

天然气水合物矿体的三维地震与海底高频地震 联合采集技术——海底地震仪观测系统研究

曾宪军, 伍忠良, 郝小柱

(广州海洋地质调查局 广东广州 510760)

摘 要:三维地震与海底地震仪(OBS)联合采集技术在野外地震调查中起着举足轻重的作用,特别是对天然气水合物的地震调查方法的研究。其中对海底地震仪(OBS)的研究能够给天然气水合物调查提供有力的保障,OBS 在海底的布设是联合采集的关键,对 OBS 观测系统的研究显得尤为重要,关系到 OBS 采集的野外资料的总体质量和后期解释。因此,通过研究,可以选择设计最佳的观测系统,为联合采集技术提供基础数据,降低采集费用、提高作业效率。

关键词:三维地震;海底地震仪;OBS;射线追踪;聚焦;观测系统

中图分类号:P716*.83

文献标识码:B

文章编号:1003-2029(2010)01-0124-07

1 海底地震勘探技术

海底地震仪勘探技术是广角地震勘探技术中一种主要手段,常与地震勘探一起进行联合采集,得到更多信息,获取地震纵波、横波及其转换波信息,从而可以更好地分析海底地层的地质构造。目前大多数设备为海底地震仪(OBS—Ocean Bottom Seismometer)如图 1 所示。它是一种将检波器

直接放置在海底的地震观测系统,在海洋地球物理调查和研究中,既可以用于对海洋人工地震剖面的探测,也可以用于对天然地震的观测,其探测和观测结果可以用于研究海洋地壳和地幔的速度结构及板块俯冲带、海沟、海槽演化的动力学特征,也可以用于研究天然地震的地震层析成像以及地震活动性和地震预报等。



图 1 海底地震仪

2 海底地震仪观测系统研究

2.1 海底地震仪观测系统设计

当前三维地震野外观测系统设计,主要是通过优化纵、横向覆盖次数,炮检距分布和炮检线方位角分布等参数,来

收稿日期:2009-11-02

基金项目:国家“863”计划课题资助项目(2006AA09A202-01-03)

作者简介:曾宪军(1981-),男,工程师,从事海洋地质工程勘察及深海水合物课题研究。

取得好的叠加效果。但是在海底 OBS 观测情况下,这种分析方法不能评价所设计的观测系统优劣,不能预测对地下目标点的勘探精度。观测系统设计的最终目的是使采集的地震数据满足数据处理和成像的需要,取得好的成像效果。因此,从成像的角度分析观测系统的关键参数对成像效果的影响,有利于提高地震勘探精度。特别是在海底 OBS 观测情况下,这种设计方法尤为重要。这种设计方法的思路是:首先根据工区资料建立地质模型,然后将震源放在目的层中,根据波动理论正演合成地震记录,在地表接收地震记录,再将接收到的地震记录成像到震源位置。据此可以分析成像能量和成像分辨率与道间距和排列长度等关键采集参数的关系。从而确定工区的关键采集参数的取值范围,确保成像效果。研究使用的方法为:射线追踪和波动方程正演模拟、聚焦理论,国内外相关方法研究。

观测系统设计的重点和难点如下:(1)优选水面震源的炮间距与测线间距(炮线间距)(2)优选 OBS 的分布间距与分布方式(3)追踪国内外先进技术并结合野外施工实际情况,最终确定最佳野外观测系统。

2.1.1 射线追踪和波动方程正演模拟

(1)联合采集试验区目标体优选

在以往天然气水合物区二维加密调查的基础上,初步选定了试验区范围(见图 2),建立了区内主测线和联络测线相应的地质模型(图 3),一共 14 条测线,根据区内水合物分布情况,优选了两个地质目标体(图 4),将目标 1 作为本次试验的重点研究方案。

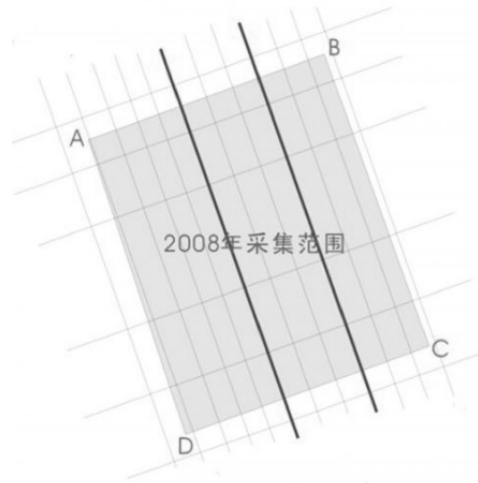


图 2 联合采集区目标体优选

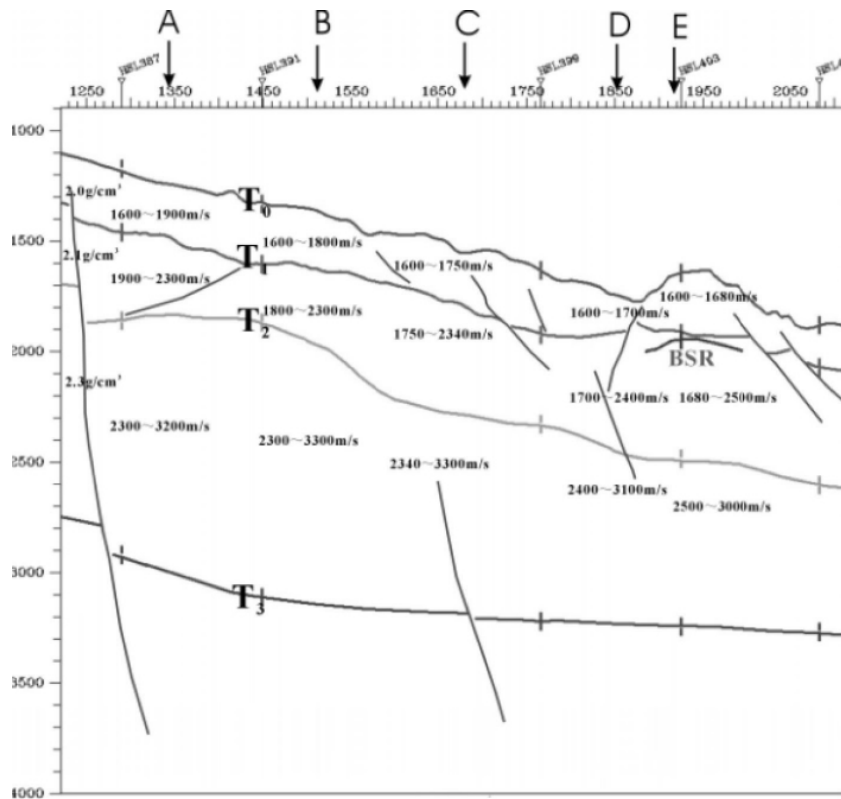


图 3 二维测线地质模型

(2)二维拟三维地质模型建立

为了简化模型,针对目标体 1 和目标体 2,建立相应的地质模型。具体方法:将 BSR 认为是一个与地层特征类似的

界面,BSR 之上 20 m 速度变化为+50 m/s,BSR 之下 20 m 速度变化-50 m/s,建立二维拟三维模型(图 5、图 6)。

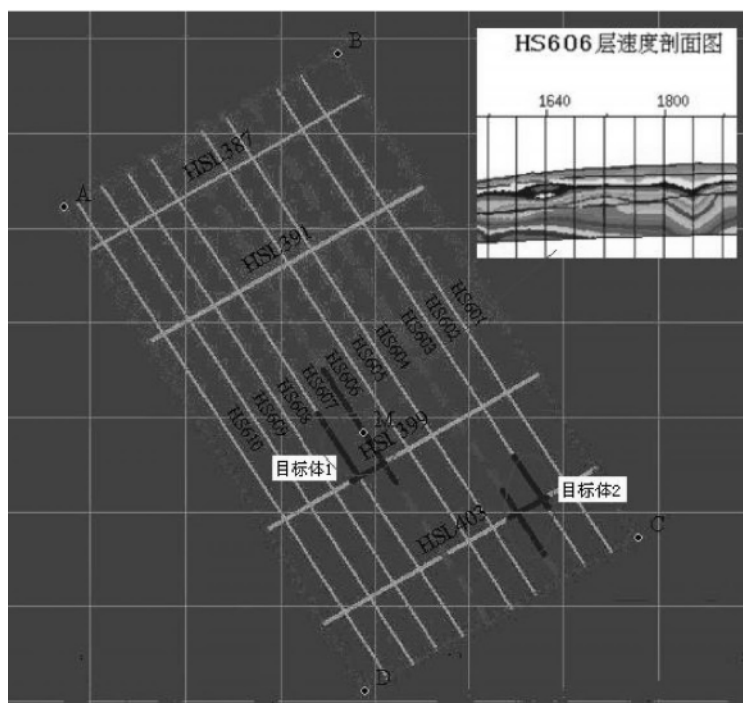


图 4 试验区目标体优选

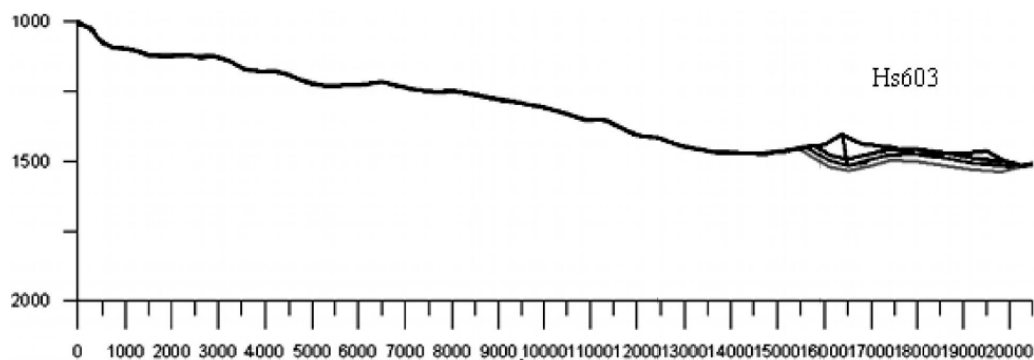


图 5 二维地质模型重建

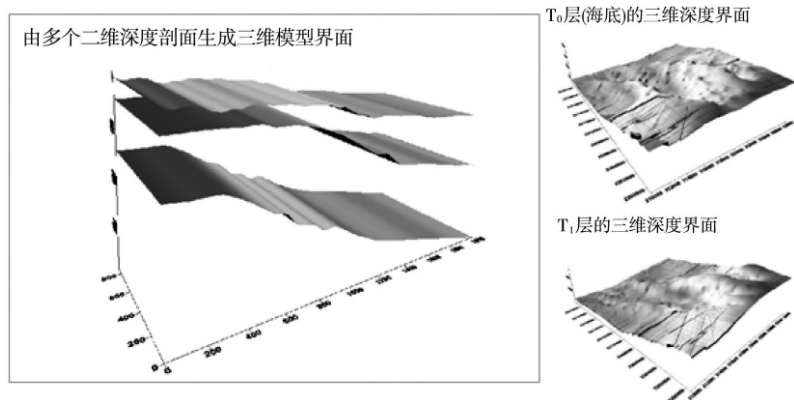


图 6 二维拟三维地质模型

(3) 射线追踪

从三维模型中,切取通过目标体的二维测线剖面,利用射线追踪法,模拟 OBS 分布状况,划分不同间距,分析纵、横

波接收情况,根据覆盖次数与均匀程度,选取最佳的覆盖效果(图 7),通过对 OBS 分布间距 100 m、200 m、300 m、400 m、500 m、600 m、700 m、1 000 m 等几组数据的分析,针对目

标体 1 ,OBS 最佳观测设计方案 (1) 分布间距 500 m 以下, 300~400 m 效果最佳 (2)分布方式为长方形矩阵分布。

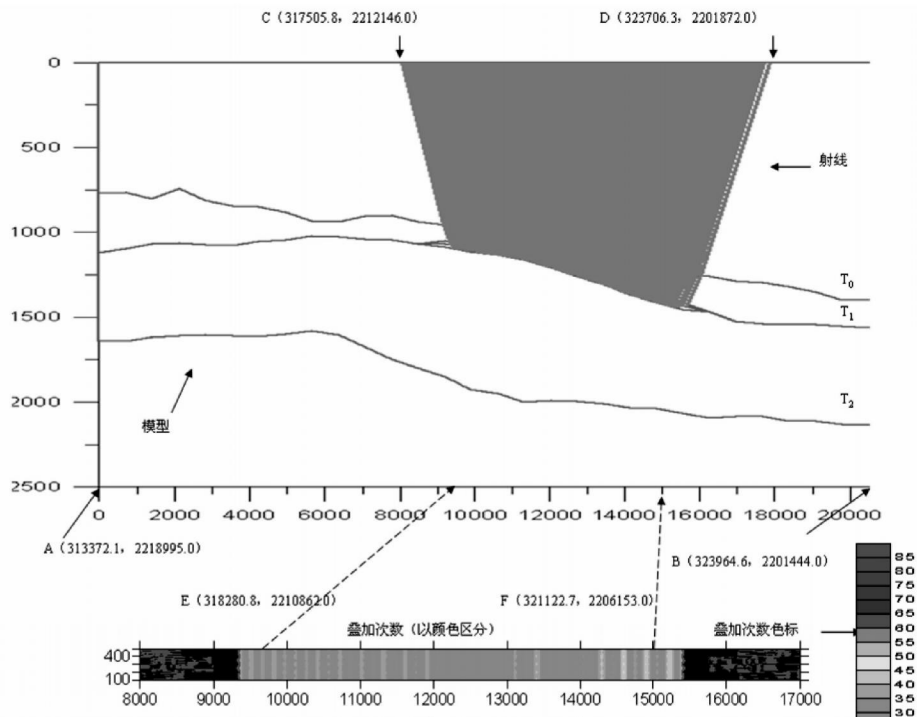


图 7 BSR-层的反射转换波射线分布和叠加次数图

2.1.2 双聚焦理论观测系统设计法

根据双聚焦理论,震源在目标点周围一定范围内激发,检波器置于目标点接收。因此,可以用震源阵列聚焦束来评估观测系统中震源对目标点的成像分辨率的影响。具体做法:①选取不同的炮点间距、测线间距(炮线间距),进行聚焦模拟;②选取不同的 OBS 分布间距,进行聚焦模拟;③根据

分析结果,确定最佳的观测系统设计效果。

(1) 地质模型重建

在以往调查程度的基础上,建立天然气水合物目标层与相邻地层简化的地球物理模型,将 BSR 简化为平行海底的地层(图 8)。

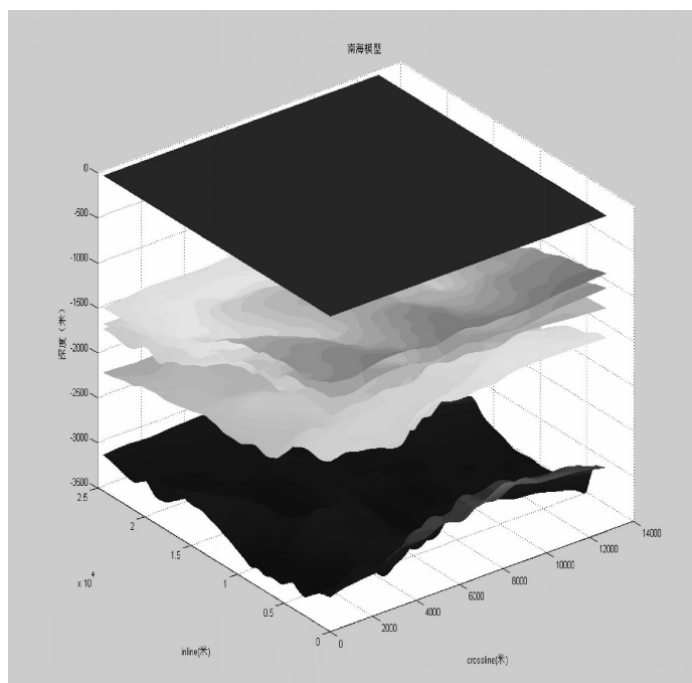


图 8 双聚焦理论下地质模型重建

(2) 聚焦模拟

炮点与炮线间距选取 选取不同的炮点间距、测线间距 (炮线间距) 通过聚焦模拟 确定最佳的优化参数(图9)。试验参数如下 ①炮点间隔 12.5 m 炮线间隔 12.5 m ;②炮点间隔 25 m 炮线间隔 25 m ;③炮点间隔 50 m 炮线间隔 100 m ;

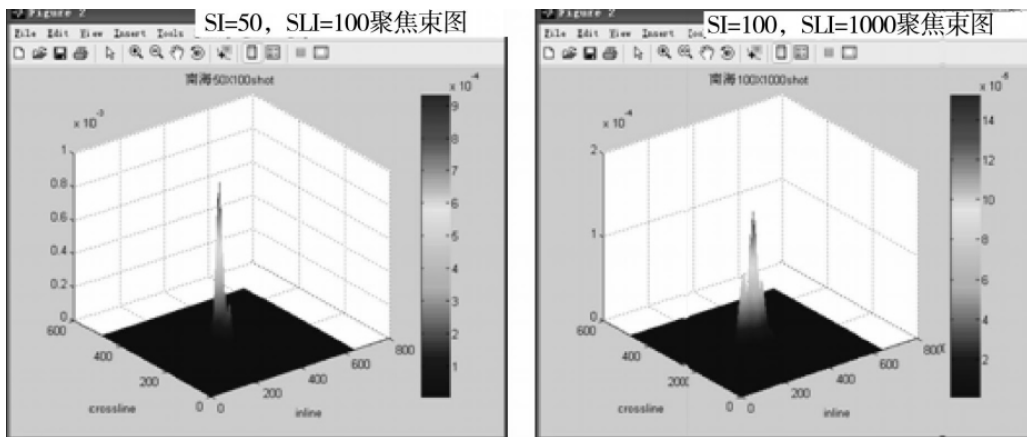


图9 不同炮间距、测线间距情况下聚焦模拟

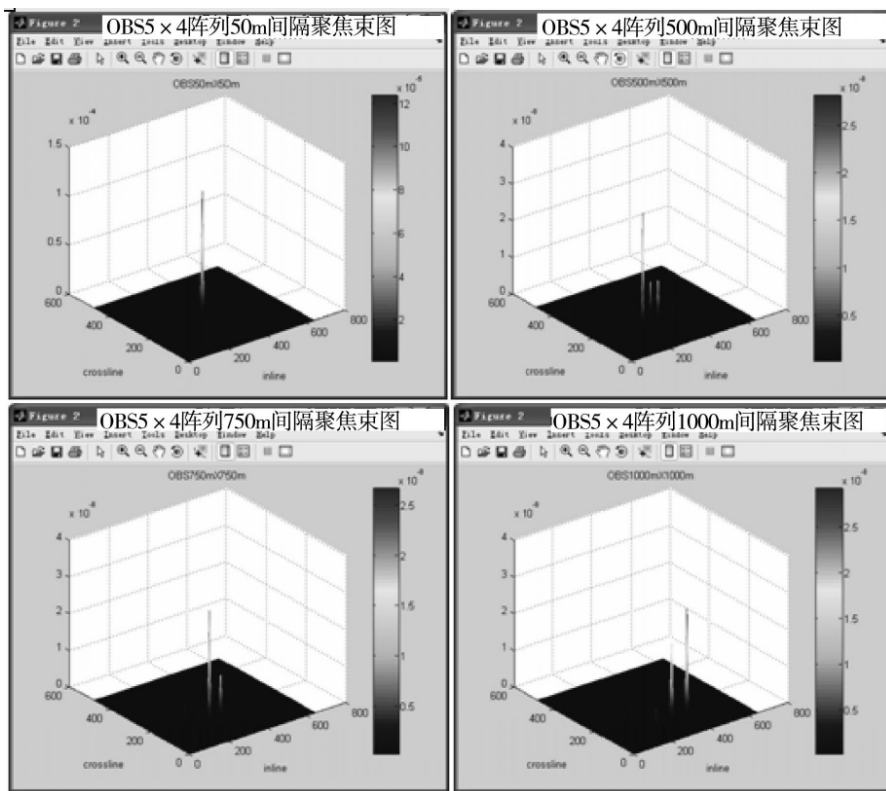


图10 不同 HF-OBS 分布间距情况下双聚焦效果模拟图

(3) 参数确定

根据聚焦模拟分析,认为最佳参数为:①当炮线参数取炮点距 100 m 炮线距 1 000 m 时(图9,图10),有明显的旁瓣,成像效果不好,因此炮线参数应该比此参数小;②对于 OBS 仅当阵列间距为 50 m 时,能得到好的效果。

④炮点间隔 100 m 炮线间隔 1 000 m。

OBS 分布间距的确定 将 20 个 OBS 以 5×4 布于目标点正上方,选取不同的 OBS 分布间距,确定最佳优化参数(图10)。试验参数如下 ①OBS 阵列间隔 50 m ;②OBS 阵列间隔 500 m ;③OBS 阵列间隔 750 m ;④OBS 阵列间隔 1 000 m。

2.1.3 OBS 站位布设与分布间距最终确定

OBS 站位分布与间距确定是联合采集观测系统设计的关键因素之一。该参数的最终确定步骤如下:①射线追踪与波动方程正演模拟法;②双聚焦理论观测系统设计法;③国外相关课题的对比;④野外采集条件。

(1) 参数模拟

综合射线追踪与波动方程正演模拟法和双聚焦理论观测系统设计法研究的结果,OBS分布方式一般与研究区内天然气水合物的分布形态有关,就目标体1而言,由于其分布形态接近梯形,为了研究方便,因此将20条OBS的分布形态设计成长方形,这样,在条件许可的情况下,可以对目标体1内水合物形态与背景地层之间的三维成像与速度关系进行充分研究对比。

研究结果表明 ①针对目标体1,最佳OBS形态的设计应为长方形,②OBS分布间距不应大于500 m,以50~400 m为宜。

(2) 国内外相关课题研究

欧盟水合物联合勘探:1992年欧盟内部组成了欧洲大陆边缘水合物储量预测技术委员会(HYDRATECH),由挪威特罗姆瑟大学、法国布雷斯特国家地质调查局、英国南安普

顿大学、英国伯明翰大学和德国基尔国家地质调查局等机构或科研单位组成,于当年6~7月在挪威外海斯瓦尔巴特(STOREGGA)滑塌区(水深840~1150 m),进行了天然气水合物地震与海底地震仪联合采集技术,调查过程中使用了二维地震勘探、三维地震勘探与OBS联合采集的方法。所使用海底地震仪有法国地调局的MicrOBS、德国K.U.M.-OBS以及海底高频检波器等设备,一共采集了两次,使用了两种观测系统(图11)。

第1次主要使用法国MicrOBS于2002年6月22日~2002年7月3日,进行了三维地震与MicrOBS的联合采集,使用了3×7矩阵排列,其排列间距为400 m。第2次于7月7~20日又进行了二维地震与OBS联合采集工作,使用了K.U.M.-OBS和海底高频检波器,OBS间距根据地质目的而呈现不等间距排列。调查资料为后续天然气水合物速度结构分

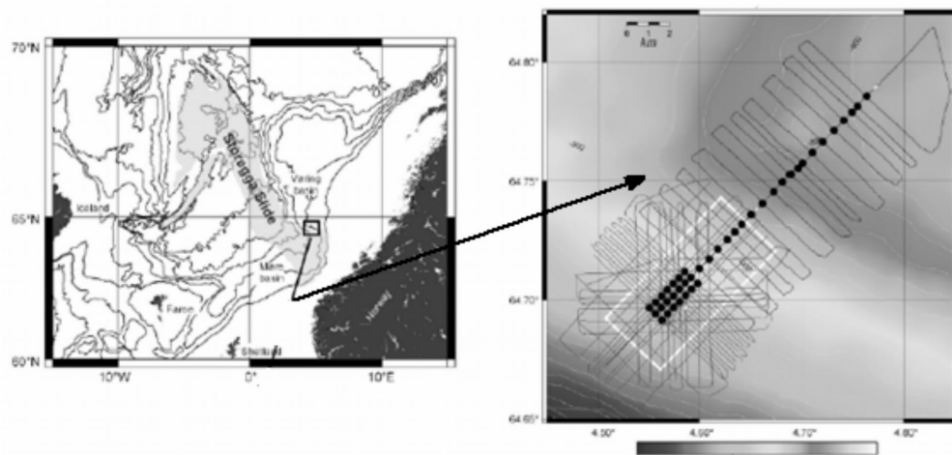


图11 HYDRATECH 天然气水合物联合采集观测系统设计

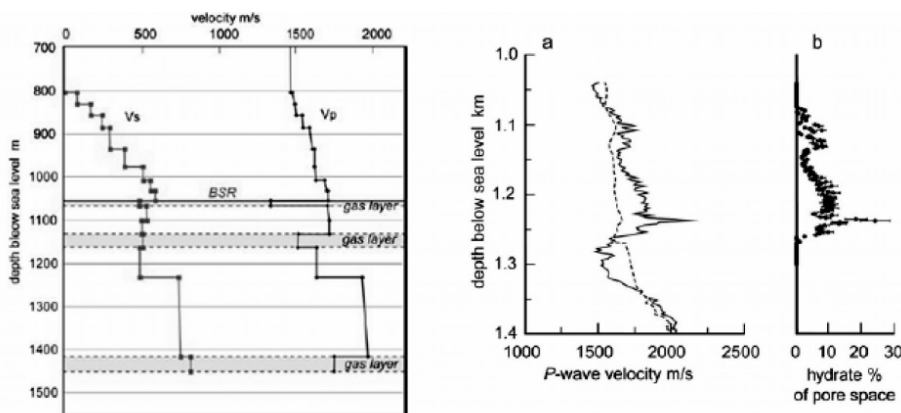


图12 HYDRATECH 天然气水合物联合采集速度分析

析提供了较好的纵、横波研究资料(图12)。

3 结论

OBS 站位分布与间距确定是联合采集观测系统设计的

关键因素之一。该参数的最终确定步骤如下 ①射线追踪与波动方程正演模拟法 ②双聚焦理论观测系统设计法 ③国外相关课题的对比 ④野外采集条件。

研究结果表明 ①针对目标体1,最佳OBS形态的设计应为长方形 ②OBS分布间距不应大于500 m,以50~400 m为宜。

参考文献:

- [1] 阮爱国,李家彪等.海底地震仪及其国内外发展现状[J].东海海洋, 2004, 22(2):19-26.
- [2] 周公威、郝春月、吕春来.海底地震观测系统[J].世界地震译丛, 2004, (5): 86-88.
- [3] G K Westbrook, S Buenz, A Camerlenghi, J Carcione, S Chand, S Dean, et al. MEASUREMENT OF P-AND S-WAVE VELOCITIES, AND THE ESTIMATION OF HYDRATE CONCENTRATION AT SITES IN THE CONTINENTAL MARGIN OF SVALVARD AND THE STOREGGA REGION OF NORWAY, 2005, 1-8.
- [4] Stefan Bunz, Yves Auffret, Stephane Barbot, Shyam Chand, et al. STOREGGA SLIDE-NORWEGIAN CONTINENTAL MARGIN GAS HYDRATES, 2002, 1-10.
- [5] Amal Ray, Bertram Nolte and Don Herron, BP America, Inc, Houston, Texas. First nodal OBS acquisition from the Thunder Horse Field in the deep water of the Gulf of Mexico, 2004, 1-4

Three-dimensional Seismic and OBS Joint Acquisition Technology for Gas Hydrate Investigation

ZENG Xian-jun, WU Zhong-liang, HAO Xiao-zhu

(Guangzhou Marine Geological Survey, MLR, Guangzhou Guangdong 510760, China)

Abstract: The three-dimensional seismic and OBS joint acquisition technology plays an important role, especially for natural gas hydrate seismic survey research. Study on OBS can provide strong guarantees for gas hydrate investigation. OBS laying on the seabed is the key to joint acquisition. OBS observation system study has an important bearing on OBS data quality. The study could be helpful for designing the best observing systems, which could provide the basis for the joint acquisition of data, reduce acquisition costs and increase operational efficiency.

Key words: three-dimensional seism; OBS; ray tracing; focus; observation system