

利用简正波频散特征映射方法进行 海洋环境参数反演*

牛海强^{1,2} 何 利^{1,2} 李整林^{1,3} 张仁和¹ 南明星⁴

(1 中国科学院声学研究所 声场声信息国家重点实验室 北京 100190)

(2 中国科学院大学 北京 100049)

(3 中国科学院声学研究所 南海研究站 海口 570105)

(4 总参气象水文局 北京 100081)

2012 年 9 月 11 日收到

2013 年 1 月 22 日定稿

摘要 浅海波导中传播的脉冲信号可以通过频散特征映射方法 (warping 变换) 进行简正波的有效分离, 这使得频散曲线的获取更加容易和准确。利用简正波频散特征映射方法分析 2010 年南海声层析实验中单个阵元接收的声学信号, 有效分离出各号简正波, 并进一步通过 Wigner-Ville 分布处理提取出波导中各号简正波的频散曲线。将提取的频散曲线与理论计算到达时差进行匹配, 实现了利用单水听器信号的海洋环境参数反演。实验结果表明: 将简正波分离与 Wigner-Ville 分布相结合可有效消除 Wigner-Ville 分布在估计多分量信号时的交叉干扰, 提取的频散特征可很好地用于同时反演海水和海底声速剖面。为评价反演结果的有效性, 对反演结果进行了后验概率分析, 并将一小时内的海水声速剖面反演结果与温度链实测值作对比, 二者符合较好。

PACS 数: 43.30

Inversion for the environmental parameters in shallow water using warping transforms

NIU Haiqiang^{1,2} HE Li¹ LI Zhenglin^{1,3} ZHANG Renhe¹ NAN Mingxing⁴

(1 *State Key Laboratory of Acoustics, Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences* Beijing 100190)

(2 *University of Chinese Academy of Sciences* Beijing 100049)

(3 *Haikou Laboratory of Acoustics, Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences* Haikou 570105)

(4 *General staff MET-HYD department* Beijing 100081)

Received Sept. 11, 2012

Revised Jan. 22, 2013

Abstract The normal modes of the impulsive signals propagating in shallow water waveguide can be separated using warping transforms. It facilitates the extraction of the dispersion curves of normal modes. The warping transform is applied to the signals received by a single hydrophone collected in the South China Sea during the tomography experiment in 2010. The dispersion curves are extracted using Wigner-Ville Distribution. It demonstrates that the isolation of normal modes can eliminate the intercross interference of Wigner-Ville Distribution effectively. By matching the arrival time differences of normal modes with the numerical results, both the sound speed profile of water and the acoustic parameters of sediment are well inverted. The validity of inversion was evaluated by the posteriori probability. The inverted sound speed profiles of sea water are consistent with the experimental measurements. It is shown that the inversion scheme can provide a valid and stable environmental estimation.

* 国家自然科学基金 (11174312, 11074269) 资助

引言

在水声学中,海水声速、海底的密度和声速等海洋环境参数是影响声传播的主要因素。由于这些环境参数很难直接测量,因而利用声学手段进行海洋环境参数反演成为水声物理中的热点问题。水声学反演中一般采用水平阵或垂直阵的数据进行反演。水听器阵可以提高信噪比和增加声场采样的空间多样性,但是在实际应用中,大孔径的水听器阵列的布放是必须面对的困难之一。近些年来,一些利用单水听器进行参数反演的方法被提出^[1-3]。虽然利用单水听器反演损失了声场的一部分空间采样,但是仍然可以利用宽带脉冲声源以频率的多样性弥补空间采样的不足。单水听器反演方法一般利用波导中简正波的频散特性,即不同频率、不同模态的简正波会以不同的群速度在波导中传播。简正波的频散特性一般在时频域^[4-6]进行分析。Zhang R H 等人通过对简正波群速的分析得到了单个简正波的波形,并利用信号的传播时间差与指数衰减系数,得到一定频带内小掠射角海底反射系数^[7]。Zhou J X 和 Li Z L 等人利用简正波的群延迟及幅度反演海底声速和衰减系数等参数^[8-9]。G. R. Potty 等人运用基于单水听器信号的小波分析方法对海底参数进行反演^[10-11],针对小波分析方法的分辨率问题,Zhang D M, Li Z L 和 Zhang X L 等人利用自适应最优核时频分布的方法提取各号简正波的频散曲线^[12-14],进而对地声参数进行反演。

利用海洋波导中简正波的频散关系反演环境参数,关键在于准确地提取各号简正波的频散曲线。时频分析方法是提取频散曲线最直接的工具之一。自 Gabor 提出时频分析的思想以来,国内外学者已经提出了许多时频分析的方法。准确地提取频散曲线要求所使用的时频分析方法有较高的时频分辨率。Wigner-Ville 分布是一种双线性时频表示方法,其在时频联合分布中具有最高的时频分辨率,但是其最大的缺点是对于多分量信号有严重的交叉项干扰。短时傅里叶变换作为一种线性的时频分析方法,没有交叉项的干扰,但是其时频分辨率不高,很难直接获得准确的频散曲线。由于在海洋波导中传播的水声信号是典型的多分量信号,即信号中包含多个简正波模态的分量,而目前的时频分析方法对多分量信号的时频估计性能有限,在某些波导环境下难以获得令人满意的结果。近几年,基于简正波频散特征映射(warping 变换^[15-19])的信号处理方法被应用于水声学中。G. Le. Touzé 等人提出一种针对 Pekeris 波导

模型的修正 warping 变换方法,并在此基础上详细比较了几种频域和时频域滤波方法的性能差异^[16]。

J. Bonnel 等人利用 warping 变换分离波导简正波,并利用重排的谱图分析方法估计单号简正波的频散曲线^[17-18],最后利用提取的频散曲线进行地声参数反演。J. Bonnel 等在 warping 变换的基础上提出一种基于模态反转的用于地声参数反演的代价函数^[19]。

本文利用 2010 年 6 月一次南海实验中水平接收阵上其中一个阵元接收到的声学数据,通过 warping 变换分离各号简正波。由于 Wigner-Ville 分布对单号简正波具有最高的时频分辨率^[12],故本文对分离之后的每阶简正波信号用 Wigner-Ville 分布提取频散曲线,将提取出的频散曲线用于海洋环境参数的反演,并将反演得到的海水声速剖面与温度链的实测值作对比。最后,根据反演的结果分析了代价函数对各个参数的敏感性。

1 时域 warping 变换

根据简正波理论,海洋波导中水听器接收到的声信号的时域表达式可以表示为^[17]:

$$y(t) = \sum_{m=1}^N A_m(t) e^{j\Phi_m(t)}, \quad (1)$$

其中, $\Phi_m(t)$ 表示第 m 号简正波随时间变化的相位, $A_m(t)$ 为第 m 号简正波的瞬时幅度,它是时间的缓变函数, N 为简正波模态的号数。在理想波导条件下,随时间变化的相位 $\Phi_m(t)$ 可以表示为^[20]:

$$\Phi_m^{\text{id}}(t) = 2\pi f_{cm} \sqrt{t^2 - (r/c)^2}, \quad (2)$$

式(2)中, $f_{cm} = mc/2D$ 是理想波导第 m 号简正波的截止频率。 D 为理想波导的深度, c 为波导中的声速, r 为信号的收发距离。因此,在理想波导条件下,式(1)可写为:

$$y(t) = \sum_{m=1}^N A_m(t) e^{j2\pi f_{cm} \sqrt{t^2 - (r/c)^2}}. \quad (3)$$

令 $h(t) = \sqrt{t^2 + (r/c)^2}$ 为 warping 函数,代入式(3)中,相当于对接收到的时域信号进行了重采样,将式(3)中的原始采样时刻 t 代换成新的采样时刻 $h(t)$,得到时域 warping 变换后的结果:

$$W_h y(t) = \sum_{m=1}^N C_m(t) e^{j2\pi f_{cm} \sqrt{h(t)^2 - (r/c)^2}} = \sum_{m=1}^N C_m(t) e^{j2\pi f_{cm} \sqrt{t^2 + (r/c)^2 - (r/c)^2}} = \sum_{m=1}^N C_m(t) e^{j2\pi f_{cm} t}, \quad (4)$$

其中 $C_m(t) = \sqrt{h'(t)}A_m[h(t)]$ 是变换之后第 m 号简正波的瞬时幅度， $\sqrt{h'(t)}$ 保证了变换前后信号的能量是守恒的，即 warping 变换是一种酉变换 [16]。由式(4)可以看出，对于 warping 变换之后的各阶模态，其瞬时相位是随时间线性变化的，即变换之后每阶简正波变为单频信号，且单频信号的频率对应每一阶简正波的截止频率。Warping 变换是一种可逆变换，时域的逆 warping 变换通过逆变换函数 $h^{-1}(t) = \sqrt{t^2 - (r/c)^2}$ 实现。

虽然式(4)得到的 warping 变换是在理想波导的基础上得出的，但是文献 17 和文献 18 指出 warping 变换是一种较为稳健的变换，它可以用于大部分低频的浅水波导中。

2 实验概况及海水声速的经验正交函数表示

2010 年 6 月 7 日到 9 日，中国科学院声学研究所声场声信息国家重点实验室在南海浅水海域进行了一次浅海声学层析实验。实验海区的平均深度为 98.2 m。图 1 为实验设备布放的示意图。实验使用布设在海底的水平阵接收由声学发射潜标发射的信号。声学发射潜标用一重块锚在距离海底以上 7.5 m 的深度，距水平接收阵约 39.3 km。实验中，每隔 1 min 连续发射 6 次 1 s 的 160 ~ 250 Hz 线性调频信号。对接收到的线性调频信号作脉冲压缩处理以提高信噪比，作为例子，图 2 给出水平阵中单个水听器接收的脉冲压缩之后的一个信号。本文利用水

平阵单个阵元接收的信号进行海洋环境参数声学反演。为表述方便，没有特别说明下面所述的接收信号均指对原始信号作脉冲压缩之后的声信号。

实验期间在声源和水平阵附近分别布设了两套锚系温度链，用于对水温进行长时间的同步观测。图 3 所示为从 6 月 7 日 14:30 至 6 月 8 日 20:30 由两条温度链的实测数据计算得到的海水声速剖面随时

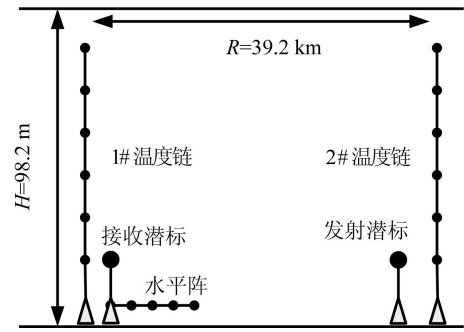


图 1 声层析实验设备布放示意图

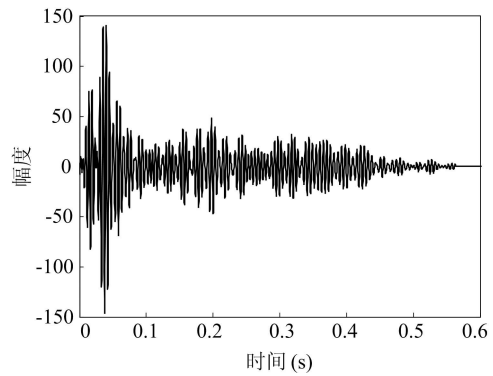


图 2 水平阵中单个通道记录的经脉冲压缩之后的一个声传播信号

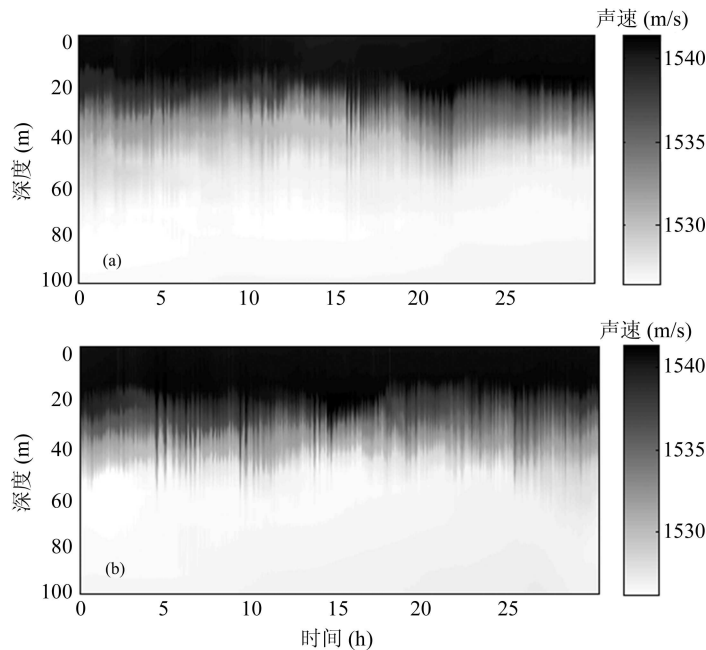


图 3 温度链实测声速 (a) 1# 温度链; (b) 2# 温度链

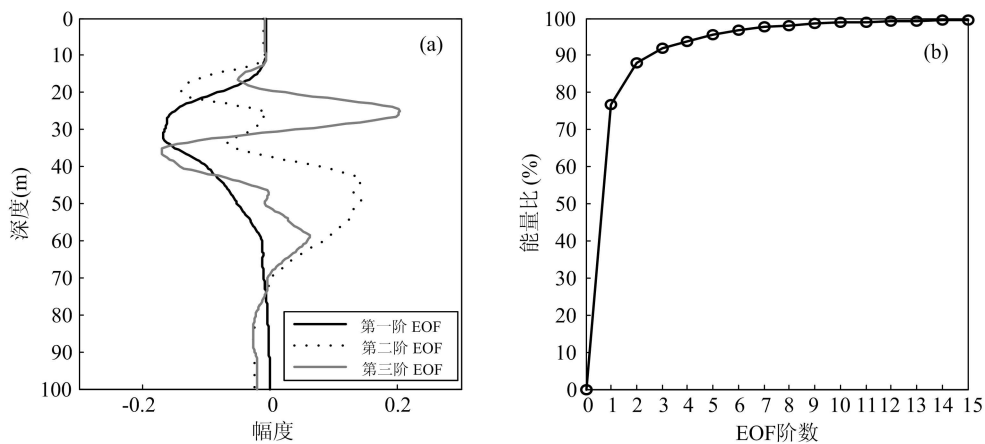


图 4 提取的海水声速的经验正交函数 (a) 前三阶 EOF; (b) 前 n 阶 EOF 所能表示声速扰动的能量百分比

间的变化, 其中图 3(a) 为 1# 温度链测量的结果, 图 3(b) 为 2# 温度链测量的结果。考虑到实验期间, 海洋内波活动使得声速剖面存在一定起伏, 故将海水的声速也作为未知参数与海底声学参数一起反演。为了减少待反演参数, 根据文献 21 所述方法利用经验正交函数 (EOF) 来表示海水声速剖面。图 4 给出提取的经验正交函数, 其中 4(a) 为前三阶 EOFs, 图 4(b) 表示前 15 阶经验正交函数所能表示的声速剖面扰动的能量百分比, 可见前二阶 EOF 就能表示近 90% 的声速变化。这样, 反演海水的声速剖面就转化为反演前二阶 EOF 的系数。

3 简正波到达时间估计及海洋环境参数反演

利用简正波到达时间反演海洋环境参数, 图 5 为整个参数反演的流程图。首先, 从实验数据中估计各

号简正波的到达时间, 提取频散曲线; 其次, 通过建立声场模型计算简正波群速度及到达时间差; 最后, 将实验测量的频散结构与模型计算结果构成代价函数并寻找代价函数的最小值, 进而估计出待反演的参量。

3.1 简正波到达时间估计

对 2010 年南海实验中 6 月 8 日 11:00 — 16:00 时间段内共 239 个接收到的信号分别作 warping 变换, 得到变换之后的时域信号, 再对变换之后的信号作 FFT, 得到变换之后信号的频谱。Warping 变换之后的信号频谱反映了信号中主要模态构成。图 6 为 239 个信号做 warping 变换之后的信号频谱。由于 warping 变换是一种酉变换, 在变换前后信号能量保持不变, 故从图 6 中可以看出, 在大部分时间内, 第 2 号简正波的能量较强。而第 3 号简正波的能量较弱, 这主要由于声源位于第 3 号简正波本征函数的

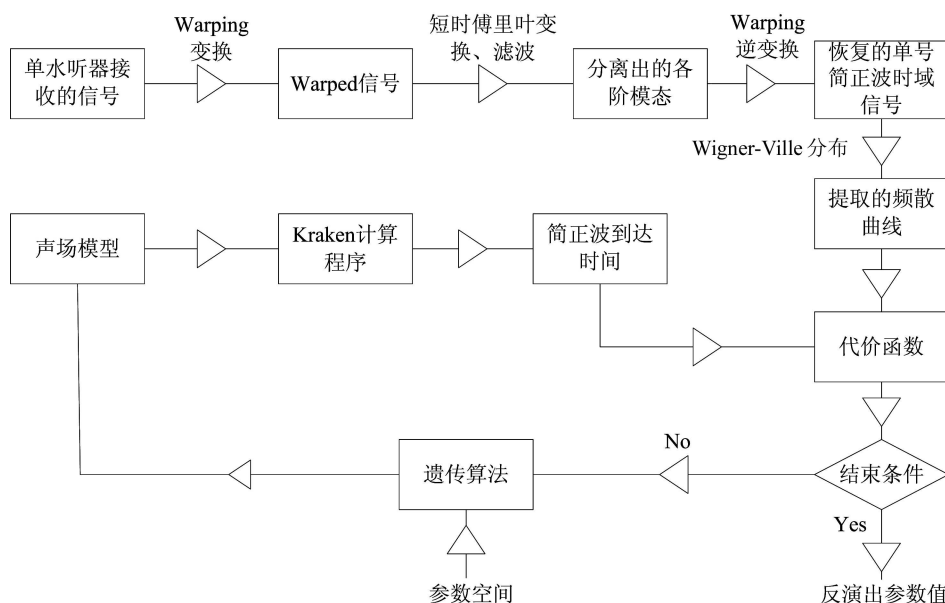


图 5 参数反演流程图

节点附近。从图 6 可见，经 warping 变换之后各号简正波在 warping 频域上可以很好地分离开来，第 1 ~ 6 号简正波对应的特征频率分别在 8.3 Hz, 12.7 Hz, 15.0 Hz, 22.7 Hz, 31.0 Hz, 37.8 Hz 附近。

对于实际波导，warping 变换之后的信号不是严格的单频信号，可能会有一定的频带展宽。为了提高各号简正波分辨的宽容性，我们利用短时傅里叶变换对各号简正波进行分离和过滤，即在时频域内对简正波进行滤波处理。下面以 6 月 8 日 13:04 接收到的一个信号为例，来说明整个反演流程。

图 7 为将 warping 变换之后的信号作短时傅里叶变换的结果，从图中可以看出，作 warping 变换之

后前 5 号简正波被明显地分离开来，与图 6 的结果相同，第 2 号简正波的能量最强。在时频平面内进行滤波处理，将前 5 号简正波分别过滤出来，再将过滤出来的每一号简正波作 warping 逆变换，恢复出前 5 号简正波的时域信号，最后将前 5 号简正波的信号用 Wigner-Ville 分布分别作时频分析，得到前 5 号简正波的到达时间曲线。Wigner-Ville 分布的表达式为 [12]:

$$P_x(t, f) = \int_{-\infty}^{\infty} x\left(t + \frac{\tau}{2}\right) x^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) e^{-j2\pi f\tau} d\tau, \quad (5)$$

其中 $x(t)$ 是单号简正波的解析信号。

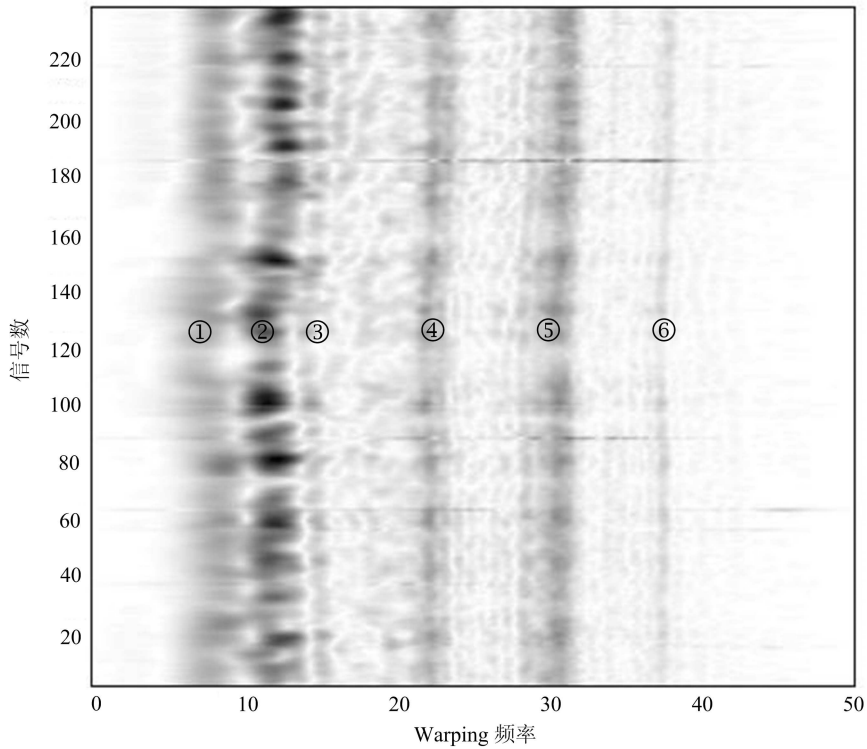


图 6 对 239 个信号作 warping 变换之后的信号频谱 (图中数字① ~ ⑥表示前 6 号简正波)

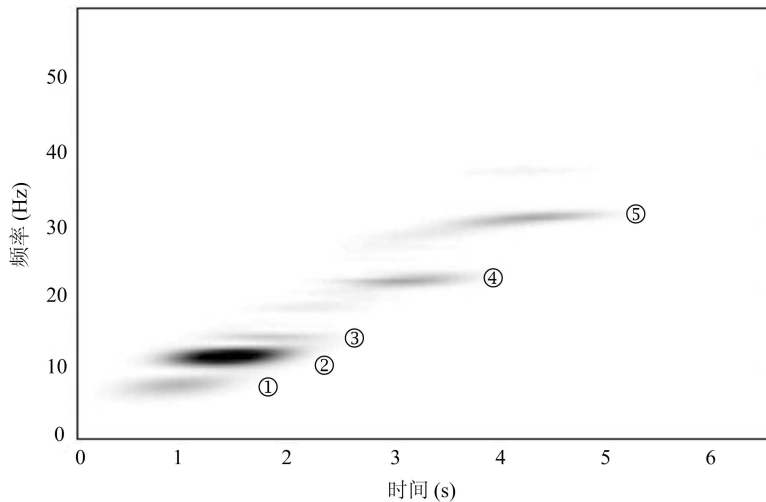


图 7 对 warped 信号作短时傅里叶变换之后的结果 (图中数字① ~ ⑤表示前 5 号简正波)

图 8(a) 给出未经过任何处理, 直接对脉冲压缩之后的原始接收信号用 Wigner-Ville 分布进行处理得到的时频图。图 8(b) 为经过简正波分离之后通过 Wigner-Ville 分布得到的前 5 号简正波的时频图。如上所述, Wigner-Ville 分布在估计多分量信号时会出现严重的交叉项干扰, 以致完全无法分辨实际的简正波到达结构, 而经过简正波分离处理之后, 对每号简正波的信号单独用 Wigner-Ville 分布进行处理, 相当于对单分量的信号作时频分析, 有效消除了交叉项干扰。

3.2 海洋环境参数反演

将图 8(b) 所示的时频图中的峰值点提取出来,

得到前 5 号简正波的到达时间曲线。为使反演中使用的频散曲线尽量准确, 我们只利用高信噪比的频段提取的频散曲线。表 1 为反演所使用的各号简正波到达时间的频段范围。

参照文献 13, 我们建立如下用于反演的代价函数:

$$\cos t(\Omega) = \sum_n \sum_f \left| \Delta T_n^{(e)}(f) - \Delta T_n^{(c)}(f, \Omega) \right| + \sum_{n,m(m \neq n)} \sum_f \left| \Delta T_{mn}^{(e)}(f) - \Delta T_{mn}^{(c)}(f, \Omega) \right|, \quad (6)$$

式 (6) 中, Ω 表示待反演的参数, $\Delta T_n(f)$ 为第 n 号简正波不同频率信号的到达时间差, $\Delta T_{mn}(f)$ 为相

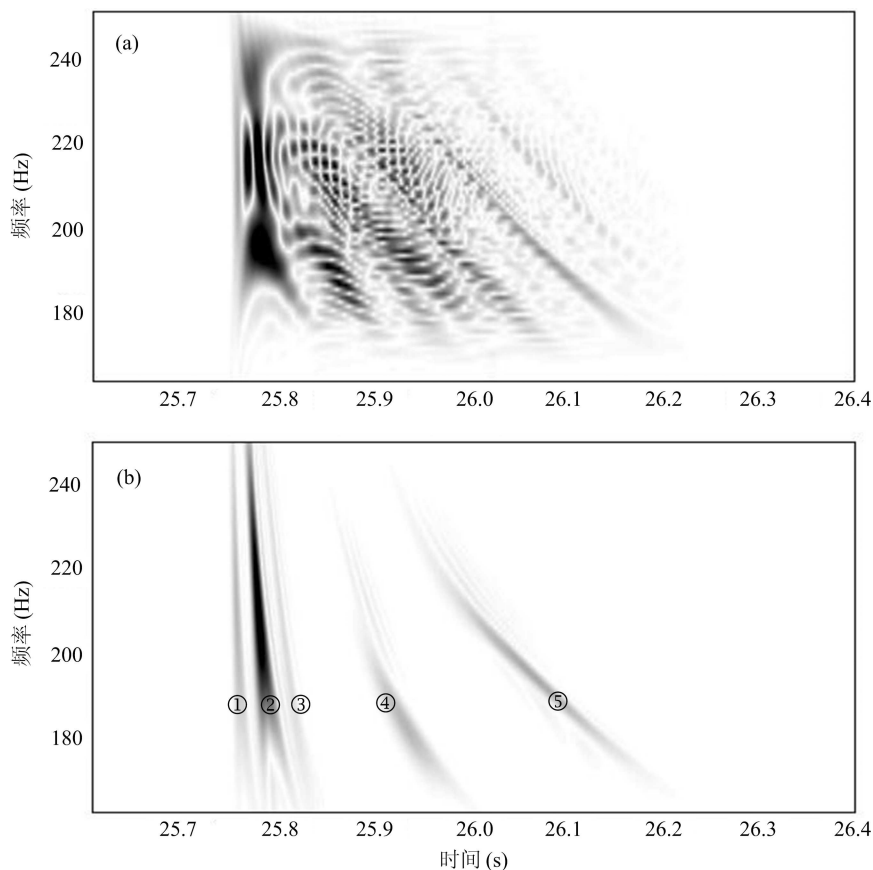


图 8 Wigner-Ville 分布得到的时频图 (a) 未经简正波分离的 Wigner-Ville 分布结果; (b) 经简正波分离之后的 Wigner-Ville 分布结果 (图中数字① ~ ⑤表示前 5 号简正波)

表 1 反演使用的各号简正波到达时间的频段范围

简正波号数	频段下限 (Hz)	频段上限 (Hz)	频率间隔 (Hz)
1 #	180	230	1
2 #	185	230	1
3 #	170	230	1
4 #	170	200	1
5 #	170	220	1

同频率下，第 n 号简正波和第 m 号简正波的到达时间差。上标“ e ”代表实验数据提取值，上标“ c ”代表理论计算值。 $\Delta T_n(f)$ 的表达式如下：

$$\Delta T_n(f) = [1/V_g^{(n)}(f) - 1/V_g^{(n)}(f_H)]r, \quad (7)$$

$V_g^{(n)}(f)$ 是频率为 f 时第 n 号简正波的群速度， r 为信号的收发距离， f_H 为参考频率且 $f_H > f$ 。 $\Delta T_{mn}(f)$ 的表达式为：

$$\Delta T_{mn}(f) = [1/V_g^{(m)}(f) - 1/V_g^{(n)}(f)]r. \quad (8)$$

其中 $V_g^{(m)}(f)$ 由下式计算 [8]：

$$V_g^{(m)} = \frac{k_m}{\omega} \left(\frac{\int_0^\infty \rho(z) |\psi_m(z)|^2 dz}{\int_0^\infty \frac{\rho(z) |\psi_m(z)|^2}{c^2(z)} dz} \right), \quad (9)$$

其中， $\rho(z)$ 和 $c(z)$ 分别是介质密度、声速。 $\psi_m(z)$ 和 k_m 分别是第 m 号简正波的本征函数和本征值。

海底模型采用图 9 所示的两层模型。使用遗传算法 (GA) 在参数空间 Ω 中寻找一组参数 Ω_0 使式 (6) 所示的代价函数值达到最小。遗传算法搜索的参数共 5 个，分别为前 2 阶 EOF 系数、沉积层声速、沉积层厚度、基底声速。遗传算法每代人口数为 140，

共遗传 500 代，且通过多次平行计算确保收敛于最小值。由于群延迟对海底密度不敏感，故沉积层和基底的密度不作为遗传算法寻优的参数。根据文献 22 的方法，海底密度通过 Hamilton 经验公式由海底声速表示：

$$c = 2330.4 - 1257.0\rho + 487.7\rho^2, \quad (10)$$

其中 c 为声速， ρ 为密度。

即对于遗传算法每一次搜索的海底声速值，其密度可以由 Hamilton 经验公式计算得到，这样就达到间接反演海底密度的目的。表 2 为反演参数的取值范围及最后的反演结果，其中海底密度根据反演得到的海底声速最优值由式 (10) 计算得到。

4 海洋环境参数的敏感性分析及反演结果验证

在第 3 部分中，遗传算法用来搜索全局最优解。根据实验数据提取的频散曲线反演得到了海洋环境参数的最优值。为考察反演结果的可信度，对反演的 5 个参数利用概率密度函数 [14] 进行敏感性分析。图 10 给出反演参数的边缘概率密度分布图，图 10 中箭头所示位置为反演中搜索到的最优解对应的值。

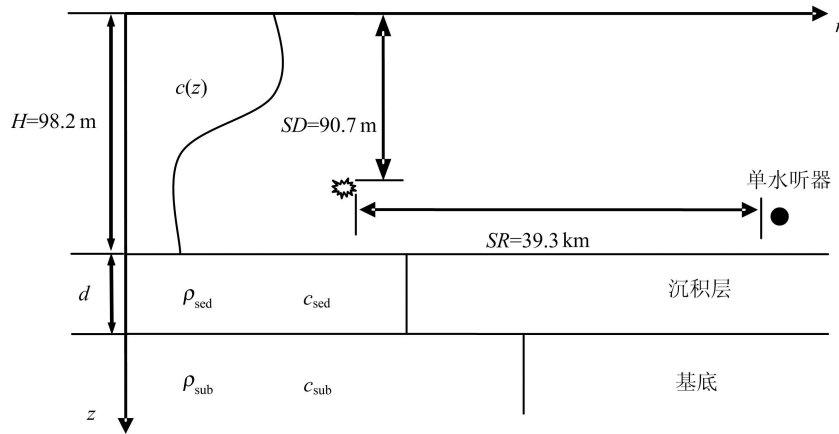


图 9 海底模型

表 2 参数空间及反演结果

反演参数	参数标识	下边界	上边界	反演结果
第一阶 EOF 系数	EOF1	-30	30	3.07
第二阶 EOF 系数	EOF2	-20	20	-2.70
沉积层声速 (m/s)	c_{sed}	1530	1630	1579
沉积层厚度 (m)	d	1	20	6.3
基底声速 (m/s)	c_{sub}	1580	1700	1650
沉积层密度 (g/cm ³)	ρ_{sed}	—	—	1.64
基底密度 (g/cm ³)	ρ_{sub}	—	—	1.80

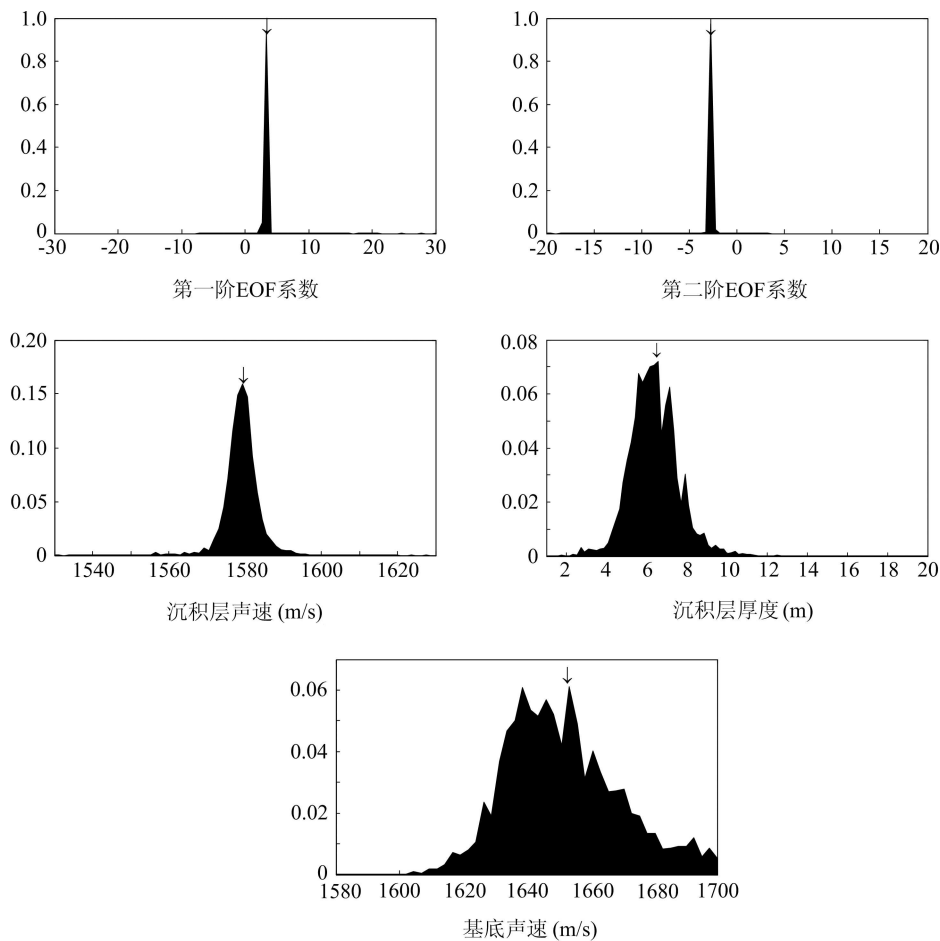


图 10 反演参数的边缘概率分布 (图中箭头所示位置为反演中搜索到的最优解对应的值)

由图 10 可见, 前两阶 EOF 系数、沉积层声速和沉积层厚度的最大概率密度都收敛于反演最优值附近, 并且离散程度低, 说明代价函数对 EOF 系数 (海水声速) 和沉积层的声速较为敏感, 其次是沉积层的厚度, 而基底声速相对不敏感, 其后验概率分布的主峰和旁峰的差别较小且有一定的离散度。根据代价函数对各个参数敏感性的不同, 可以认为反演得到的前两阶 EOF 系数 (海水声速) 和沉积层声速的可信度较高。

为验证反演结果的正确性, 图 11 给出了从实验数据中提取的简正波群延迟与反演结果理论计算的群延迟比较, 其中: 实线是由反演的海洋环境参数理论计算得到的群延迟曲线, 圆圈是实验数据提取值。可见二者符合得较好。图 12 为 6 月 8 日 13:00—14:00 一个小时内每隔 2 min 一个反演声速剖面与实验中发射点和接收点布设的 2 条同步观测温度链获得的信号发射时刻声传播路径上的平均声速剖面的比较, 图中每个信号反演结果相对于前一个信号在声速轴上平移了 20 m/s。对图 12 中的声速反演结果进行统计, 误差的最大标准差为 0.96 m/s, 最小标准差为 0.21 m/s。可见, 海水声速剖面的反演结果

与实测值符合得较好, 表明利用简正波群延迟反演海水声速剖面是稳定可靠的。另外, 声场声信息国家重点实验室在浅海声学层析实验之前的春季 (温跃层梯度和起伏都很小) 曾对该海域的海底沉积层声速进行过独立反演, 反演的结果为 1585 m/s, 与本文的反演结果相近。

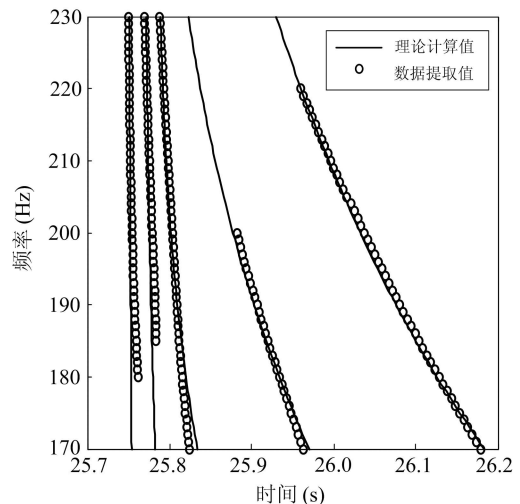


图 11 实验数据提取的简正波群延迟与利用反演得到的参数理论计算得到的群延迟对比, 信号时间 (6 月 8 日 13:04)

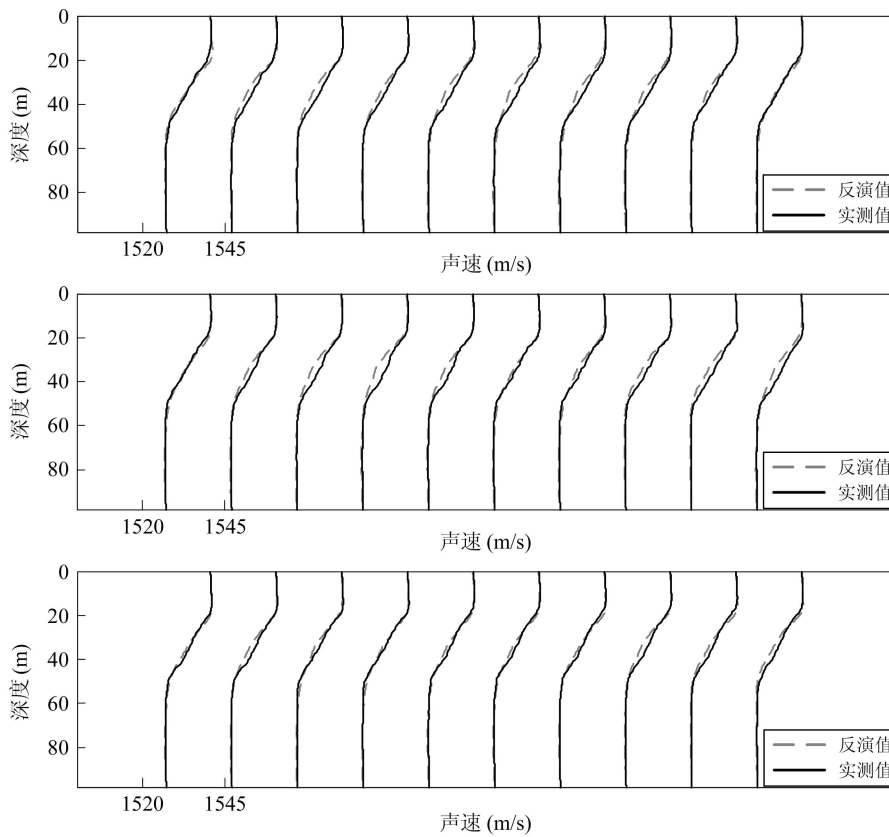


图 12 6 月 8 日 13:00 — 14:00 海水声速剖面的反演值与实测值对比

辛勤劳动为本文提供了可靠的实验数据。

5 总结

利用 2010 年南海一次声层析实验的数据，尝试通过单水听器测量信号来实现海洋环境参数的反演。首先利用 warping 变换进行简正波分离，将 Wigner-Ville 分布与简正波分离相结合有效克服了 Wigner-Ville 分布在估计多分量信号时的交叉干扰，在此基础上成功提取出各号简正波的到达时间曲线，并将提取的频散曲线用于海洋环境参数反演，分析了简正波群延迟对各个参数的敏感性。将最终反演的海水声速剖面与实测的声速剖面对比，二者符合得较好。结果表明，简正波的群延迟对海水声速和沉积层声速较为敏感，因此能够用来反演海水和沉积层的声速。反演方法和相应的信号处理技术对简化海洋环境声学反演实验具有重要意义。

为保证从实验数据提取的频散曲线的准确性，本文在反演中只使用了高信噪比的频段对应的简正波到达时间。如何在低信噪比的情况下准确提取简正波的频散曲线是下一步需要做的工作。

致谢

感谢参加海上实验的全体工作人员，是他们的

参 考 文 献

- 1 Hermand J P. Broad-band geoacoustic inversion in shallow water from waveguide impulse response measurements on a single hydrophone: Theory and experimental results. *IEEE J. Ocean. Eng.*, 1999; **24**(1): 41–66
- 2 Le Gac J C, Asch M, Stéphan Y *et al.* Geoacoustic inversion of broadband acoustic data in shallow water on a single hydrophone. *IEEE J. Ocean. Eng.*, 2003; **28**(3): 479–493
- 3 Heaney K D. Rapid geoacoustic characterization using a surface ship of opportunity. *IEEE J. Ocean. Eng.*, 2004; **29**(1): 88–99
- 4 Hong J C, Sun K H, Kim Y Y. Dispersion-based short-time Fourier transform applied to dispersive wave analysis. *J. Acoust. Soc. Am.*, 2005; **117**(5): 2949–2960
- 5 Zorych I, Michalopoulou Z H. Particle filtering for dispersion curve tracking in ocean acoustics. *J. Acoust. Soc. Am.*, 2008; **124**(2): EL45–EL50
- 6 Ioana C, Jarrot A, Gervaise C *et al.* Localization in underwater dispersive channels using the time-frequency-phase continuity of signals. *IEEE Trans. Sign. Process.*, 2010; **58**(8): 4093–4107
- 7 Zhang R H, Xiao J Q and Gong M. Analysis of individual modes in shallow water. *Chinese Journal of Acoustics*, 1984; **3**(3): 238–249
- 8 Zhou J X, Zhang X Z, Rogers P H. Geoacoustic parameters in a stratified sea bottom from shallow water acoustic

- propagation. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1987; **82**(6): 2068—2074
- 9 李整林, 鄢锦, 李风华等. 由简正波群延时及幅度反演海底参数. *声学学报*, 2002; **27**(6): 487—491
- 10 Potty G R, Miller J H, Lynch J F, Smith K B. Tomographic inversion for sediment parameters in shallow water. *J. Acoust. Soc. Am.*, 2000; **108**(3): 973—986
- 11 Potty G R, Miller J H. Inversion for sediment geoacoustic properties at the New England Bright. *J. Acoust. Soc. Am.*, 2003; **114**(4): 1874—1887
- 12 张德明, 李整林, 张仁和. 基于自适应时频分析的海底参数反演. *声学学报*, 2005; **30**(5): 415—419
- 13 Li Z L, Zhang R H. Geoacoustic inversion based on dispersion characteristic of normal modes in shallow water. *Chin. Phys. Lett.*, 2007; **24**(2): 471—474
- 14 张学磊, 李整林, 黄晓砥. 一种地声参数的联合反演方法. *声学学报*, 2009; **34**(1): 54—59
- 15 Baraniuk R G, Jones D L. Unitary equivalence: a new twist on signal processing. *IEEE Trans. Sign. Process.*, 1995; **43**(10): 2269—2282
- 16 Touzé G Le, Nicolas B, Mars J I *et al.* Matched representations and filters for guided waves. *IEEE Trans. Sign. Process.*, 2009; **57**(5): 1783—1795
- 17 Bonnel J, Nicolas B, Mars J I *et al.* Estimation of modal group velocities with a single receiver for geoacoustic inversion in shallow water. *J. Acoust. Soc. Am.*, 2010; **128**(2): 719—727
- 18 Bonnel J, Chapman N. Geoacoustic inversion in a dispersive waveguide using warping operators. *J. Acoust. Soc. Am.*, 2011; **130**(2): EL101—EL107
- 19 Bonnel J, Gervaise C, Nicolas B *et al.* Single-receiver geoacoustic inversion using modal reversal. *J. Acoust. Soc. Am.*, 2012; **131**(1): 119—128
- 20 Tolstoy I, Clay C. Ocean acoustics: Theory and experiment in underwater sound. New York: Acoustical Society of America, 1987
- 21 何利, 李整林, 彭朝晖等. 南海北部海水声速剖面声学反演. *中国科学: 物理学力学天文学*, 2011; **41**(1): 49—57
- 22 LI Z L, LI F H. Geoacoustic inversion for sediments in the South China Sea based on a hybrid inversion scheme. *Chin. J. Oceanol. Limnol.*, 2010; **28**(5): 990—995

声学消息

《声学学报》、《Chinese Journal of Acoustics》新一届编辑委员会成立

根据《声学学报》、《Chinese Journal of Acoustics》2012年12月编辑委员会会议决定, 决定组成《声学学报》、《Chinese Journal of Acoustics》新一届编辑委员会, 并请编委会委员提名推荐。根据推荐结果, 并考虑声学学科发展和分布情况、以及《声学学报》、《Chinese Journal of Acoustics》两刊发展情况, 并报经主办单位中国科学院声学研究所领导批准, 组成了《声学学报》、《Chinese Journal of Acoustics》新一届编辑委员会, 委员名单见本刊本期封二编委会名单。在此特别感谢上届编委会全体委员为《声学学报》、《Chinese Journal of Acoustics》两刊所付出的辛勤劳动和支持。

声学学报编辑委员会

2013年12月11日