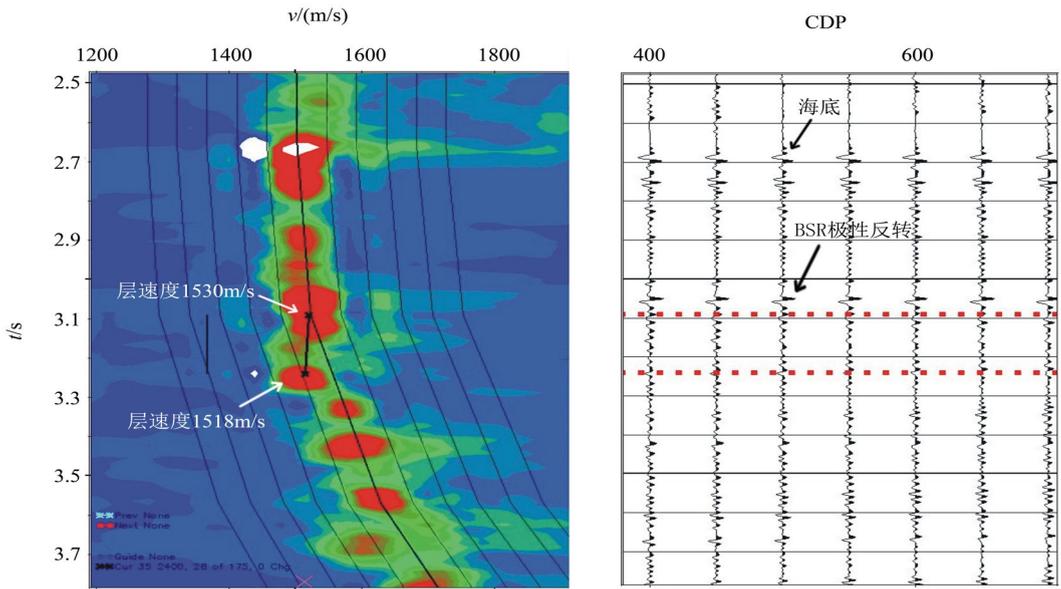


图6 琼东南海域测线A速度谱局部

从图7上看,在BSR位置(距海底大约260 ms)上方附近,是一段近似平行于海底的相对高速层,其上、下都是相对的低速层。高速层的速度大约在2 000~2 300 m/s,粗略估算厚度约在10~15 m(相当于13~20 ms的双程反射时间),其上的低速层的速度大约在1 600~1 800 m/s,而下面的低速层的速度大约在1 500~1 900 m/s,有比较明显的游离气存在特征。对其高速特征、BSR特征、振幅弱(空白带)特征进行分析,认为BSR上部的相对高速层极

有可能是水合物成矿带。

从图8上可以看到,在距海底约250 ms的位置明显显示出近似平行于海底分布的相对高速层,速度大约在2 300 m/s,粗略估算厚度约在8~25 m(相当于10~33 ms的双程反射时间),而其上、下层速度大约在2 200 m/s,没有明显的游离气存在特征。高速层位置与地震反射剖面上BSR位置十分吻合,根据其相对高速的层速度特征和BSR位置分析,可认为相对高速层与天然气水合物的存在有关。

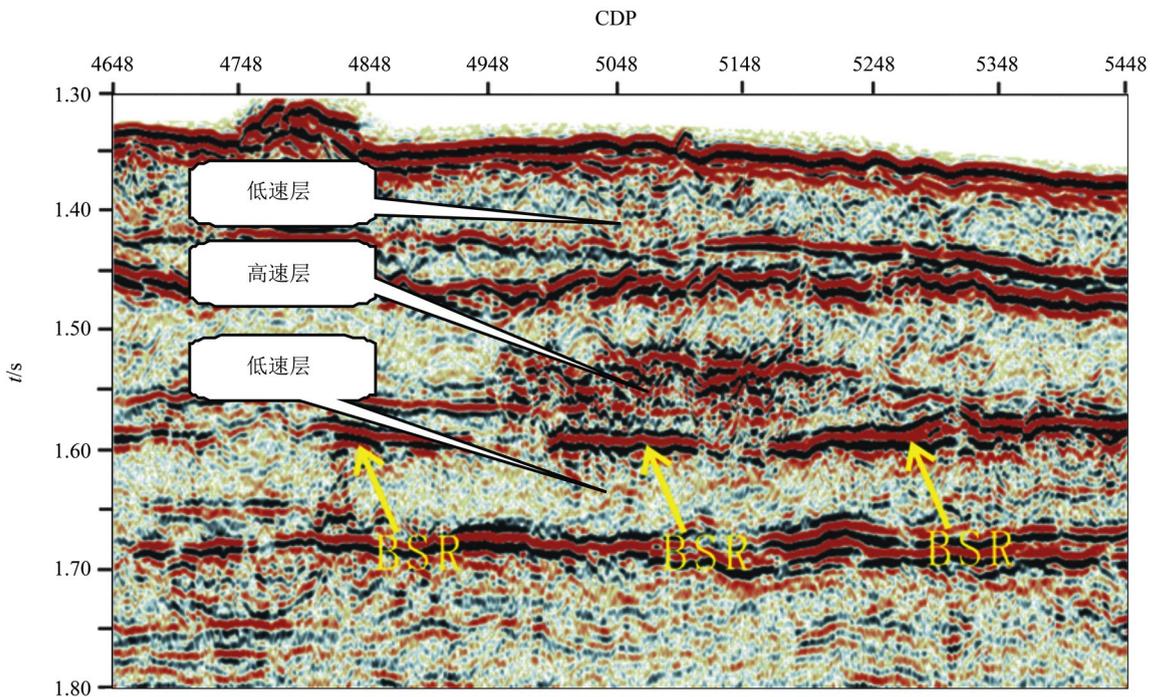


图7 琼东南海域测线A地震剖面

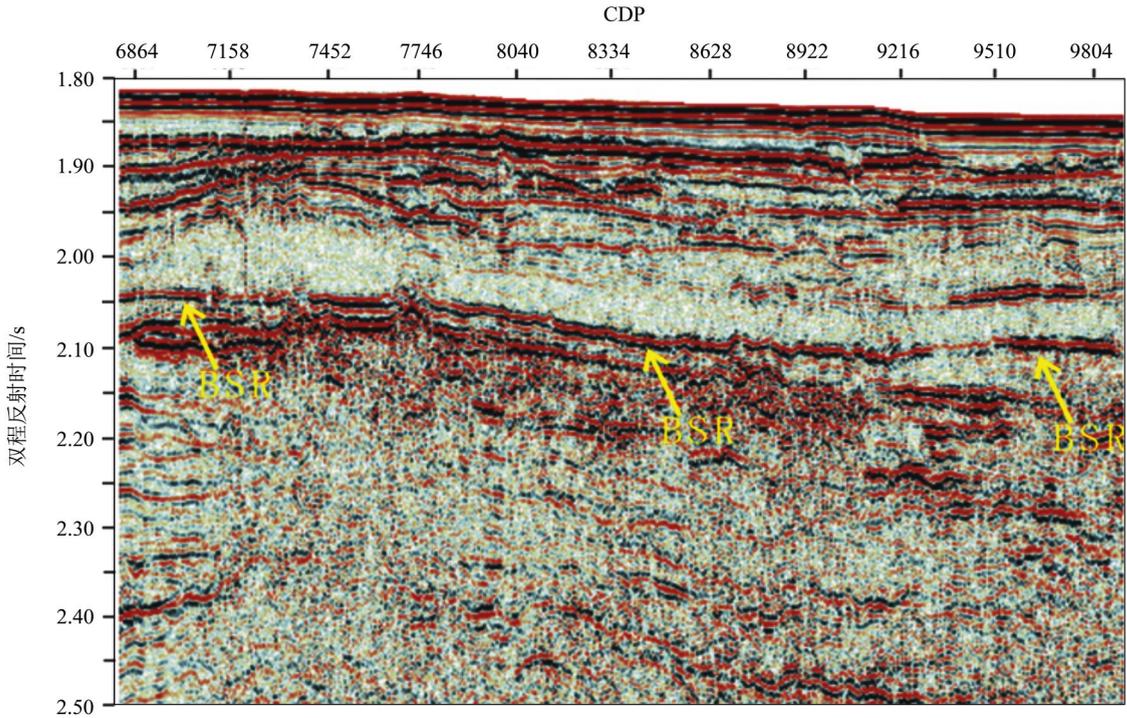


图8 琼东南海域测线B地震剖面

4 认识与结论

对琼东南海域地震资料作精细目标处理,有利于对BSR特征的识别。

(1) 琼东南海域由于中、浅部地层产状大多与海底平行,因此,BSR基本没有与地层反射波斜交现象,仅在少数几条剖面上局部BSR与地层斜交。

(2) 琼东南海域BSR的振幅和连续性变化较大,没有明显规律性,但以强或中强振幅为主,只有联络线局部表现为弱振幅,反映了BSR上下地层波阻抗差较大,表明BSR上部沉积层中的水合物丰度较高或BSR下部有较丰富的游离气^[10-18]。同时,在BSR之上几乎都有较明显的振幅空白带出现,说明沉积物中水合物(或游离气)丰度较高,横向分布稳定。

(3) 大多数极性反转的BSR波形都表现为强振幅、单波峰波形,在BSR分布的剖面上基本上都可以发现对应于BSR反射波极性反转现象。

由此推断,具备上述地震反射特征就可能富集天然气水合物,所以,琼东南海域是天然气水合物赋存的有利海域。但是仅依靠地震反射特征作为识别天然气水合物的主要方法也存在不足之处,因为含天然气水合物地层地震反射特征的出现与天然气水合物的存在并非一一对应,如多次波、气泡效应等现象也会出现类似BSR的地震反射特征,给天然气水合物识别造成一定困难。因此,准确预测天然气水

合物的分布范围和储量估计,还需结合钻探、测井、电磁、地球化学等其他相关方法技术。

参考文献:

- [1] 徐华宁,梁蓓雯,张光学,等.南海北部陆坡天然气水合物地震识别研究[J].天然气工业,2006,26(9):49-51.
- [2] 岳振欢,童思友,吴志强,等.地震多参数约束下的真假BSR识别[J].海洋地质前沿,2012,28(12):60-66.
- [3] 刘怀山,周正云.用于研究东海天然气水合物的地震资料处理方法[J].青岛海洋大学学报:自然科学版,2002,32(3):441-448.
- [4] 符溪,杨木壮,文鹏飞,等.南海天然气水合物地震资料处理及其特征[J].地质科技情报,2001,20(4):33-40.
- [5] 王影,龚定康.东海冲绳海槽天然气水合物地震资料处理方法研究[J].海洋石油,2007,3(1):14-18.
- [6] 钱建中,曾久岭.地震剖面上的天然气水合物识别方法[J].海洋石油,2002,(3):54-59.
- [7] 张光学,黄永祥,陆邦彦.海域天然气水合物地震学[M].北京:海洋出版社,2003:238-239.
- [8] 徐翠娥,郝小红,王影.密度双谱分析法在各向异性介质速度分析中的初步应用[J].海洋石油,2008,28(1):1-5.
- [9] 庄祖垠,麻志国,王志亮,等.高密度各向异性速度分析及应用[J].工程地球物理学报,2013,10(1):51-56.
- [10] 许红,刘守全,王建桥,等.国际天然气水合物调查研究现状及其主要技术构成[J].中国地质,2001,28(3):1-4.
- [11] Shiply T H, Houston M H, Buffer R T, et al. Seismic evidence for widespread possible gas hydrate horizons on continental slopes and rises[J]. AAPG Bulletin, 1979, 63(12): 2204-2213.
- [12] Holbrook W S, Hoskins H, Wood W T, et al. Methane hydrate and free gas on the Blake ridge from vertical seismic profiling[J].

- Science, 1996, 273: 1840–1843.
- [13] Rempel A W, Buffett B A. Formation and accumulation of gas hydrate in porous media[J]. Journal of Geophysical Research, 1997, 102(B5): 10151–10164.
- [14] Singh S, Minshull T A, Spence G. Velocity structure of a gas hydrate reflector[J]. Science, 1993, 260: 204–207.
- [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] 吴志强. 地震反射技术在水合物调查评价中的应用前景及设想[J]. 海洋地质动态, 2001, 17(7): 30–33.
- [17] 甘华阳, 王家生, 陈建文, 等. 海底天然气水合物储集层饱和度的估算方法[J]. 物探与化探, 2005, 29(3): 189–193.
- [18] 王祝文, 李舟波, 刘菁华. 天然气水合物评价的测井相应特征[J]. 物探与化探, 2003, 27(1): 13–17.

The seismic reflection characteristics of gas hydrate in southeast Hainan sea area of the South China Sea

ZHANG Xu-Dong^{1,2}

(1. Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510760, China; 2. MLR Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510075, China)

Abstract: Gas hydrate is a new energy, and many countries in the world are doing research on gas hydrate. Southeast Hainan is the most important objective place on the northern slope of the South China Sea. Therefore, the research on two-dimensional seismic data in Southeast Hainan for seismic reflection characteristics of gas hydrate formation is helpful for further clarifying the relationship between distribution of gas hydrate and seismic reflection characteristics. The authors have obtained more knowledge on seismic reflection characteristics of gas hydrates in Southeast Hainan, such as bottom simulating reflector (BSR), BSR strong reflectors above the speed anomaly, BSR near amplitude blanking, BSR polarity reversal. The results achieved by the authors are of important significance for the study of BSR-containing characteristics of the whole study area.

Key words: southeast Hainan; gas hydrate; bottom simulating reflector (BSR); amplitude-protecting processing

作者简介: 张旭东(1980-),男,2008年获成都理工大学应用地球物理专业硕士学位,现于广州海洋地质调查局任工程师,主要从事地震资料处理及反演研究工作。