

# 南中国海存在天然气水合物的地球物理证据

徐华宁<sup>1</sup>, 郑晓东<sup>2,3</sup>, 张光学<sup>1</sup>

(1. 广州海洋地质调查局, 广州 510760; 2. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 3. 中国地质大学, 北京 100083)

**摘要:**以多道高分辨率地震数据为基础,分析了天然气水合物地震识别的关键技术,即地震成像与地震反演。地震成像结果显示南中国海可能具有含天然气水合物地层的地震反射特征,包括似海底反射(BSR)、振幅空白带、BSR与沉积地层斜交等天然气水合物存在的标志性特征,是南中国海域存在天然气水合物的定性地球物理证据;而地震反演结果则揭示该研究区存在地层速度结构异常,是南中国海存在天然气水合物的定量地球物理证据。

**关键词:**南中国海; 天然气水合物; 似海底反射; 地震成像; 地震反演

**中图分类号:** P631.443

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-7849(2006)02-0060-04

识别天然气水合物最为经济、有效的方法是地震勘探技术,该技术通常利用似海底反射、振幅空白带、极性反转等地震反射特征来定性预测天然气水合物的存在。钻探结果表明,地震反射特征与天然气水合物的存在一定的相关性,但并非一一对应,因此,仅利用地震反射特征来预测天然气水合物的存在是不够的。地质研究成果也<sup>[1]</sup>表明,南中国海是天然气水合物分布的有利区域,但是,目前尚未得到直接的证据。因此笔者将以南中国海东沙海域高分辨率二维地震数据为例,从地震成像、叠前反演和叠后反演3个方面来获取关于南中国海存在天然气水合物的定性和定量的地球物理证据,并利用反演的地层声波速度特征来预测南中国海天然气水合物在地层中赋存的特征。

## 1 含天然气水合物地层的地震反射特征

天然气水合物是由碳氢化合物(主要为甲烷)与水在低温高压条件下形成的固体,主要分布在海洋大陆斜坡和永久冻土带的地层中。当沉积地层含天然气水合物时,在地震反射剖面上通常会出现一个大致与海底平行的强反射面,称为似海底反射(bottom simulating reflector,简称BSR),它是一个温度和压力界面,代表天然气水合物稳定带的底界<sup>[2]</sup>。当沉积地层与海底不平行时,BSR通常会横穿正常沉积地层,BSR及其与地层斜交的特点是定性识别天然气水合物存在的典型地震反射标志性特征之

一。通常,在天然气水合物赋存的海洋大陆斜坡深度范围内,地层多未固结,具有较高的孔隙度,地震速度较低,密度相对较大。纯天然气水合物具有较高的纵波速度,约为 $3.3 \sim 3.8 \text{ km/s}$ <sup>[3]</sup>,而密度相对较小。天然气水合物的存在导致地层声波速度出现异常现象,使似海底反射层表现为一个与海底极性相反的界面。根据BSR的成因,天然气水合物可以成为良好的盖层,在合适的构造沉积背景下,BSR之下可能存在大量的游离气,因此,按天然气水合物和天然气的赋存方式可以划分出游离气带速度模型和天然气水合物楔状速度模型2种<sup>[4]</sup>(图1)。前者的BSR是由含天然气水合物沉积物与含游离气沉积物分界引起的,常在地震剖面上出现“亮点”,形成反射振幅随偏移距离变化(amplitude versus offset,简称AVO)的异常现象,受游离气影响明显;后者的BSR是由含天然气水合物沉积物与一般沉积物的分界引起的,受天然气水合物影响明显。

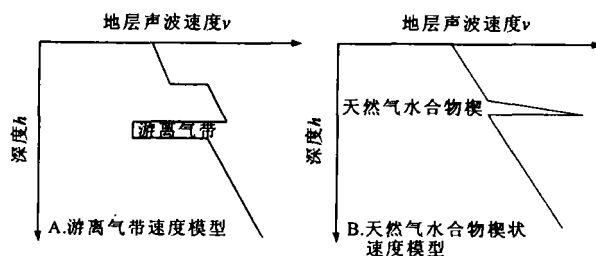


图1 速度模型

Fig. 1 Velocity model

收稿日期: 2005-08-10

编辑: 杨勇

作者简介: 徐华宁(1973—),男,高级工程师,主要从事天然气水合物多道地震成像和反演研究工作。

2 天然气水合物地震识别技术

在天然气水合物的地震识别处理中,笔者从地震成像、地震反演和地震属性 3 个方面来研究天然气水合物的识别方法。地震成像处理的目标是突出天然气水合物的地震反射特征,包括保幅去噪、反褶积和叠前偏移 3 个环节。考虑到 BSR 可能存在横穿正常沉积地层的现象,通过信号增强来压制干扰的方法可能会导致某些反射信息失真或丢失,因此,采用常规的球面扩散和吸收衰减补偿,恢复地震波能量的损失,采用叠前去噪处理压制随机、大值脉冲等干扰;为有效补偿波在传播过程中的频率损失,提高分辨率,选择反褶积处理方法主要考虑 2 个因素:

压制气泡效应; 突出 BSR 的反极性特征。为了减少 BSR 与地层斜交对地震成像的影响,采用叠前时间偏移,特别是偏移速度的精细分析,使地震成像更为精确,从而突出了 BSR 与地层的接触关系。

地震反演采用叠前反演和叠后反演 2 种方法。叠前反演是利用 AVO 特征,从常规叠前地震资料中直接反演 AVO 属性和岩性属性<sup>[5-6]</sup>,定性和半定量预测天然气水合物的特征。常见的 AVO 属性包括截距剖面( $P$ 剖面)和梯度剖面( $G$ 剖面)以及由此衍生的各种烃类指示因子( $P \cdot G$ );岩性属性包括地层的密度、纵波速度属性、横波速度属性、纵波和横波的零偏移距地震反射剖面。叠后反演是通过虚拟井约束地层低频速度,从叠后地震资料中直接反演地层的波阻抗,定量描述天然气水合物的分布特征。在波阻抗反演中,用零偏移距地震反射剖面代替叠加剖面,从而保证了地震反射振幅信息真正符合垂直入射条件。

3 地球物理特征

图 2 是南中国海东沙海域一条经叠前时间偏移处理后的零偏移距地震反射剖面。在该剖面上明显可见 BSR 的强振幅特征,BSR 形态与海底大致平行且与正常沉积地层斜交,BSR 之上表现为弱反射振幅现象,具有典型的含天然气水合物地层的反射特征。此外,在典型的 BSR 下方还可看到一个弱的 BSR,可能是早期 BSR 留下的痕迹。图 3 为烃类指示因子剖面( $P \cdot G$ 剖面),BSR 表现为一个明显的 AVO 异常,在零偏移距地震反射剖面上(图 2)BSR 呈“亮点”特征,这意味着 BSR 符合第三类气层的 AVO 响应特征<sup>[7]</sup>,表明 BSR 之下存在游离气。图 4 是由叠前纵波地震资料反演的纵、横波速度变化量剖面,两者存在明显差异,BSR 为一个速度异常变化界面,其上均表现为大的速度差异,形成强的地震响应,但是,在 BSR 之下,纵波速度属性剖面成像差,横波速度属性剖面成像好,这一现象也定性表明 BSR 之下存在游离气。通常可用地震反演方法来定量预测天然气水合物及其在地层中的赋存模式。图 5 是反演的纵波速度剖面,在 BSR 上方地层中存在明显的高速异常带,厚度在 45 ~ 105 m 之间变化(双程反射时间约为 50 ~ 100 ms),定量指示天然气水合物的分布;而在 BSR 下方则存在低速现象,表明在 BSR 之下存在大量游离气,特别是在 BSR 之下的 CDP 道号 13 400 ~ 13 550 之间存在一个低速异常带,说明这个区域的天然气还在不断地聚集。从局部放大显示的地震道和反演的速度曲线(图 6)可以看出,BSR 对应一明显的速度分界面,其上下地层速度差异大,最大达到 450 m/s,BSR 下方存在

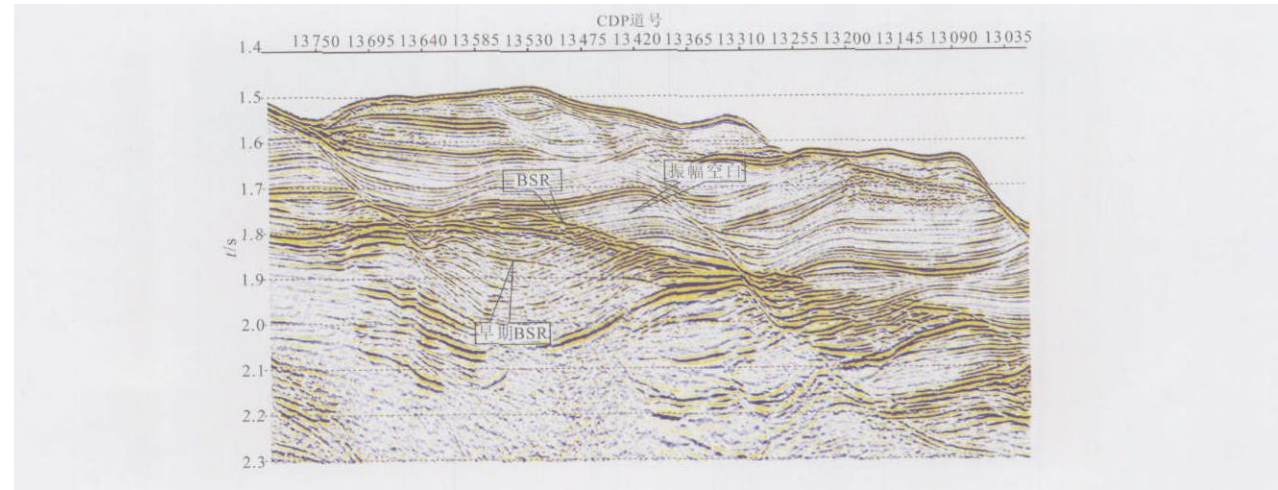


图 2 南中国海的零偏移距地震反射剖面  
Fig.2 Zero-offset profile of South China Sea



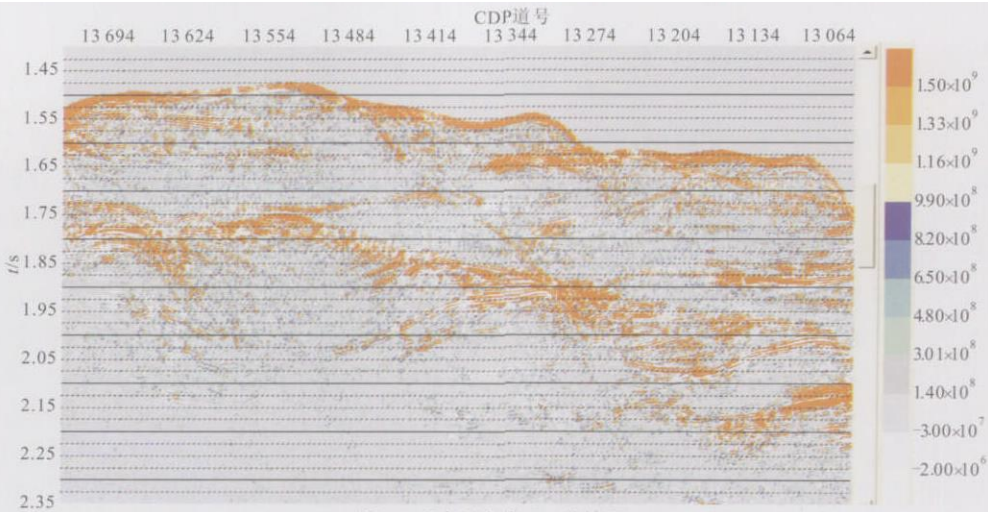


图 3 南中国海的 P·G 剖面  
Fig. 3 P·G profile of South China Sea

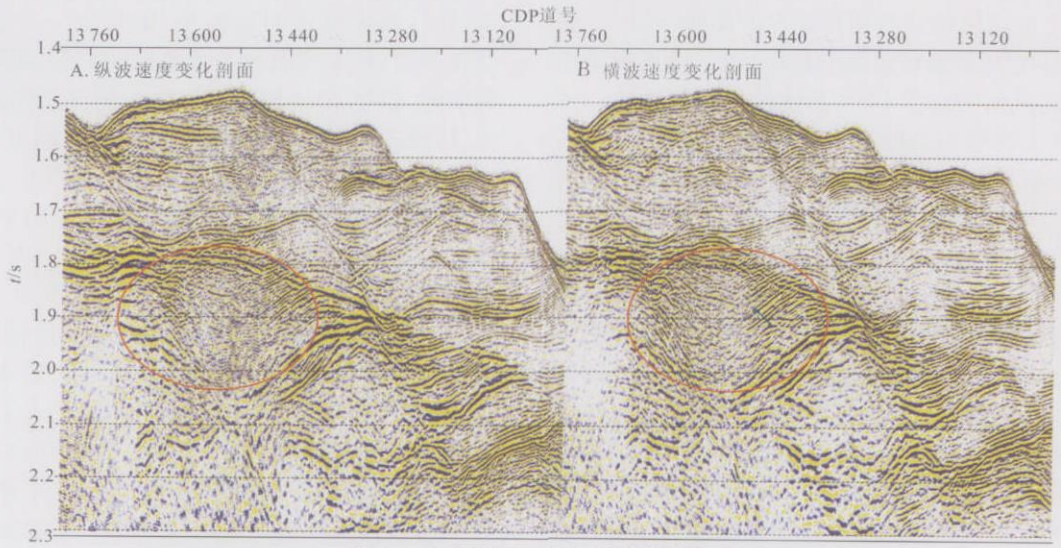


图 4 南中国海的纵、横波速度变化剖面  
Fig. 4 Velocity variation section of South China Sea

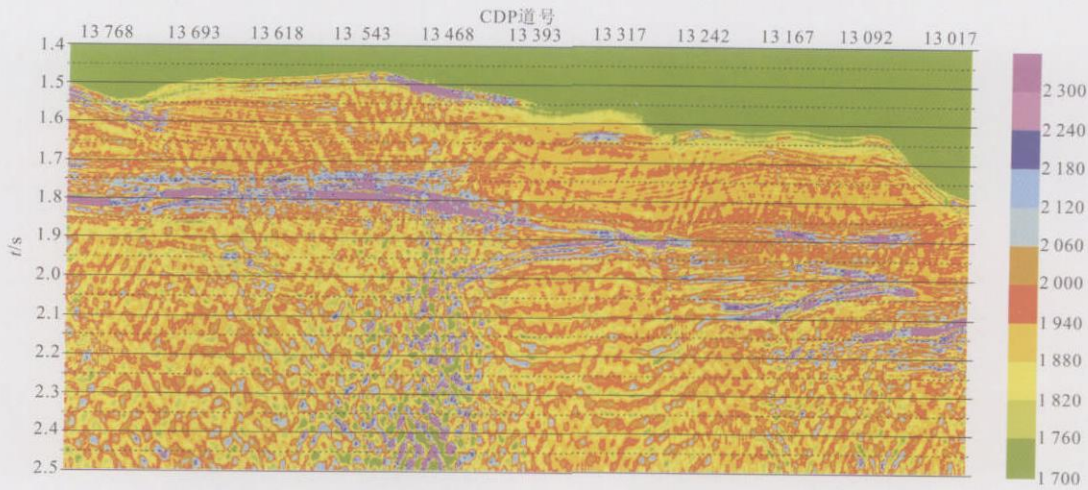


图 5 南中国海反演的速度场  
Fig. 5 Velocity field of inversion of South China Sea

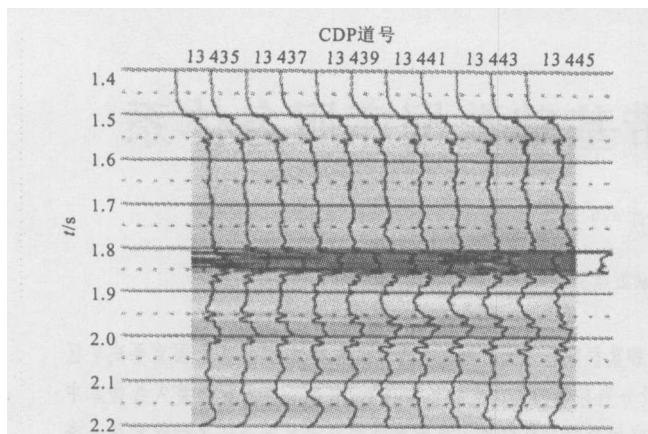


图6 南中国海局部放大的、反演的速度场曲线

Fig. 6 Enlargement of velocity field of South China Sea

明显低速异常;而紧邻海底的高速异常则是由于薄碳酸盐壳所致(2004年德国“太阳号”船的海底取样已经证实了这一点)。从构造形态和沉积背景(图1)看,与BSR对应的天然气水合物底界面形成良好的盖层,因此,南中国海的天然气水合物具有游离气带速度模型特征。

## 4 结 语

采用地震成像、叠前反演和叠后反演的研究方

法,可达到从定性到定量识别天然气水合物的目的。地震成像处理结果表明南中国海具有典型的含天然气水合物地层的地震反射特征;AVO属性反演和叠前岩性属性反演定性证明南中国海存在天然气水合物以及BSR之下存在游离气;而波阻抗反演则定量证明南中国海存在天然气水合物以及BSR之下存在游离气。

## 参考文献:

- [1] 张光学,黄永样,陈邦彦. 海域天然气水合物地震学[M]. 北京:海洋出版社,2003.
- [2] 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: 1 840 - 1 843.
- [3] Stoll R D, Bryan C M. Physical Properties of Sediments Containing Gas Hydrate[J]. *J. Geophys. Res.*, 1979, 84: 1 629 - 1 634.
- [4] Katzman R, Holbrook W S, Paul C K. Combined Vertical-Incidence and Wide-Angle Seismic Study of a Gas Hydrate Zone, Blake Ridge[J]. *J. Geophys. Res.*, 1994, 99: 17 975 - 17 995.
- [5] 郑晓东. Zoeppritz方程的近似及其应用[J]. 石油地球物理勘探, 1991, 26: 781 - 797.
- [6] 郑晓东. AVO理论和方法的一些新进展[J]. 石油地球物理勘探, 1992, 27: 305 - 317.
- [7] Rutherford S R, Williams R H. Amplitude Versus Offset Variations in Gas Sands: Geophysics[J]. *Soc. of Expl. Geophys.*, 1989, 54: 680 - 688.

# Geophysical Indications of Gas Hydrate Occurrence in South China Sea

XU Hua-ning<sup>1</sup>, ZHENG Xiao-dong<sup>2,3</sup>, ZHANG Guang-xue<sup>1</sup>

(1. Guangzhou Bureau of Marine Geology Survey, Guangzhou 510760, China;

2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China

3. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** On the basis of high resolution seismic data in South China Sea, the paper discusses the results of the seismic data imaging and inversion, the two key methods for discovering gas hydrate. The seismic data imaging shows the reflecting characteristics of strata, including BSR, amplitude blanking and BSR intersecting sediment strata, related to the occurrence of gas hydrate. While seismic reflecting characteristics are qualitative geophysical evidence for the existence of gas hydrate. Results of seismic data inversion reveal the abnormal velocity of strata, the quantitative geophysical evidence for the existence of gas hydrate in South China Sea.

**Key words:** South China Sea; gas hydrate; bottom simulating reflector; seismic data imaging; seismic data inversion