



浅地层剖面交互拾取解释技术研究

丁维凤, 罗进华, 来向华, 苟铮慷, 傅晓明

(国家海洋局 第二海洋研究所, 浙江 杭州 310012)

摘要: 浅地层剖面探测在海洋学研究与海洋工程调查中使用愈来愈频繁, 剖面资料的解释工作变得越来越繁重。因浅地层剖面实际解释工作的需要, 结合浅地层剖面资料的特点, 研究并实现了剖面反射层位的自动拾取、利用 Event 号交互拾取特征点、等 Ping 间隔拾取、求取海底下反射层位厚度等解释功能, 这些解释功能的实现加快了剖面解释工作的进度, 提高了解释结果的精度, 并在实际浅地层剖面资料解释工作中取得了良好的应用效果。

关键词: 浅地层剖面; 交互拾取; Event 定位号; 等 Ping 间隔拾取; 反射层厚度

中图分类号: P714.8

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096 (2008) 09-0001-06

随着人类对海洋资源开发的不断扩大, 浅海及海岸工程建设的日益增多, 海洋工程调查已日益频繁。在海洋工程调查的诸多方法当中, 浅地层剖面探测是大陆架第四纪地质研究、浅海灾害地质研究和浅海海洋工程地质调查的重要手段^[1], 它不仅为调查人员提供了直观、连续的海底地质结构特征和构造情况, 而且为海底沉积物地质属性的识别和声学参数的计算提供了丰富的信息, 因而广泛地应用于江河湖海地区的地质研究与工程勘查等工作。

1 交互拾取工作的必要性

浅地层剖面探测野外工作采用连续走航式 (以 2~8 kn 的船速) 采集数据, 其发射频率快 (以 Benthos 公司生产的 CAP-6600 ChirpII 系统为例, 0.25 s 发射采集一次^[2]), 采样率高 (33 μ s 采集一个样点^[2]), 一条几公里长的测线就会有几十兆的存储数据 (以标准的 SEG-Y 二字节格式^[2]或 XTF 格式存储), 若在海洋管线或电缆铺设的路由调查中, 上千公里长的测线其采集的数据量就会有上百 GB, 室内数据解释时如果以人工手动的方式在打印图纸上描取判读反射层位特征点 (从记录剖面打印图纸上人工判读描点需要多人分别作人工判读拾取特征点、图纸扫描、数字化等不同的工作), 其投入的人力和物力会相当的大, 工作效率和解释精度会受很大的影响, 因此有必要研究开发人机交互式的解释拾取程序。反射层位人机交互拾取技术在石油处理解释软件 (如 ProMax, LandMark 等) 和国

外相关软件 (如 Triton 公司的 SB-Interpreter 解释软件与 Chesapeake 公司的 SonarWizMap+SBP 采集处理软件等) 中都有实现, 但它们未结合浅地层剖面资料的特点, 没有按实际工作的需要给出只拾取定位 Event 号位置 (或等 Ping 间隔拾取) 和上下解释层位同位置拾取求取层厚等功能; 另外这些软件的自动拾取功能不是很完善 (不能分段拾取和自动拾取结果的跳跃点很多等缺点)。因此结合浅地层剖面资料的特点, 研究开发满足实际解释工作需要的交互式解释拾取功能的软件是一项非常有意义的工作。

2 浅地层剖面资料的特点

为了能够得到高分辨率高信噪比的资料, 美国 Benthos 公司生产的 ChirpII 系统采用线性调频 Chirp 子波, 发射前经 Sinc 函数包络处理, 处理后发射的子波延续时间短, 频带宽, 能量集中 (图 1), 反射回来的信号再与发射信号作匹配滤波处理 (及两信号作相关褶积, 与发射信号相关性差的噪音得

收稿日期: 2008-02-26; 修回日期: 2008-07-14

基金项目: 国家海洋局青年海洋科学基金资助项目 (2005309)

作者简介: 丁维凤 (1978-), 男, 江西德安人, 硕士, 主要从事工程海洋地球物理勘探与研究, 电话: 0571-88076924 转 2383, E-mail: fwxf1769@126.com

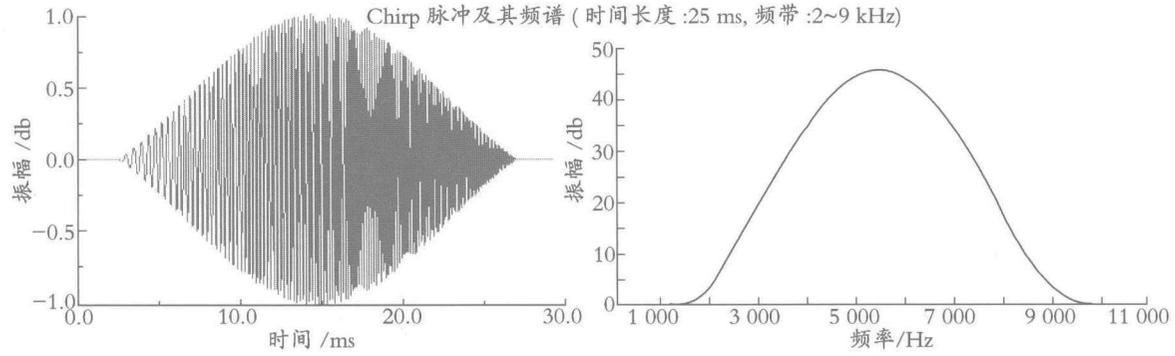


图 1 经 Sinc 函数包络后的线性调频 Chirp 子波及其频谱显示

Fig.1 The linearity modulated Chirp wavelet processed by Sinc fuction and its amplitude spectrum

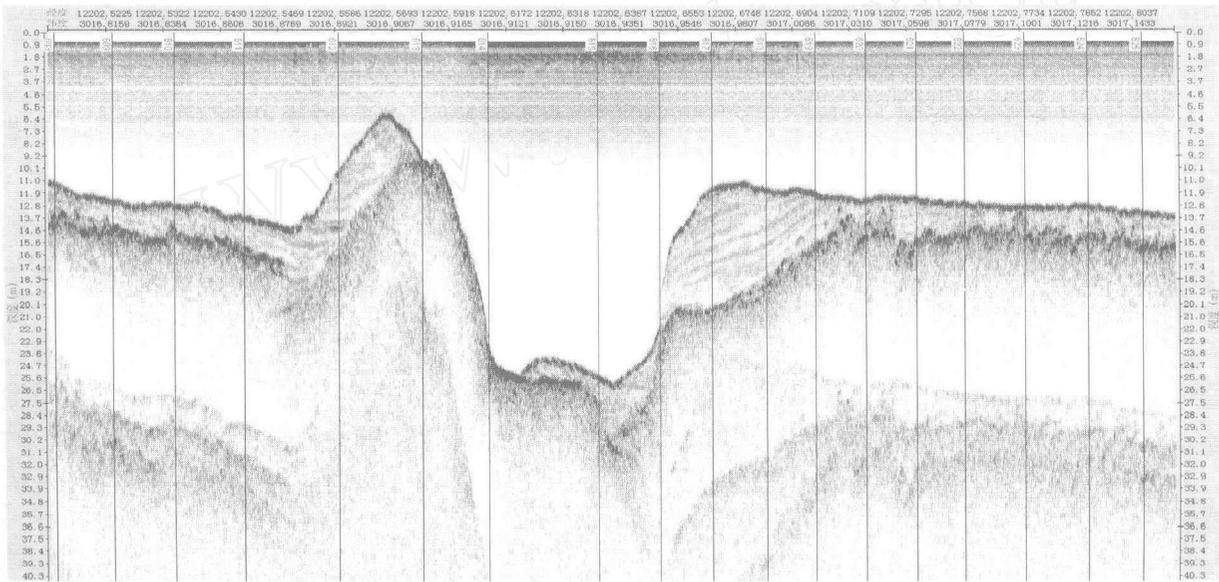


图 2 某地区浅地层剖面记录

Fig.2 The sub-bottom profile somewhere

到压制,而相关性好的反射信号强度得到增强^[2]),最后得到的结果将噪音、发射器振铃和空间边波旁瓣效应等压制在最小限度内,最终输出的剖面图形具有很高的垂直分辨率(2~7 kHz 通道的垂直分辨率按理论公式计算可达 12.5 cm^[3,4])和信噪比^[1]。但高分辨率与高信噪比带来信号穿透能力的限制(高频成分信号吸收衰减快),一般只能穿透 10~30 m 的范围,甚至更小(依海底的底质而定)。其次,因海上工作导航定位的需要,浅地层剖面存储的数据中除了有发射接收的导航位置外,还需根据解释结果成图比例尺的要求由导航软件按一定距离在剖面图上输出打印定位 Event 号(图 2,图中经纬度以度、分为单位,图 3~图 5 均同),通过该 Event

号可以在解释时随时确定剖面航迹位置以及方便同其他地球物理资料进行准确的同位置结果比较,同时可将解释结果与其他地球物理解释资料进行有效的结合。另外,该浅地层剖面设备的工作方式是将由发射器与水听器组成的拖曳体置于船侧或船尾一定距离采用连续走航式采集数据,剖面上显示的海底及其以下地层都未作姿态改正(目前多数浅地层剖面设备都没有自动姿态改正的功能)和潮位改正,解释拾取时就不能把在浅地层剖面资料上拾取的各反射层位的深度作为 CAD 成图需要的结果输出,而是以经过姿态与潮位改正后的单波束或多波束海底水深剖面作为标准,浅地层剖面资料上只拾取反射层位相对于剖面上海底的厚度值作为

解释输出，作地质断面图时将拾取的层厚按位置叠加到标准水深剖面上即可。以上特点决定了浅地层剖面资料层位计算机交互拾取工作的特殊性，一些商业处理解释软件的拾取功能对剖面资料的解释拾取就不很适用。

3 浅地层剖面交互拾取功能的设计

在大型工程调查中，浅地层剖面探测所获得的数据一般都很大，在人机交互拾取时一定要提供自动拾取的功能，否则用鼠标点击拾取上千公里长的剖面是一项非常繁琐的工作。其次，自动拾取的始终位置可由人工鼠标点击选择，这样方便不连续层位的自动拾取。另外，交互拾取需提供只拾取 Event 号位置以及等 Ping 间隔拾取的功能，这样可减少拾取的工作量和拾取结果输出数据量，拾取结果输出时需要包括 Event 号数值项，以方便输出结果同其他数据的比较及综合利用。最后很重要的一点是为求取各反射层的厚度，交互拾取时需提供上下层位同位置拾取等功能。其他一些功能可与商业处理解释软件类似设计，下面就分别讨论各个功能的实现。

3.1 自动拾取功能

地震资料处理解释中，用于自动拾取初至波的方法很多，如相关法、能量比法、最大振幅法、分形维法及神经网络法等^[5]，因浅地层剖面资料经过了包络和匹配滤波等处理，数据采集一般只记录正

波型数据，剖面上海底及以下反射地层的同相轴能量突出，波组连续，干扰噪音少，且记录剖面同相轴波形的最大值位置反映了反射界面的真实位置^[6]，这些特点非常适合采用能量比法来搜索层位反射振幅最大值的位置。能量比法离散定义公式为^[5]：

$$A_1 = \frac{\sum_{t=T_2}^{T_3} x^2(t)}{\sum_{t=T_1}^{T_2} x^2(t)}$$

式中 $x(t)$ 为地震记录振幅值， T_1 为前一个时窗起点， T_2 为前一个时窗终点，同时也是后一个时窗起点， T_3 为后一个时窗终点。若简单的用上面公式自动搜索拾取海底面反射，结果会出现很多的跳跃点，影响解释拾取的准确性，若利用中值滤波方法对搜索结果作滤波处理，就可以消除这些错误的跳跃点。另外按上面公式自动搜索后的结果曲线会出现很多的毛刺，影响解释精度和最终成图，所以需要拾取结果作线性滤波光滑处理。自动拾取时拾取的始末点需要用户用鼠标来交互选择，这样可以限定自动拾取的范围，无需从头到尾全部拾取。为了充分利用人工选择的参考点时，我们还可以增加自动搜索的次数，从正反两方向各搜索一次，然后将两次搜索的结果作比较，取靠近两端参考点的正反拾取结果作为最终结果，这样可以防止单方向搜索时远离参考点的层位发生拾取偏离。图 3 就是利用上

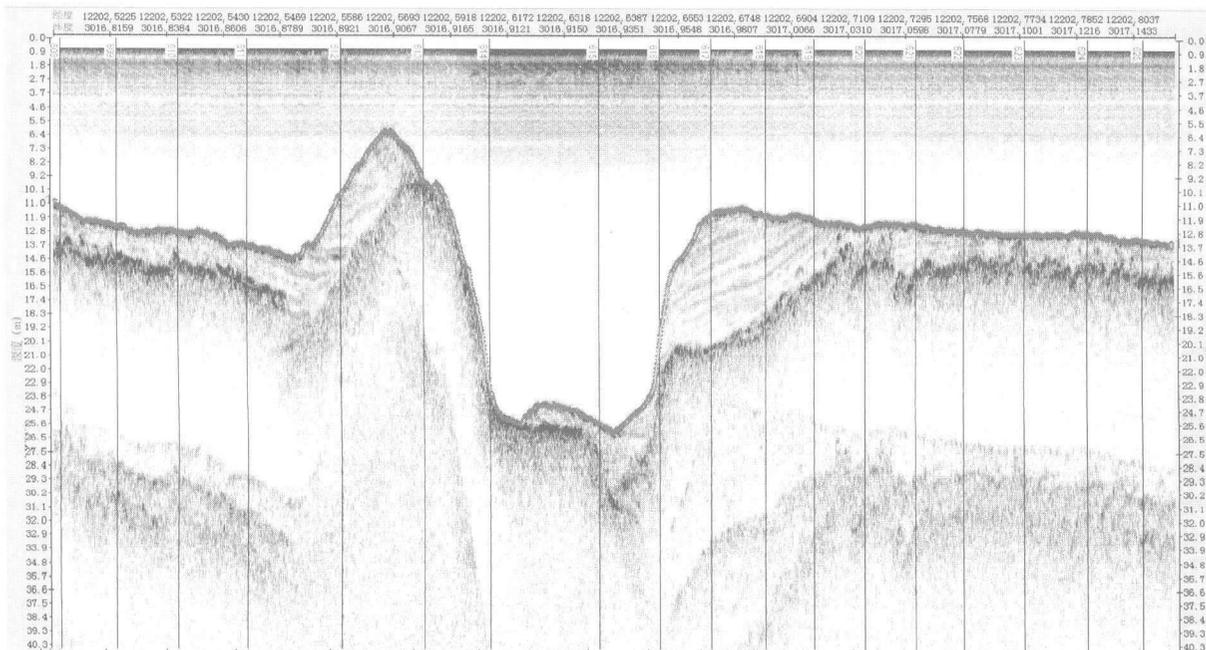


图 3 能量比法自动拾取海底面的结果

Fig.3 The result of auto picking sea floor using energy ratio

面公式对图 2 剖面作正反两方向自动搜索，再经中值滤波和平均光滑滤波处理后的结果显示，从图 3



可看出, 经过这些处理后, 拾取的结果准确, 曲线光滑, 与实际海底基本一致。

3.2 Event 定位位置的拾取

图 3 的拾取结果没有利用剖面上的 Event 定位号, 拾取的点密集, 输出结果点位太多, 数据量庞大, 造成不必要的资源与人力浪费, 同时拾取结果不利于同其他资料进行定位比较。所以必需充分利

用 Event 定位号, 对于变化平缓的反射层位处可只拾取 Event 号位置, 变化剧烈的层位处在拾取了 Event 号位置后再手工加密拾取 Event 号之间的点, 最后将 Event 号作为数据输出项与拾取特征点一起保存输出。图 4 就是在图 3 基础上自动拾取 Event 号位置, 地形变化大的反射位置再人工加密拾取一些点来跟踪实际反射层位。

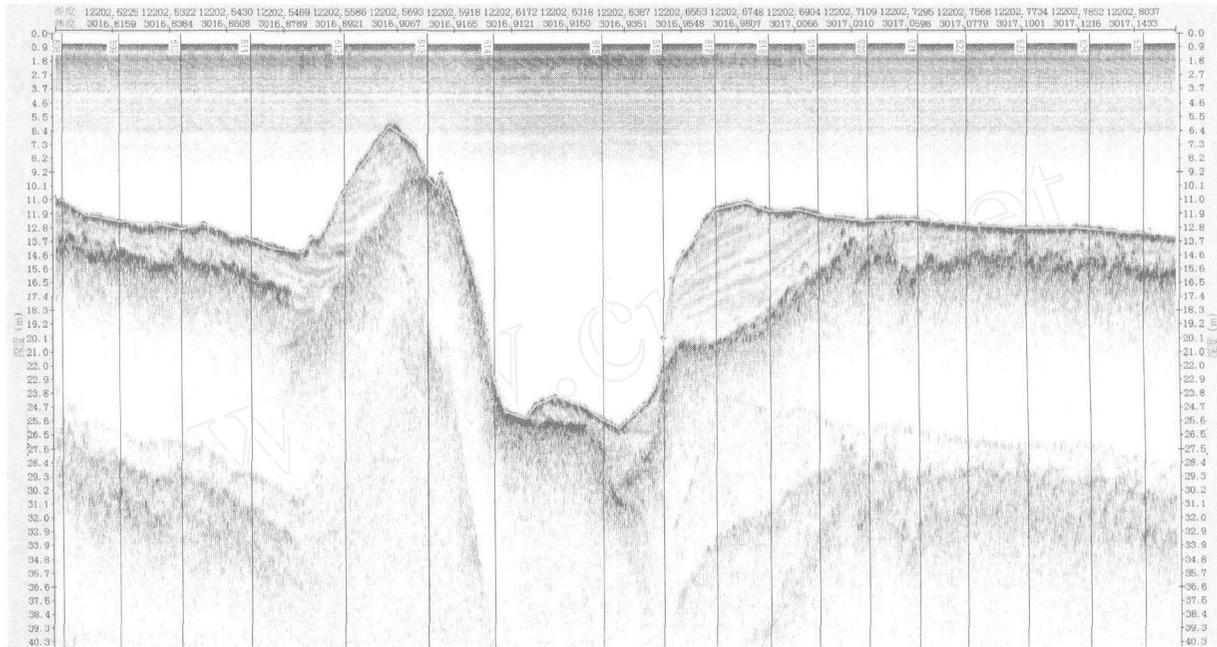


图 4 拾取 Event 号位置并手工加密拾取的结果

Fig.4 The result of auto picking event number and manual encrypting picking

Event 定位号在 SEG-Y 存储格式中并没有专门的定义字节号来存放它, XTF 数据格式中虽然有专门的存放定义, 但野外工作时导航软件只输出导航位置信号到浅剖采集软件中, Event 定位信号没有专门的接口输出到浅剖数据中, 所以还需对 Event 号进行专门的处理。对 SEG-Y 数据, CAP-6600 系统采集软件一般按字符串把 Event 信号存放在 SEG-Y 道头末尾, 我们回放数据时把 Event 号按位置取出来使用即可; 对 XTF 数据, 因数据内没有 Event 内容, 程序只能通过软件界面接口把导航数据中的定位 Event 号按时间关系灌进 XTF 数据中, 解释时就可以充分利用该 Event 定位数据了。

3.3 等 Ping 间隔拾取

交互解释时若每个 Ping 位置都拾取, 手工拾取就会带来繁琐的工作量, 自动拾取同样也会带来很大的计算量, 而且拾取的结果会有大量的冗余数据, 给解释与成图工作带来人为的麻烦。同拾取

Event 号位置相似, 程序若能提供等 Ping 间隔拾取的功能, 则可为拾取工作带来很大的解放。该间隔大小由解释人员自己输入, 并随时可以更改, 方便实际解释工作的需要。该功能在手工拾取时需要结合人工拉直线拾取的功能一起使用, 而在自动拾取时程序会按人工输入的间隔数据跳跃搜索能量最大值的位置, 这样可以减少自动拾取的的计算量, 加快自动拾取的速度。

3.4 层位厚度拾取

如前所述, 因多数浅地层剖面数据未经姿态和潮位改正, 拾取时不能把浅地层剖面上拾取到的海底作为解释结果输出, 而是以经过姿态改正后的单波束或多波束海底剖面作为实际水深, 把浅地层剖面上拾取的层位按位置叠加到水深剖面上, 这样才是可靠的海底地质解释图。要实现浅地层解释剖面与水深剖面的结合, 只能利用反射层相对于剖面上海底的厚度。要得到反射层厚度, 浅地层剖面拾取

时就要提供与海底面相同位置拾取下面反射层位的功能，这样就方便地求得与海底同位置上的层位厚度。图 5 就是根据上面要求拾取海底面下相同位置解释点处的反射层位点，根据这些相同位置的拾

取点，就可计算出各层拾取点相对与海底的厚度，如表 1 所示（表中的 Event 号为 0 时表示该点为手工插入点）。

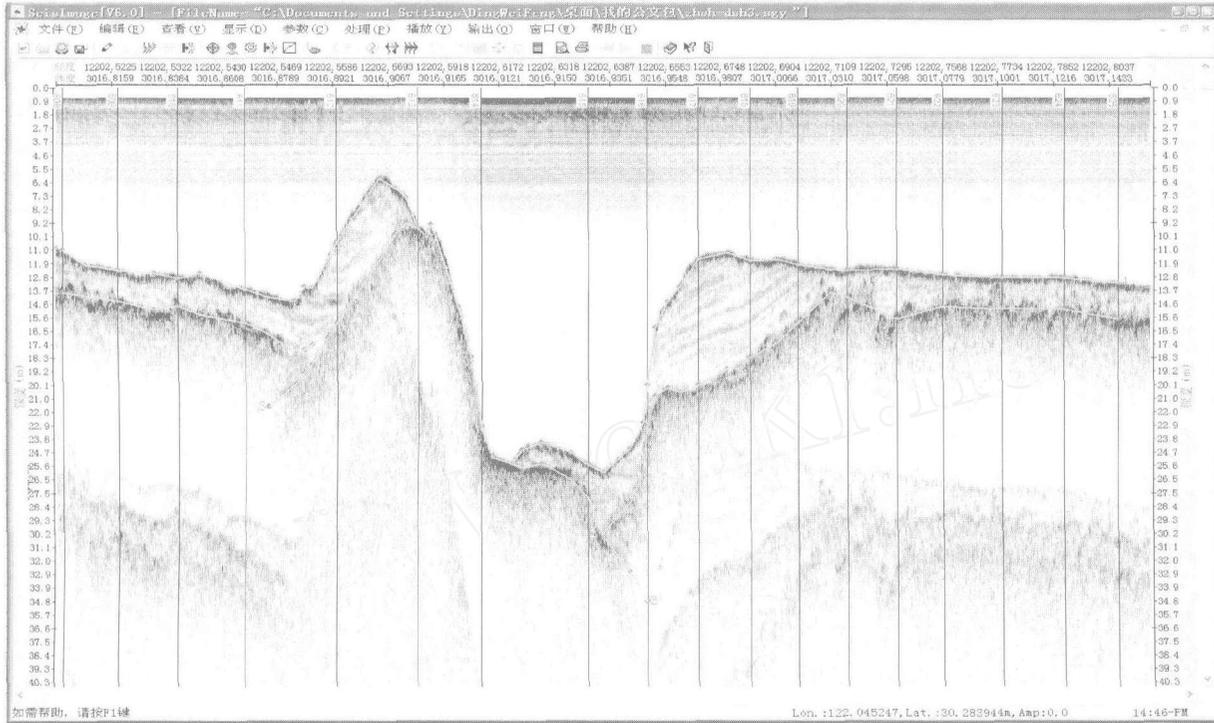


图 5 反射层位按海底同位置解释点拾取的结果

Fig.5 The result of the same position reflector picking to sea floor

表 1 图 5 拾取的部分输出结果

Tab.1 The part output results of picking points for two interpreted layers in Fig.5

Ping 号	Event 号	纬度(°)	经度(°)	层位深度(m)			层位厚度(m)		
				第 1 层	第 2 层	第 3 层	第 1 层	第 2 层	第 3 层
413	0	30.281266	122.042447	14.18	16.65	21.50	0.00	2.47	7.32
499	0	30.281469	122.042545	13.54	17.29	18.75	0.00	3.75	5.21
547	612	30.281550	122.042659	10.33	15.82	15.82	0.00	5.49	5.49
682	0	30.281864	122.042903	7.32	9.15	9.24	0.00	1.83	1.92
705	613	30.281905	122.042985	9.42	9.42	9.42	0.00	0.00	0.00
809	0	30.281880	122.043424	18.30	18.39	18.48	0.00	0.09	0.18
829	614	30.281851	122.043505	22.96	23.05	23.05	0.00	0.09	0.09
1003	0	30.281990	122.043880	24.70	26.43	26.53	0.00	1.73	1.83
1037	615	30.282100	122.043928	25.52	27.72	27.72	0.00	2.19	2.19
1117	0	30.282360	122.044010	24.33	28.18	32.75	0.00	3.84	8.41
1144	0	30.282450	122.044091	22.69	25.98	34.67	0.00	3.29	11.98

4 结论

上面各项功能是在 CAP-6600 系统 ChirpII 数据实际解释工作的基础上提出并实现的, 用该研究软件对 Triton 公司 SB-Logger 采集软件存储的 SEG-Y 数据以及 Chesapeake 公司 SonarWizMap+SBP 采集软件存储的 SEG-Y 数据都做了相应的交互解释工作, 该软件在提供满意解释结果的同时, 对提高层位解释拾取的精度与加快解释工作的进度都起着非常大的帮助, 为解释结果与其他资料的综合利用提供了极大的便利。

充分利用浅地层剖面资料的特点, 研究开发更加完善实用的交互拾取技术, 并结合水深数据, 把交互拾取的结果存为 dxf 格式供 CAD 成图时直接调用是今后继续研究发展的工作。

参考文献:

- [1] 夏美永,米晓利.浅海剖面仪在海洋工程中的应用[J].物探装备, 2002,3:52-54.
- [2] Lightbown K.CAP-6600 Chirp II Acoustic Profiling System Manual[R].US: Datasonics,Inc.1997.
- [3] 丁维凤,冯霞,来向华,等.Chirp 技术及其在海底浅层勘探中的应用[J].海洋技术, 2006,1:12-15.
- [4] 王琦,刘雁春,暴景阳.浅剖仪垂直探测分辨率分析[J].海洋科学, 2003,27(6):77-80.
- [5] 左国权,王彦春.利用能量比法拾取地震初至的一种改进方法[J].石油物探, 2004,7:345-347.
- [6] 王忠仁,陈祖斌,张林行,等.可控震源地震勘探的数值模拟[J].吉林大学学报(地球科学版), 2006,4: 627-630.

The research of interactive interpretation picking for sub-bottom profile

DING Wei-feng, LUO Jin-hua, LAI Xiang-hua, GOU Zheng-kang,
FU Xiao-ming

(Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012,China)

Received: Jan.,26,2008

Key words: sub-bottom profile; human-computer interactive picking; event numbers; thickness of reflector

Abstract: Sub-bottom exploring is an effective method for investigations of potential geological disaster in ocean engineering. Based on the characteristics of the sub-bottom profile, we propose some methods to realize the human-computer interactive picking of the reflection horizon of the sub-bottom. Function of this method includes automatic picking of the feature points, human-computer interactive picking using Event numbers ,and calculation of the thickness of sub-bottom reflector. These methods have been put into practical application and the results are very well.

(本文编辑: 刘珊珊)