

琼东南海域海底浅层水合物层识别研究*

杨睿¹⁾, 刘丽华¹⁾, 郭攀²⁾, 刘杰¹⁾

1) 中国科学院广州能源研究所, 中国科学院天然气水合物重点实验室, 广州, 510640;

2) 陕西天地地质有限责任公司, 西安, 710054

关键词: 天然气水合物; 海底浅层; 琼东南海域; 速度; 反演

琼东南盆地位于南海西北部陆缘, 为北东向伸展的新生代陆缘张裂盆地, 是我国重要的油气富集区。盆地在构造演化上经历了特征显著不同的两个发育阶段: 始新世至渐新世的断陷阶段和早中新世以来的拗陷阶段, 这两个发育阶段使盆地形成了上下两个构造层, 具有明显的双层结构特征。盆地新生代沉积地层最大厚度 12km, 第四系和第三系上新统海相泥岩具有生物气形成的条件和良好的远景, 第三系煤系地层普遍处于异常高压和高地温条件, 具有形成热成因天然气的地质条件, 估计生物成因天然气资源量为 $(0.22\sim 2.18) \times 10^{12} \text{m}^3$, 热成因天然气资源量为 $(3.8\sim 4.95) \times 10^{12} \text{m}^3$ (陈多福, 2004)。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。无论是温度和压力条件还是地质构造条件, 对天然气水合物的形成都非常有利。

琼东南盆地内断裂构造非常发育, 部分地震剖面显示断裂带可延伸至海底附近, 与泥底辟相连。盆地沉积层内发育了高压泥底辟和气烟囱及连通高压泥底辟和气烟囱至海底的断裂, 为天然气运移提供了通道 (邬黛黛, 2009)。此外, 在地震剖面上可见由于气体渗漏形成的羽状体而产生的模糊带, 深部地震模糊带可能为充气的泥底辟, 显示海底发育了可能正在活动的冷泉。这些特征非常有利于天然气水合物的发育。

1 无明显 BSR 地区的水合物识别

1.1 层速度反演

层速度是天然气水合物研究中的最重要的参

数之一。不仅速度异常是天然气水合物判定和识别的重要标志, 在层速度剖面上还可以清楚地反映天然气水合物的顶底界面形态。

正常的反射波穿过海水 (低速层) 进入地层, 随着地层深度增加其层速度递增。因为随着深度增加, 地层密度由于压实作用也逐步增加。但某段地层中如果赋存天然气水合物时, 地震反射波穿过地层往往不是上述规律, 而是穿过低速层 (海水或海底沉积层), 进入高速层 (含天然气水合物层), 接着再进入低速层 (含游离气层), 然后再进入由低到高正常传播。在海底以下地层内出现上高下低的层速度倒转现象。本文采用了射线追踪层速度反演方法, 该法可以不受高陡构造或大倾角地层的限制, 充分考虑了波的干涉和衍射, 尤其在速度突变带和断距较大的断层附近, 可以完全模拟地震波的传播路径, 最终得到与实际地震记录较为吻合的叠加速度, 可以保证反演层速度的准确性。

根据对南海北部神狐海域层速度反演可知, 该海域水合物层的高速异常大约为 2000~2300m/s, 其下部的低速异常 1600~1900 m/s, 这可能与不同地区沉积物含水合物或者游离气状态有关, 层速度在检测天然气水合物顶低界面及其展布形态方面有较好的指示作用。

1.2 波阻抗反演

南海北部地质构造复杂, 天然气水合物发育区多为断层、不整合面、泥底辟等构造发育的区域, 而且标志天然气水合物存在的 BSR 强反射界面, 常常与周围地层斜交, 各种地层接触关系解释和认识难度大, 给建立精确的地质模型带来一定的难度。考虑到各种波阻抗反演方法的适应条件, 本文选择基于宽带

*注: 本文为中国石油天然气集团公司与中国科学院高端战略联盟计划“天然气水合物资源评价、开采方法及安全保障技术研究” (编号: 2015A-4813) 国家高技术研究发展计划 (863 计划) 项目 (编号: 2013AA0925010202) 的成果。

收稿日期: 2017-02-15; 改回日期: 2017-03-24; 责任编辑: 刘志强。Doi: 10.16509/j.georeview.2017.s1.088

作者简介: 杨睿, 男, 1980 年生。博士, 副研究员, 海洋地质学专业。Email: yangrui@ms.giec.ac.cn。

约束的模拟退火反演方法(Mahapatra, 2009)。

模拟退火算法源于对固体退火过程的模拟,用一组称为冷却进度表的参数控制算法的进程,使算法在控制参数 t 徐徐“降温”并趋于零的变化过程中,求得组合优化问题的相对全局最优解。其中优化问题的一个解 i 及其目标函数 $f(i)$ 分别与固体的一个微观状态 i 及其能量 E_i 相对应。令随算法进程递减的控制参数 t 担当固体退火过程中温度 T 的角色,则对于 t 的每一取值,算法采用 Metropolis 接受准则,持续进行“产生新解——判断——接受/舍弃”的迭代过程而达到该“温度”下的“平衡点”。

1.3 瞬时属性分析

通过对地震数据进行复数道属性处理计算,得到瞬时振幅、瞬时频率等属性数据,能较好地反映 BSR、天然气水合物及游离气。

瞬时属性剖面一个样点接一个样点来计算。瞬时振幅是某一道在给定时刻能量的稳定性、平滑性和极性变化的一种度量。瞬时频率是角度信息另一种显示,通过对一个样点接一个样点由道的主频估算,使其对应于给定时刻信号的复能量密度函数的初始瞬间的中心频率的一种度量。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。

在三种瞬时属性中,尤以瞬时频率对天然气水合物矿体下伏游离气的指示作用最为明确,瞬时频率的大小表示地震反射波在某一时刻的即时频率,可以根据其大小和稳定情况来判断地层物性或含油气情况。在天然气水合物的研究中,瞬时频率剖面能清楚地反映游离气富集区的分布,当游离气发育在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,因此,在游离气分布区明显存在低频,据此我们可以划分游离气分布范围。

2 天然气水合物识别

大量地震剖面综合解释和分析表明,琼东南海域大部分区域并未发育 BSR,而且沉积层大多与海底平行,这为 BSR 的识别带来了较大的难度。

针对琼东南盆地 BSR 难以识别和无 BSR 的情况,我们选择测线 B 进行了层速度反演、波阻抗反演和瞬时频率分析,以识别天然气水合物。结果表明,1800~1900ms 处存在一高速层,速度大约为 2000m/s;该层在波阻抗剖面上表现为高阻抗区域,阻抗值大于 $3800\text{g/cm}^3\cdot\text{m/s}$;在瞬时频率剖面上可

以发现,该层下频率明显变低,指示高频成分被吸收,预示该区域游离气层的存在。从上述观点可以判断,该层为天然气水合物赋存带,从波阻抗剖面与层速度剖面分析水合物可能以团块状连片分布。

3 结论

BSR、振幅空白带、极性反转、速度倒转是水合物矿体存在的有利证据但不充分必要条件。本文提出了无明显 BSR 地区的天然气水合物地震识别方法并应用于琼东南盆地 BSR 难以识别和无 BSR 区域的天然气水合物识别研究,获得如下认识:

(1)层速度异常是判断天然气水合物赋存的重要标志;在层速度体中可以反映天然气水合物的顶底界面,揭示天然气水合物的富集程度和赋存状态;

(2)波阻抗剖面能清楚地指出天然气水合物的顶底界面,揭示天然气水合物富集区、以及富集程度,定性和定量反映天然气水合物和游离气的特征;

(3)对天然气水合物的形成条件、赋存环境、研究区的地质背景以及天然气水合物识别标志的分析认为,可以从瞬时频率剖面上预测游离气的分布范围,进而凸显天然气水合物的赋存特征,对预测天然气水合物及游离气有重要意义。

通过对南海北部神狐海域经钻证实存在天然气水合物的高分辨率地震资料的层速度、波阻抗反演和瞬时属性分析,得到了天然气水合物的非 BSR 识别方法和标志,并应用于南海北部琼东南海域,结果表明该海域可见水合物赋存的地震特征,具有较大的天然气水合物资源潜力。

参考文献/References

- 陈多福,李绪宣,夏斌. 2004.南海琼东南盆地天然气水合物稳定域分布特征及资源预测. 地球物理学报, 47(3):483~489.
- 邬黛黛,叶瑛,吴能友,等. 2009.琼东南盆地与甲烷渗漏有关的早期成岩作用和孔隙水化学组分异常. 海洋学报, 31(2): 86~96.
- Mahapatra M, Mahapatra S. 2009. Seismic diffraction tomography technique using very fast simulated annealing method for delineating small subsurface features. Journal of Applied Geophysics, 67(2):125-129.

YANG Rui, LIU Lihua, GUO Pan, LIU Jie: Research on Gas Hydrate Identification in Shallow Sediments of Qiongdongnan Area

Keywords: Gas Hydrate; Shallow Sediments; Qiongdongnanarea(southeastern Hainan Island); Velocity; Inversion