

面向不同解释目的的参量阵浅剖处理

杨 力,文鹏飞,张如伟,薛 花

(国土资源部海底矿产资源重点实验室,广州 510075;中国地质调查局广州海洋地质调查局,广州 510075)

摘 要:为了更好地利用浅剖资料进行浅剖解释工作,利用参量阵浅剖仪 CW 模式发射的短时连续波采集的浅地层剖面资料,经过资料特征分析,进行了预处理(包括数据拼接、延迟校正、球面扩散补偿、道间振幅均衡和大值干扰压制处理)。在预处理的基础上,首先提取资料的瞬时振幅(波形包络)并对其进行带通滤波,资料的低频成分突出,同相轴连续,分辨率适中,该处理结果适合用于构造解释。而后,对波形包络资料进行提频处理,在保留低频成分的同时突出高频成分,分辨率高,但在构造较陡部位同相轴连续性较差,该处理结果适合用于薄层砂体刻画。

关键词:参量阵;浅剖;瞬时振幅;线性提频

中图分类号:P313

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2016.12008

浅地层剖面(浅剖)探测是一种基于水声学原理的连续走航式探测水下浅部地层结构和构造的地球物理方法^[1],广泛应用于工程勘察、地质灾害评估、天然气水合物调查和深海资源调查领域。张金城等^[2]将浅地层剖面仪应用于海岸工程,主要勘察沉积层界面、声学地层、新淤积层和河口;刘建达等^[3]使用 Chirp 浅剖仪在水域地质进行调查,目的在于活断层调查、管线走向调查以及水底抛石调查,浅地层剖面调查可以了解海域灾害地质情况,如浅层气、滑坡等^[4];刘伯然等^[5]利用浅地层剖面资料对南海东北部陆坡的冷泉系统进行了研究。浅剖资料应用广泛,为了更好地应用浅剖资料,需要对浅剖资料进行处理。

Henkart^[6]利用互相关、希尔伯特变换和波形包络提取的处理方法对 chirp 信号的浅剖资料进行处理;李一保等^[4]利用聚束滤波法消除深海

多次波;罗进华等^[7]采用自动拾取剖面记录中受涌浪影响的海底反射面方法,对拾取的海底反射面进行中值滤波和均值滤波,进而消除涌浪对海底声学地层剖面的影响;吕国涛等^[8]针对海试所得浅剖图像噪声大、分层不清晰的缺点,利用中值滤波等方法去除图像中的噪声,并通过对其进行边缘处理来提高图像的清晰度以得到更精确的分层结构;陈晓辉等^[9]采用多维滤波的方法对多次波进行分区压制;王方旗等^[10]利用声速预测方程和声速经验公式,校正浅地层厚度;丁维凤等^[11]采用陆上地震数据剩余静校正处理中的统计模型道互相关方法来实现对剖面反射同相轴的海浪改正处理,为减少强能量噪声对相关运算的影响,采用中值滤波、光滑滤波技术对反射同相轴曲线进行滤波处理,经过处理后,大风浪与涌浪影响下的波浪状反射同相轴变得连续、光滑,海底下混乱模糊的反射层位变得清晰、连续,剖面信噪比与分辨率得到了极大的提高;冯强强等^[12]利用阈值显示、带通滤波、相关、底部时变增益和脉冲反褶积的处理方法对浅剖资料进行了处理;Baradello^[13]提出直达波切除、波形整形反褶积、球面扩山补偿、预测反褶积、随机噪音衰减和 stolt 偏移的浅

收稿日期:2016-04-16

基金项目:国土资源部海底矿产资源重点实验室开放基金(KLM-MR-2015-A-02)

作者简介:杨 力(1988—),男,硕士,助理工程师,主要从事海洋地震、测井资料处理方面的研究工作。E-mail:gmgdsdpyangli@163.com

剖改进处理方法;薛花等^[14]利用时间匹配原理进行 FIX 导航号定位,用于实际生产;薛花等^[15]通过平面坐标转换、噪音压制和波形处理对非线性调频的浅剖资料进行了处理;刘玉萍等^[16]对短时单频脉冲信号浅剖资料进行移频处理。

总而言之,浅剖解释运用的处理后的浅剖资料较为单一,本文结合前人的浅剖处理方法和南海某海域采集的参量阵 CW(Continue Wave)模式的短时连续波信号资料特征,确定了数据拼接、延迟校正、球面扩散补偿、道间振幅均衡和大值干扰压制的预处理流程,在预处理的基础上,首先提取资料的瞬时振幅(波形包络)并对其进行带通滤波,而后,对经滤波的波形包络资料进行提频处理,比较了 2 个阶段的处理结果,发现 2 种结果反映了不同尺度的浅地层信息,在浅剖解释中对应构造解释和砂体刻画,所以,浅剖解释应区分和重视经带通滤波的瞬时振幅资料和经线性提频处理资料。

1 数据采集与分析

本次浅剖数据于 2015 年在南海某海域采集,仪器采用德国 ATLAS 公司生产的 Parasound P70 型深水浅层剖面仪,设备工作水深为 10~11 000 m,适用于全海域范围海底地质结构的调查分析。它既具备传统的单脉冲发射模式,又有先进的脉冲链发射模式(Pulse Train)和等距发射模型(Quasi-equidistant),利用连续波(CW)、调频脉冲波(Chirped)、编码脉冲(Barker-coded)等多种脉冲类型选择和参量阵差频技术相结合,使其实现了从浅水到深水全海域范围的测量功能,具有较高的地层分辨率和地层穿透能力。结合工作海域水深特点和仪器探测能力分析,参量阵采集参数如表 1 所示。

原始资料(图 1)为数据分段采集。有效信号记录起始时间为 0.08~0.4 s,不是真实的反射记录时间。剖面在 740 道处的同相轴不连续。有效反射能量由浅至深变弱。道间能量不均衡,道号范围 650~700 段剖面能量和道号范围 730~750 段剖面能量弱于相邻段剖面能量。剖面大值干扰严重。主频为 3 500~4 500 Hz,资料信噪比低,分辨率低。原始资料只有分段的海底地形信息,海底深度未知,构造和砂体信息模糊。

表 1 参量阵浅剖采集参数

Table 1 Parameters of shallow profile

非线性差频	初次高频(PHF)为 20 kHz, 二次低频(SLF)为 4 kHz
波束角	<5°(横向分辨率高)
信号类型	连续波(CW)
脉冲长度	1 ms(纵向分辨率高)
脉冲波形数	4 个(穿透深度大)
发射模式	等距发射模式
记录长度	520.92 ms
延时记录	根据地形变化调整
采用间隔	0.04 ms
数据记录格式	SGY 数据
船速	6~8 kn

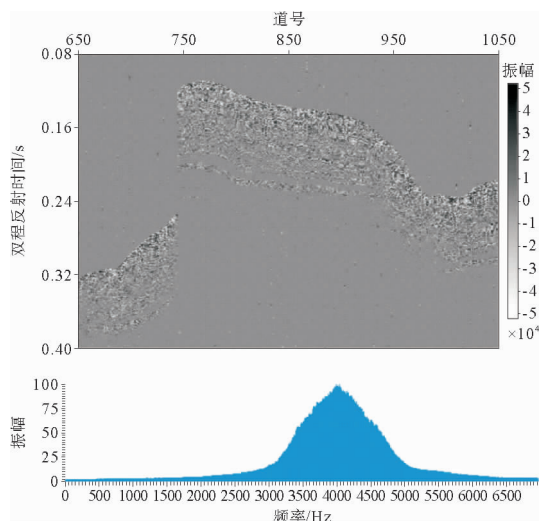


图 1 浅剖资料原始记录及频谱

Fig. 1 Original records and frequency spectrum of sub-bottom profiler data

2 处理流程

结合资料特征,本次处理确定图 2 的处理流程。处理流程分为 2 个处理部分:预处理和解释性处理。预处理主要由数据连接、延时校正、球面扩散补偿、道间能量均衡和大值干扰压制组成,解释性处理由经过带通滤波的波形包络处理和线性移频处理组成。

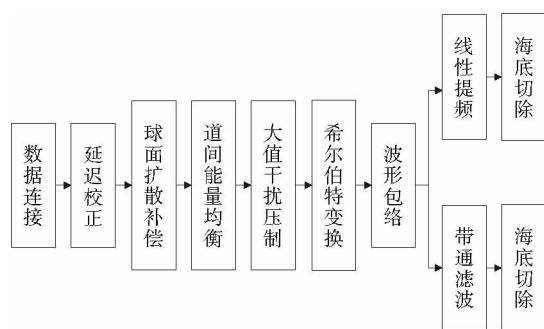


图2 面向不同解释目的的参量阵浅剖处理流程

Fig. 2 The processing flowchart of parametric array for different interpretation purposes

(1)数据连接 由于参量阵浅剖仪配套使用的导航设备为 HYPACK 导航仪, HYPACK 导航仪每一段时间记录一个导航文件, 为了使参量阵浅剖数据能与导航文件对应匹配, 参量阵浅剖仪对应一段时间记录一个浅剖数据文件。为了保证资料的完整性, 浅剖数据文件需要按工区设计的每条测线分批连接处理。浅剖数据文件格式为 sgy, 可以用 Focus 软件将数据文件转为内部 dsk 文件, 用 COLLECTION 模块进行处理。

(2)延时校正 浅剖调查目标为海底以下 100~200 m, 浅剖数据的采样率为 0.04 ms, 假如采用地震勘探的全时间记录方式记录浅剖数据, 浅剖的原始资料存储所占空间很大。所以, 一般浅剖采用延时记录的方式记录浅剖数据, 并将延时记录记在 109~110 字节的道头上。并且, 随着海底地形的起伏变化, 记录的延时时间会不同。延时校正通过处理的静校正模块将延时校正量加至浅剖数据, 使反射记录时间校正为真实反射时间。

(3)大值干扰压制 由于采集仪器、环境噪音等因素, 浅剖资料受大值干扰严重。海上浅剖资料中, 大值干扰是一种常见的噪音, 本次浅剖采集与多波束采集同时进行, 浅剖中有由多波束引起大值干扰。本文采用的大值干扰压制方法进行能量均衡, 选取计算窗为 3 道, 压制振幅值大于 1.5 倍平均振幅值的大值干扰。

(4)波形包络及带通滤波 经过预处理后的资料缺少低频成分, 为了提高资料的低频成分, 首先, 对预处理资料进行希尔伯特变换, 而后, 提取波形包络, 最后, 对资料进行滤波参数为 0—30—

1 800—2 000 Hz 的带通滤波。

(5)线性提频 经带通滤波的波形包络资料, 低频成分充分, 而高频成分相对缺失。本文用波形包络谱乘以 ω (角频率) 的线性提频的处理方式提高资料的高频成分。

3 处理效果分析

3.1 预处理效果

预处理后剖面(图 3)道数与测线道数一致, 记录时间恢复到真实记录时间, 740 道处同相轴连续, 双旅行时 2.36 s 处反射能量明显增强, 道间能量均衡, 剖面整体横向能量差异小, 大值干扰得到了明显的压制。预处理后的浅剖资料(图 3)与原始资料(图 1)相比, 海底变连续, 海底形态完整, 海底水深利用声波在水中的速度间接得到, 构造和砂体信息模糊。

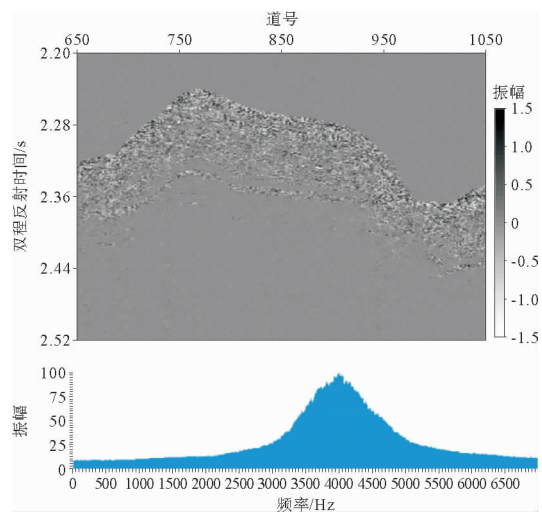


图3 经过预处理的剖面及频谱

Fig. 3 The profile and frequency spectrum of the preprocessed data

3.2 解释性处理效果

经过预处理后, 浅剖资料主频为 3 500~4 500 Hz, 缺少低频成分的浅剖资料成像较差。下面针对资料中不同频率成分, 利用波形包络提取及带通滤波、线性提频 2 种处理方法对预处理后的资料进行频率成分补偿处理, 而后对这 2 种

处理结果进行了对比分析。

(1)波形包络及带通滤波 经带通滤波的波形包络资料的主频范围为 15~375 Hz,低频成分突出,倍频程增大。与预处理资料(图 3)相比,经过带通滤波后的波形包络数据(图 4),构造幅度较陡区域(图 4 中构造描述区域),同相轴连续性好,分辨率适中,主要构造层成像清晰,可以达到构造解释目的,标志层明显。但该资料对层间薄层砂体成像模糊(图 4 中砂体刻画区域)。所以,经带通滤波的波形包络资料适用于浅剖资料的构造解释。构造描述区域左框(图 4),属挠曲构造变形区,同相轴连续性好,分辨率适中,构造描述区域右框(图 4),属断裂带构造变形区,由于构造活动强烈,断面波难以被识别,但断裂带两边的地层可对比性非常高,可通过地层对比解释断裂带的构造活动过程,经带通滤波的波形包络资料符合地质特征。

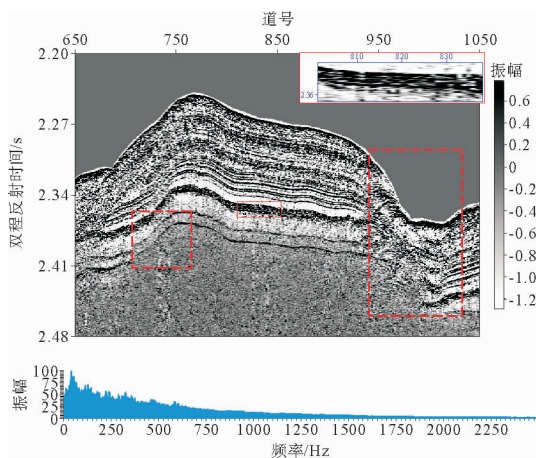


图 4 经带通滤波的波形包络剖面及频谱

Fig. 4 The profile and frequency spectrum of the filtered envelope data

(2)线性提频 线性提频资料的主频范围为 125~950 Hz,资料的高频成分明显提高,频带宽度增大,倍频程增大,分辨率高,低频成分被压制。对比经带通滤波的波形包络剖面(图 4),线性提频资料层间薄层砂体(图 5 中砂体刻画区域)成像清晰,但在构造幅度较陡部位(图 5 中构造描述区域)同相轴连续性差,同相轴模糊。因此,线性提频资料适合用于薄层砂体刻画。

本次浅剖资料采集于深水区。在深水区,海洋沉积速率比较低,导致砂体比较薄,但是连续性

比较好,线性提频资料中砂体刻画区域显示符合地质规律。

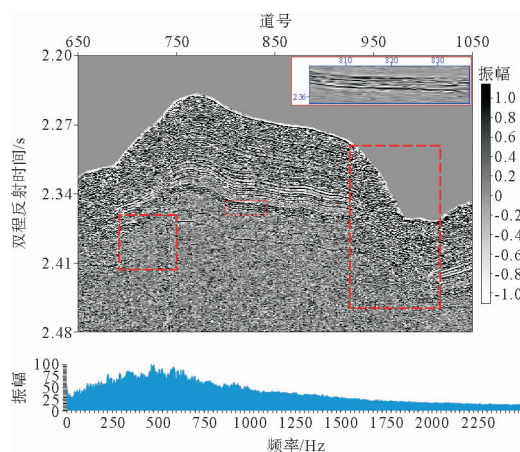


图 5 经线性提频处理剖面及频谱

Fig. 5 The profile and frequency spectrum of the linear frequency data

4 总结

在海上参量阵浅剖资料解释工作中,常单一选用经带通滤波的波形包络资料或线性提频资料。本文选取浅层构造较为复杂的南海某海域的浅剖资料,在预处理的基础上,对比分析了 2 种资料的特征:经带通滤波的波形包络资料,低频成分突出;线性提频资料保留低频成分,高频成分突出。2 种资料展现不同地质信息,经过带通滤波的波形包络资料对构造幅度较陡的向斜、背斜、断层等构造展现清晰,经过线性提频资料对水平薄层砂体的细节展现明显。经过带通滤波的波形包络资料和经过线性提频资料均符合地质规律。

建议在参量阵浅剖资料解释工作中,根据地质解释需要进行浅剖资料的处理,旨在浅地层挠曲构造、断裂带构造、断层等的浅剖调查中,选用经带通滤波的波形包络资料。对于高分辨率浅剖资料解释,需要先利用经带通滤波的波形包络资料进行构造解释,而后,利用线性提频资料进行砂体刻画。

致谢:感谢海洋 6 号全体成员为本次资料采集的辛劳付出及中国地质大学(武汉)任金峰博士对资料解释提供的帮助!

参考文献:

- [1] 李平, 杜军. 浅地层剖面探测综述[J]. 海洋通报, 2011, 30(3): 344-350.
- [2] 张金城, 蔡爱智, 郭一飞, 等. 浅地层剖面仪在海岸工程上的应用[J]. 海洋工程, 1995, 13(2): 71-74.
- [3] 刘建达, 黄永林, 宋文荣, 等. Chirp 浅剖仪在水域地质调查中的应用[J]. 防灾减灾工程学报, 2010, 30(2): 216-221.
- [4] 李一保, 张玉芬, 刘玉兰, 等. 浅地层剖面仪在海洋工程中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2007, 4(1): 4-8.
- [5] 刘伯然, 宋海斌, 关永贤, 等. 南海东北部陆坡冷泉系统的浅地层剖面特征与分析[J]. 地球物理学报, 2015, 58(1): 247-256.
- [6] Henkart P. Chirp sub-bottom profiler processing-A review [J]. Sea Technology, 2006, 47(10): 35-38.
- [7] 罗进华, 潘国富, 丁维风. 消除涌浪对海底声学地层剖面影响的处理技术研究[J]. 声学技术, 2009, 28(1): 21-24.
- [8] 吕国涛, 胡长青. 阿曼湾浅地层调查资料的处理研究[J]. 声学技术, 2010, 29(2): 162-166.
- [9] 陈晓辉, 李日辉, 张志珣, 等. 北黄海海区浅地层剖面数据资料干扰分析及预处理[J]. 海洋地质前沿, 2011, 27(1): 27-32.
- [10] 王方旗, 元发庆, 姚菁, 等. 声速预测方程在浅地层剖面资料处理中的应用[J]. 海洋通报, 2011, 30(5): 492-495.
- [11] 丁维风, 冯霞, 傅晓明, 等. 海上单道地震与浅地层剖面数据海浪改正处理研究[J]. 海洋学报, 2012, 34(4): 91-98.
- [12] 冯强强, 温明明, 吴横, 等. 海洋浅地层剖面资料的数据处理方法[J]. 海洋地质前沿, 2013, 29(11): 49-53.
- [13] Baradello L. An improved processing sequence for uncorrelated Chirp sonar data [J]. Marine Geophysical Researches, 2014, 35(4): 337-344.
- [14] 薛花, 文鹏飞, 张宝金, 等. 浅剖中定位 FIX 号方法研究[J]. 物探化探计算技术, 2014, 36(1): 92-94.
- [15] 薛花, 杜民, 文鹏飞, 等. 非线性调频信号的浅地层剖面处理技术[J]. 地球物理学进展, 2014, 29(5): 2287-2292.
- [16] 刘玉萍, 李丽青, 薛花, 等. 短时单频脉冲震源的海洋浅地层剖面资料移频处理[J]. CT 理论与应用研究, 2014, 23(3): 227-235.

PROCESSING OF PARAMETRIC ARRAY SUB-BOTTOM PROFILE DATA FOR DIFFERENT INTERPRETATION PURPOSES

YANG Li, WEN Pengfei, ZHANG Ruwei, XUE Hua

(Key Laboratory of Marine Mineral Resources, MLR, Guangzhou 510075, China;
Guangzhou Marine Geological Survey, CGS, Guangzhou 510075, China)

Abstract: The parametric array sub-bottom profile data based on continue wave is processed by pre-processing and interpretation processing for different interpretation purposes. The pre-processing includes data connection, delay correction, spherical spreading compensation, channel energy balance and large-scale power suppression. The interpretation processing includes bandpass filtering of instantaneous amplitude data and linear frequency extraction. The low frequency component of the instantaneous amplitude data after bandpass filtering is prominent, so it is suitable for structural interpretation. Furthermore, the linear frequency extraction data containing low frequency and high frequency components is beneficial to the sand body description.

Key words: parametric array; sub-bottom profile; instantaneous amplitude; linear frequency extraction