

水下目标弹性声散射信号分离

夏峙 李秀坤

Separation of elasto acoustic scattering of underwater target

Xia Zhi Li Xiu-Kun

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 64, 094302 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.094302

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.094302>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I9>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

一种基于长基线交汇的超短基线定位系统精度评价方法

[An precision evaluation method of USBL positioning systems based on LBL triangulation](#)

物理学报.2015, 64(9): 094301 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.094301>

基于基追踪去噪的水声正交频分复用稀疏信道估计

[Sparse channel estimation of underwater acoustic orthogonal frequency division multiplexing based on basis pursuit denoising](#)

物理学报.2015, 64(6): 064301 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.064301>

水下目标几何声散射回波在分数阶傅里叶变换域中的特性

[Characteristics of the geometrical scattering waves from underwater target in fractional Fourier transform domain](#)

物理学报.2015, 64(6): 064302 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.064302>

声速剖面对不同深度声源定位的影响

[Influences of sound speed profile on the source localization of different depths](#)

物理学报.2015, 64(2): 024302 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.024302>

单载波频域均衡中的水声信道频域响应与噪声估计

[Frequency domain response estimation of underwater acoustic channel and noise estimation for single-carrier frequency domain equalization](#)

物理学报.2014, 63(19): 194304 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.194304>

水下目标弹性声散射信号分离*

夏峙 李秀坤†

(哈尔滨工程大学水声技术重点实验室, 哈尔滨 150001)

(哈尔滨工程大学水声工程学院, 哈尔滨 150001)

(2014年9月18日收到; 2014年11月6日收到修改稿)

水下目标弹性声散射与其他声散射成分在时域和频域上均存在混叠, 现有信号处理方法受分辨力限制无法在混叠状态下识别目标弹性声散射特征. 针对这个问题, 提出了一种目标弹性声散射信号分离方法. 以目标回波亮点模型为基础, 分析了线性调频信号入射时目标声散射成分的信号特性, 提出了一种目标声散射成分向单频信号的映射方法, 并理论推导出了目标声散射结构与映射结果之间的线性对应关系, 实现了通过窄带滤波分离出目标弹性声散射成分. 仿真与消声水池实验数据处理结果表明, 该方法基本可以完全分离出目标回波信号中的弹性声散射成分, 分离出的弹性声散射具有与理论一致的信号特征, 验证了该分离方法的有效性.

关键词: 水下目标回波, 弹性声散射, 声散射信号分离

PACS: 43.30.+m, 43.30.Vh

DOI: 10.7498/aps.64.094302

1 引言

目标声散射信号特征是主动声纳对水下人工目标探测与识别的重要依据. 水下人工目标的声散射信号主要有两种, 一种是声波在目标表面散射形成的几何声散射, 另一种是由目标结构共振引起的弹性声散射. 其中弹性声散射携带了目标的结构与材质等信息, 可以用来区分形状近似, 但材质不同的水下目标, 是水下目标声散射特性研究的重点之一. 根据目前已公开的研究成果, 已经基本掌握了简单形状水下目标弹性声散射的产生机理与信号特性, 并可以对目标弹性声散射的散射强度、频散特性与散射成分等进行理论计算与数值仿真^[1-5].

对于圆柱壳结构的水下目标, 在声纳接收端处更容易观察到的弹性声散射成分是由第一阶亚音速反对称 Lamb 波 (A_{0-} 波) 引起的. A_{0-} 波在圆柱壳表面的传播轨迹为螺旋线形, 分别有顺时针与逆时针两条传播轨迹. 这两条不同轨迹的 A_{0-} 波向外辐射时会相干叠加^[6-8]. 由于 A_{0-} 波的能量在

频域主要分布在中高频范围, 所以在某些文献中也称这种弹性声散射为中频增强回波 (mid-frequency enhancement echo, MFE). MFE 的频率与重复周期可以反映目标的物理特性, 如目标的壳体直径与厚度等^[9,10]. 美国海军研究机构领导的水下未爆弹药 (underwater unexploded ordnance, UXO) 探测项目就是研究不同弹药目标的 MFE 频谱特性差异提取特征^[11], 进而识别目标. MFE 的频谱特征与声波入射角度有关, UXO 探测项目通过测量数种炮弹目标的在声波入射角度连续变化下的声散射信号, 分析各目标的 MFE 在角度-频率谱上干涉条纹的差异, 并采用时频分析方法对 MFE 进行分析^[12,13], 结果表明从目标声散射的角度-频率谱上提取特征识别形状相同但材质不同的圆柱形弹性目标模型是可行的. 该项目研究还与传统声成像方法相结合, 采用合成孔径声纳获得目标弹性声散射的声学图像, 并从图像上提取目标特征^[14,15]. 实验研究结果表明, 在该方法建立的特征空间中, 不同种类的炮弹以及非炮弹目标具有明显不同的聚类

* 国家自然科学基金 (批准号: 51279033) 和黑龙江省自然科学基金 (批准号: F201346) 资助的课题.

† 通信作者. E-mail: lixiukun@hrbeu.edu.cn

区域.

在目标弹性声散射信号特征提取过程中, 目标弹性声散射与其他声散射成分在时域、频域上的混叠是影响目标弹性声散射特征提取的一个重要原因. 已有的研究中采用共振隔离和识别技术 (method of isolation and identification of resonances, MIIR) 提取目标的弹性声散射信号^[16], 该方法采用极短脉冲作为发射信号, 目标回波中几何声散射与弹性声散射之间具有较大的时间间隔, 所以可以在时域上分离出弹性声散射信号. 该方法的缺点在于目标回波信号能量较弱, 介质声吸收与混响会影响该方法在实际水声环境下的应用效果. 最近有文献提出了一种阵列处理方法, 根据不同基元获得的目标弹性声散射信号在时频域上的相关性, 通过子空间分解的方法提取目标弹性声散射信号^[17], 从实验数据处理结果来看, 该方法可以在一定程度上提高目标弹性声散射的可辨识性.

针对目标声散射成分混叠问题, 本文提出了一种目标声散射信号分离方法. 当主动声纳发射线性调频信号时, 根据弹性目标回波的亮点模型^[18], 目标声散射成分可以简化认为是入射信号不同时延的拷贝, 并且具有基本一致的线性调频特性. 据此本文提出了一种线性信号映射方法, 将目标声散射信号映射为单频信号, 并理论推导出了映射结果与目标声散射结构间的线性对应关系, 实现了通过窄带滤波的方式分离目标回波中各声散射成分, 提取出了目标弹性声散射信号. 仿真及水池实验数据处理结果验证了本文提出方法的有效性.

2 理论模型

本文研究的一种典型水下目标模型的示意图如图 1 所示, 目标主体为柱状壳, 内部中空, 一端为球状壳, 另一端为平面, 声波入射方向如图 1 中所示.

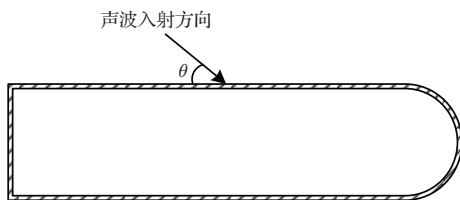


图 1 目标模型及声波入射方向示意图

Fig. 1. A sketch map of the target model and the incident direction of the acoustic wave.

上图所示目标模型的声散射成分性质与声波入射角度有关. 随声波入射角度的变化, 目标表面

可能产生的几何声散射包括柱面散射、球面散射、平面散射与棱角散射. 在该目标产生的各种弹性声散射中, 对目标识别贡献较大的是 A_0 -波环绕圆柱壳壳传播形成的中频增强回波 (MFE), 结合 MFE 的传播周期与声波入射角度, 可以估计出目标圆柱形结构部分的直径.

目标声散射传递函数的严格理论解计算复杂, 目前工程上常用亮点模型作为目标声散射近似计算模型. 该模型将目标几何声散射与弹性声散射视为声学亮点, 每个声学亮点是入射声波信号的延时拷贝, 具有不同的幅频响应函数与相位跳变. 单个声学亮点的传递函数可以记为

$$H(\mathbf{r}, \omega) = A(\mathbf{r}, \omega) \exp [j(\omega\tau + \varphi)], \quad (1)$$

其中, \mathbf{r} 为声波入射方向矢量, τ 是该亮点到接收点的时延, $A(\mathbf{r}, \omega)$ 是该亮点的幅频响应函数, φ 为相位跳变. 几何亮点的幅频响应可以根据物理声学方法计算, 弹性亮点的幅频响应可以采用有限元分析软件通过数值计算方式得出.

亮点模型认为目标回波是各个声散射成分的线性叠加. 设目标回波中共有 n 个声散射成分, 则根据 (1) 式, 目标回波的频域响应函数可以记为

$$X(\mathbf{r}, \omega) = \sum_{i=1}^n A_i(\mathbf{r}, \omega) \exp [j(\omega\tau_i + \varphi)] S(\omega). \quad (2)$$

其中, $X(\mathbf{r}, \omega)$ 是声纳接收到的目标回波的频谱, $S(\omega)$ 是发射信号的频谱. 在用主动声纳探测水下小目标的过程中, 采用宽带长脉冲作为主动声纳发射信号可以获得较高的能量增益与空间分辨力. 在这种情况下, 若脉冲长度大于任意两个声散射成分间的时延差 $|\tau_i - \tau_j|$, 则两个声散射成分在时域与频域上均会产生混叠, 下面通过仿真举例说明这种情况.

仿真目标回波中包含两个几何声散射成分与两个弹性声散射成分, 发射信号为 LFM 脉冲, 归一化调频范围 0.02—0.08, 脉冲宽度 1000 个采样点. 仿真弹性声散射成分的能量分布在中高频范围. 该仿真目标回波信号的时域波形、匹配滤波、功率谱与时频分布分别如图 2 所示, 其中时频分布通过 Wigner-Ville 分布 (WVD) 获得.

如图 2 可知, 从匹配滤波中能够判断出该仿真目标回波信号中存在四个声散射成分, 但从频谱上无法识别弹性声散射的中频增强特征, 从时频分布上也无法准确辨识出弹性声散射成分, 因此在目标声散射成分混叠的状态下无法有效提取出目标的弹性声散射信号特征.

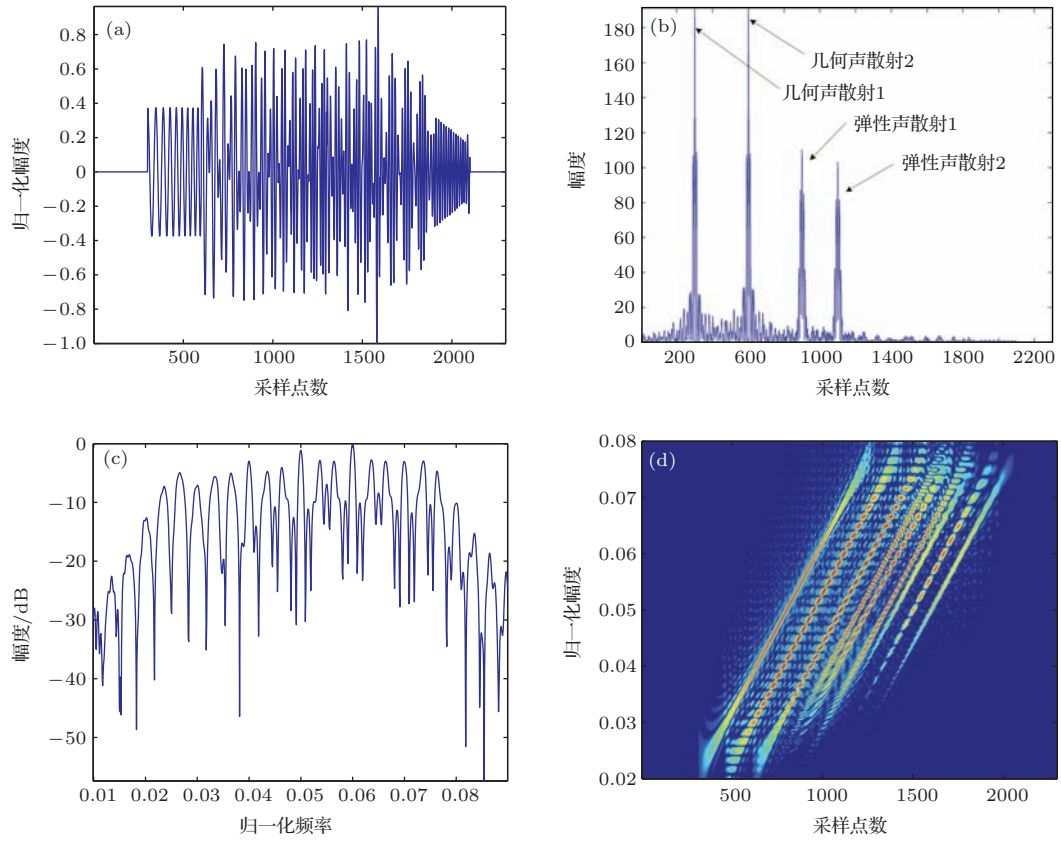


图2 (网刊彩色) 仿真目标回波 (a) 时域波形; (b) 匹配滤波; (c) 功率谱; (d) 时频分布

Fig. 2. (color online) The simulation of the target echo. (a) Time-domain waveform; (b) matched filtering result; (c) power spectrum; (d) time-frequency distribution.

3 目标声散射成分分离方法

忽略目标回波中各个声散射成分的幅频响应特性与相位跳变, 只考虑各声散射成分之间的时延关系, 则目标回波的时域冲击响应函数可以简化记为

$$h[n] = \sum_{i=1}^l a_i[\tau_i] \delta[n - \tau_i], \quad (3)$$

其中, $a_i(\tau_i)$ 为第 i 个声散射成分的散射强度. 根据 (3) 式, 目标回波为各声散射成分的线性叠加, 并且每个声散射成分可以视为入射声波信号的延时拷贝. 设主动声纳发射的 LFM 脉冲调频范围为 $f_0 - f_1$, 脉冲宽度为 N 个采样点, 则其调频斜率为 $k = (f_1 - f_0)/N$, 暂时不考虑时延, 单个声散射成分的时域形式 $x[n]$ 可以记为

$$\begin{aligned} x[n] &= A_m[n] \exp[j \cdot 2\pi(f_0 + 0.5kn)n] \\ &= A_m[n] \exp[j \cdot 2\pi f_0 n] \exp[j\pi kn^2], \end{aligned} \quad (4)$$

其中, $A_m[n]$ 为 $x[n]$ 的幅度调制项, $n = 1, 2, \dots, N$.

从 (4) 式可知, 单个声散射成分时域形式可以分解为三个部分, 即幅度调制项、单频项与调频项. 根据 (4) 式, 设一个 chirp 信号 $g[n]$ 为

$$g[n] = \exp[j\pi\gamma n^2]. \quad (5)$$

根据 (4) 式与 (5) 式可以发现, 若 $\gamma = -k$, 则 $x[n]$ 被 $g[n]$ 调制后的结果为

$$\begin{aligned} y[n] &= x[n] \cdot g[n] \\ &= A_m[n] \exp[j \cdot 2\pi f_0 n] \exp[j\pi kn^2] \\ &\quad \times \exp[-j\pi kn^2] \\ &= A_m[n] \exp[j \cdot 2\pi f_0 n]. \end{aligned} \quad (6)$$

忽略 (6) 式中的幅度调制项, 则 (6) 式表明, 目标声散射信号 $x[n]$ 可以被映射为一个单频信号 $y[n]$, 通过设计一个窄带滤波器将 $y[n]$ 从原信号中滤出, 再用 $\exp[j\pi kn^2]$ 调制就可以得到 $y[n]$ 对应的目标声散射成分信号.

代入目标声散射成分的时延信息后, $y[n]$ 的频率与目标声散射成分相对观测窗起始点的时延有关, 需要分两种情况考虑. 为便于书写, 下式中省略了幅度调制项 $A_m[n]$, 对推导结果不产生影响.

1) 相对于观察窗的0点, 信号 $x[n]$ 延迟了 l 个采样点, 总的信号采样点数为 $T = N + l$, $n = l + 1, l + 2, \dots, T$, $x[n]$ 为

$$x[n] = \begin{cases} 0, & n = 1, 2, \dots, l, \\ \exp[j \cdot 2\pi f_0(n - l)] \exp[j\pi k(n - l)^2], & n = l + 1, l + 2, \dots, l + N. \end{cases} \quad (7)$$

只考虑 $x[n] \neq 0$ 的情况, $g[n]$ 为

$$g[n] = \exp[j\pi(-k)(n - l)^2 + j \cdot 2\pi(-kl)(n - l)], \quad n = l + 1, l + 2, \dots, l + N \quad (8)$$

$x[n]$ 被 $g[n]$ 调制后的结果为

$$\begin{aligned} y[n] &= x[n] \cdot g[n] \\ &= \exp[j \cdot 2\pi f_0(n - l)] \exp[j\pi k(n - l)^2] \\ &\quad \times \exp[-j\pi k(n - l)^2 - j \cdot 2\pi kl(n - l)] \\ &= \exp[j \cdot 2\pi (f_0 - kl)(n - l)]. \end{aligned} \quad (9)$$

2) 相对于观察窗的0点, 若信号 $x[n]$ 提前了 l 个采样点, 总的信号长度为 $T = N - l$, $n = 1, 2, \dots, T$, $x[n]$ 为

$$x[n] = \exp[j \cdot 2\pi (f_0 + kl)n] \exp[j\pi kn^2]. \quad (10)$$

$x[n]$ 被 $g[n]$ 调制后的结果为

$$\begin{aligned} y[n] &= x[n] \cdot g[n] \\ &= \exp[j \cdot 2\pi (f_0 + kl)n] \exp[j\pi kn^2] \\ &\quad \times \exp[-j\pi kn^2] \\ &= \exp[j \cdot 2\pi (f_0 + kl)n]. \end{aligned} \quad (11)$$

从(9)式与(11)式可以发现, $y[n]$ 的频率与目标声散射成分的时延存在线性对应关系, 因此可以根据目标的声散射结构, 计算各个声散射成分对应的 $y[n]$ 的频率, 然后逐一进行窄带滤波, 从而分离出目标回波中的各个声散射成分.

考虑如图2所示的仿真目标回波, 经过分离处理后, 目标几何声散射与弹性声散射的功率谱如图3所示.

与图2(c)对比可知, 分离后的弹性声散射功率谱具有明显的中频增强特征. 计算分离出的声散射成分与原始仿真声散射成分的相关系数, 结果如表1所示.

从表1可知, 分离出的声散射成分与原始仿真的声散射成分相关系数均在0.99左右, 说明这种分离处理可以几乎保留了原始仿真声散射成分的全部信息. 经过声散射成分分离处理后的目标回波时

频分布如图4所示, 从图中可以清晰的识别出两个几何声散射成分与两个弹性声散射成分. 仿真数据处理结果证明了本文提出的方法在理论上是可行的.

表1 分离出的声散射成分与原始声散射成分的相关系数
Table 1. Correlation coefficient between the separated acoustic scattering components and those of original.

声散射成分	几何声散射 1	几何声散射 2	弹性声散射 1	弹性声散射 2
相关系数	0.9919	0.9933	0.9898	0.9911

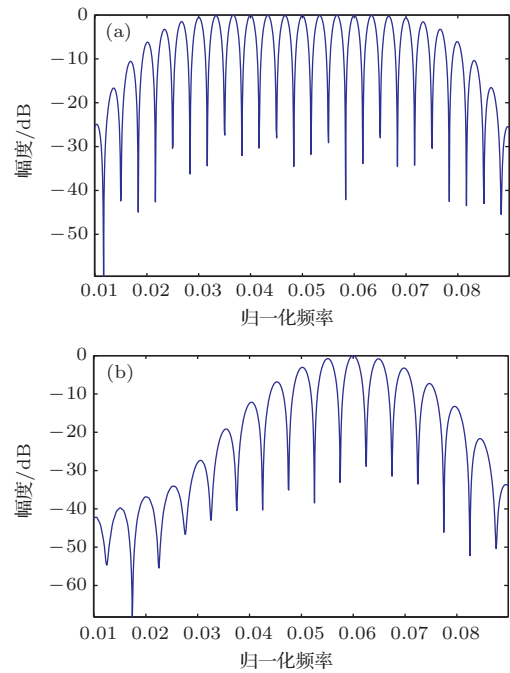


图3 分离出的声散射成分的功率谱 (a) 几何声散射; (b) 弹性声散射
Fig. 3. Power spectrums of the separated acoustic scattering components. (a) geometrical acoustic scattering; (b) elastic acoustic scattering.

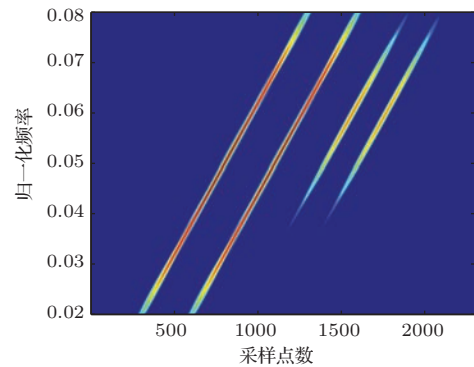


图4 (网刊彩色) 仿真目标回波经过声散射分离处理后的时频分布
Fig. 4. (color online) Time-frequency distribution of the separate processed simulating target echo.

4 实验数据处理

消声水池实验示意图如图 5 所示, 水池一端为目标模型, 另一端为收发合置声纳, 二者在水池的布放深度相同. 目标模型中空, 悬挂在一个由电动机控制的可旋转装置上, 以中心为轴匀速转动.

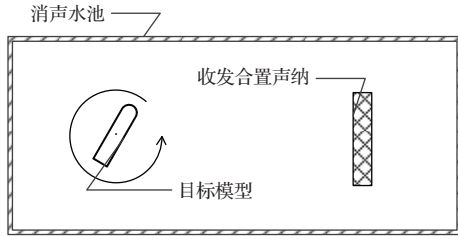


图 5 水池实验示意图

Fig. 5. A sketch map of the pool experiment.

收发合置声纳发射线性调频脉冲, 归一化调频范围 0.02—0.08, 脉冲宽度 1000 个采样点, 并连

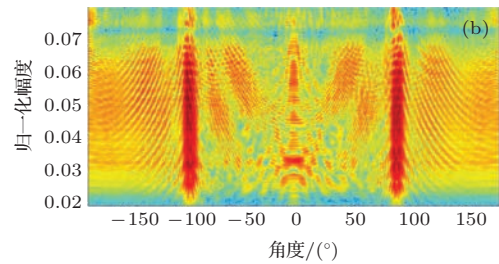
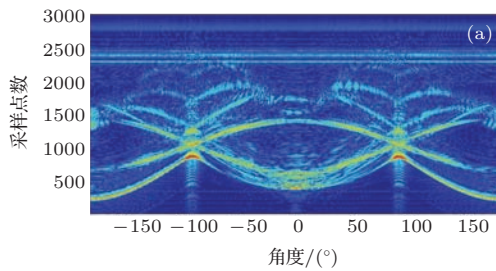


图 6 (网刊彩色) 目标回波与声波入射角度的关系 (a) 角度-距离图; (b) 角度-频率谱

Fig. 6. (color online) The relationship between the target echo and the incident direction of the acoustic wave. (a) Angle-distance; (b) angle-spectrum.

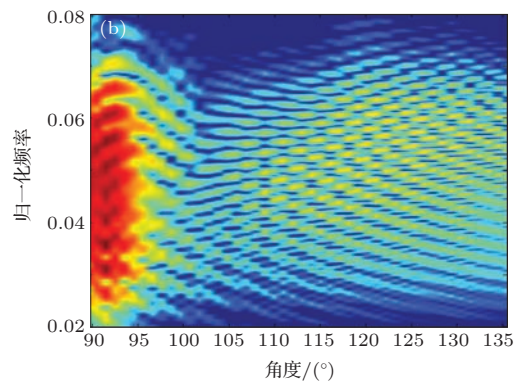
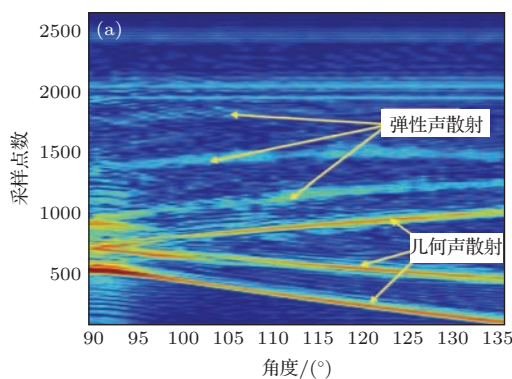


图 7 (网刊彩色) 目标回波与声波入射角度的关系 (90°—135°) (a) 角度-距离图; (b) 角度-频率谱

Fig. 7. (color online) The relationship between the target echo and the incident direction of the acoustic wave (90°—135°). (a) Angle-distance; (b) angle-spectrum.

从图 7 可知, 在 90°—135° 的声波入射角度范围内可以观察到六个声散射成分, 根据声散射成分的时延随角度的变化规律, 可以判断其中有三个几

何声散射与三个弹性声散射, 如图 7(a) 中标注, 其中第三个弹性声散射成分与池壁散射具有较大程度的混叠. 从图 7 可知, 由于线性调频信号的脉冲

续采集目标旋转时的目标回波. 声波入射角度从 -180° 变化到 180° 的目标回波的角度-距离图与角度-频率谱如图 6 所示.

图 6(b) 中的干涉条纹是由目标回波中同种声散射成分相干叠加形成的. 目标回波中包含多个几何声散射成分与弹性声散射成分, 分别在目标回波的角度-频率谱上形成了几何干涉条纹与弹性干涉条纹. 由于弹性声散射能量要明显弱于几何声散射, 所以在角度-频率谱上弹性声散射被几何声散射掩盖, 图 6(b) 中能观察到的主要是几何干涉条纹.

目标回波中弹性声散射的产生与声波入射角度有关, 根据相关文献, 声波入射角度在目标正横方向左右 45° 范围内会激发出弹性声散射, 在图 6(a) 中也可以观察到这一现象. 选取声波入射角度在 90° — 135° 范围内的目标回波信号进行分析, 角度-距离图与角度-频率谱如图 7 所示.

压缩效应, 在目标回波的角度-距离图上可以分辨出几何声散射与弹性声散射, 但相邻声散射成分的时延差小于发射信号脉冲宽度, 因此无法从时域上分离各声散射成分.

图 7(b) 所示的目标回波的角度-频率谱上可以观察到主要是倾斜方向为从左上到右下的几何

干涉条纹, 但在中高频范围可以观察到叠加了另外一种倾斜方向的干涉条纹. 为了对本文提出的弹性声散射信号分离方法进行验证, 选择声波入射角度为 110° 时的目标回波数据进行处理. 该段数据的时域波形、匹配滤波、功率谱与时频分布如图 8 所示.

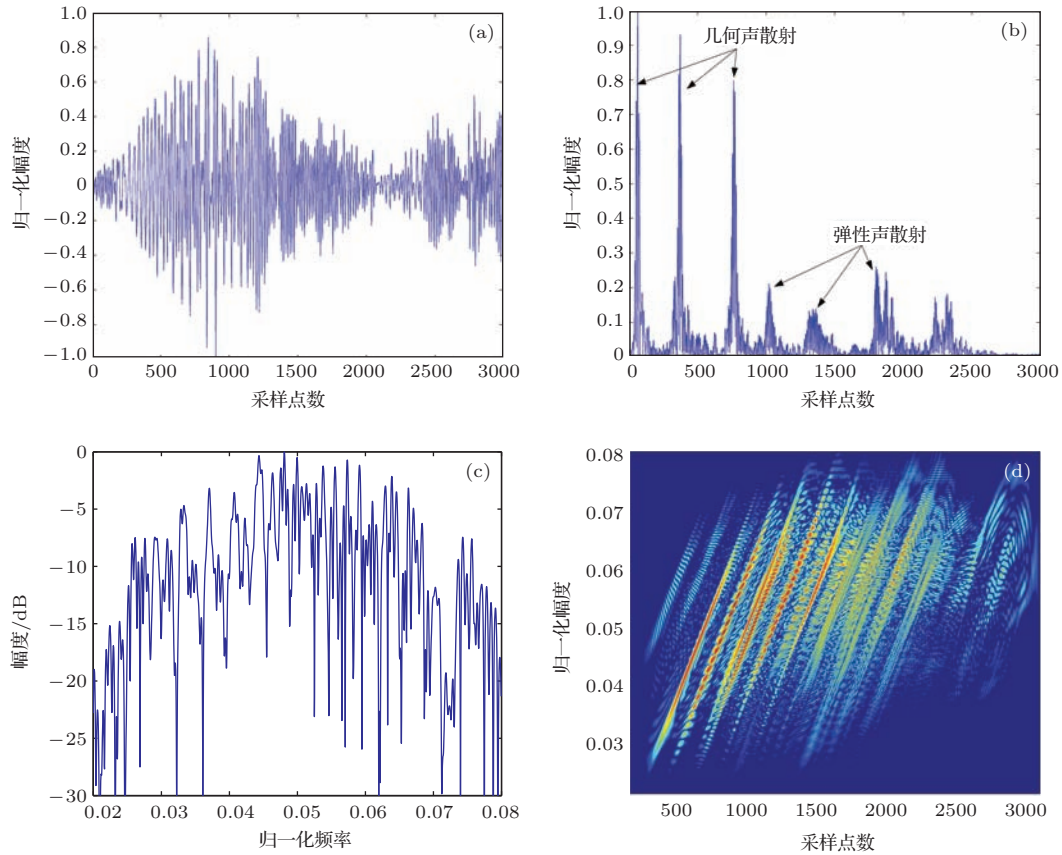


图 8 (网刊彩色) 声波入射角度为 110° 时的目标回波 (a) 时域波形; (b) 匹配滤波; (c) 功率谱; (d) 时频分布
 Fig. 8. (color online) The target echo with an incident angle of 110° . (a) Time-domain waveform; (b) matched filtering result; (c) power spectrum; (d) time-frequency distribution.

从图 8 可知, 目标几何声散射与弹性声散射在时域、频域上的混叠现象与前面的分析一致. 在图 8(d) 所示的时频分布中, 虽然可以观察到目标声散射成分的存在, 但无法辨识出声散射成分的数目及种类, 更无法直接观察到弹性声散射的中频增强现象.

对该目标回波进行声散射信号分离处理, 分离出的弹性声散射成分的时域波形、匹配滤波、功率谱, 以及包含几何声散射的时频分布如图 9 所示.

通过对比图 8(b) 与图 9(b) 可知, 本文提出的方法完全分离出了原目标回波中的弹性声散射信号, 并且如图 9(c) 所示, 在弹性声散射信号的功率谱上可以观察到中频增强效应. 图 9(d) 为分离后的目标几何声散射与弹性声散射共同的时频分布,

从图中可以清楚的辨识出全部声散射成分及各自的种类. 需要注意的是, 由于第三个弹性声散射成分与池壁散射混叠较严重, 分离处理无法将二者完全分离.

对图 7 观察的 90° — 135° 声波入射角度范围内的所有目标回波进行处理, 对分离出的弹性声散射信号进行角度-距离与角度-频率分析, 结果如图 10 所示.

从图 10 可知, 经过本文提出的分离方法处理后, 可以清楚的观察到目标弹性声散射成分时延随声波入射角度的变化规律, 并且在角度-频率谱上可以观察到清晰的碗形干涉条纹, 与理论上目标弹性声散射的角度-频率特性相一致. 该实验数据处理结果验证了本文所提出的方法对目标弹性声

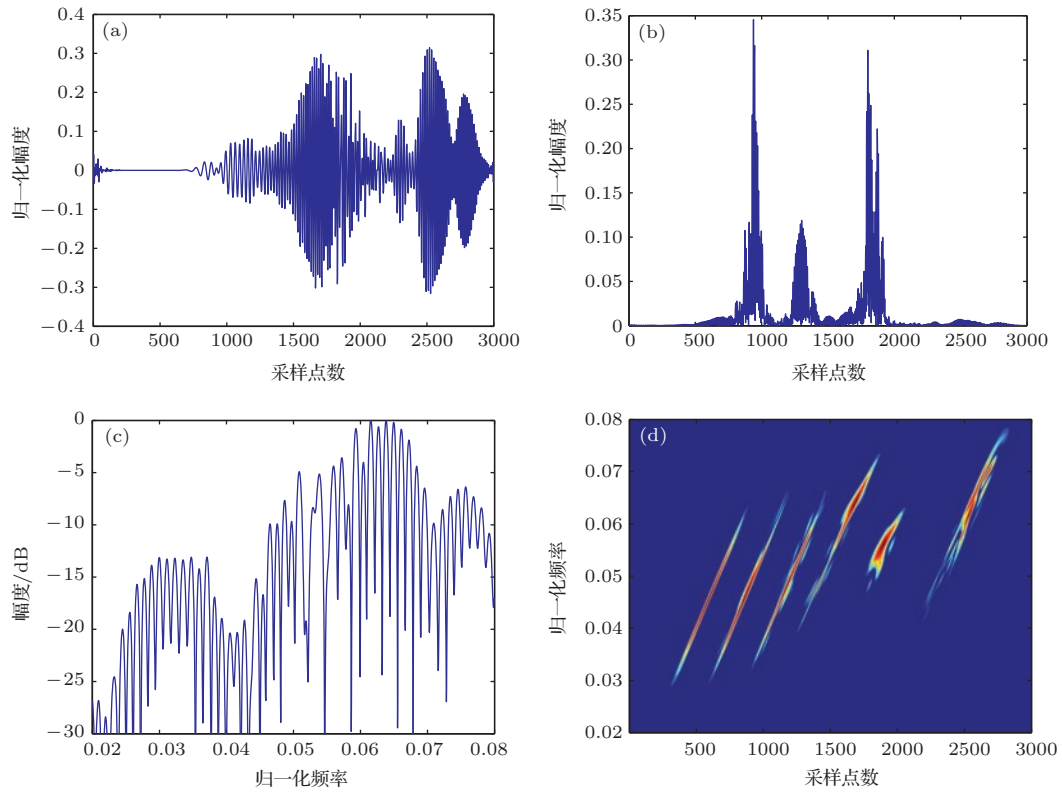


图9 (网刊彩色) 分离出的弹性声散射 (a) 时域波形; (b) 匹配滤波; (c) 功率谱; (d) 时频分布 (包括几何声散射)
 Fig. 9. (color online) The separated elastic acoustic scattering. (a) Time-domain waveform; (b) matched filtering result; (c) power spectrum; (d) time-frequency distribution (including geometrical acoustic scattering).

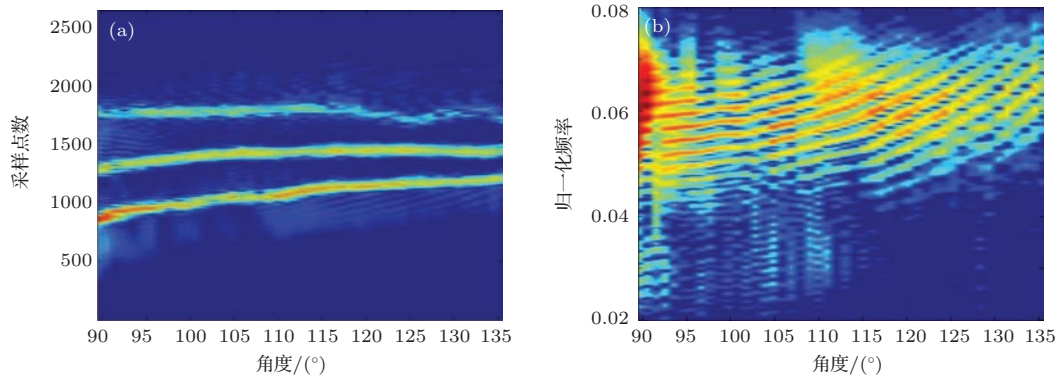


图10 (网刊彩色) 分离出的弹性声散射与声波入射角度的关系 (a) 角度-距离图; (b) 角度-频率谱
 Fig. 10. (color online) The relationship between the separated elastic acoustic scattering and the incident direction of the acoustic wave. (a) Angle-distance; (b) angle-spectrum.

散射成分分离的有效性, 该方法为研究不同材质目标模型的弹性声散射特性与信号特征提供了技术基础.

5 结 论

弹性声散射特征是区分水下人工目标与自然目标的本质性特征, 可以根据中频增强特征识别目标弹性声散射. 目标声散射成分的混叠是影响目

标弹性声散射特征提取的重要原因. 现有信号处理方法受时域、频域及空域分辨力的限制, 无法有效提取混叠状态下的目标弹性声散射特征, 针对这个问题, 本文提出了一种目标弹性声散射信号分离方法. 对仿真目标回波进行了处理, 从目标回波中分离出的弹性声散射与原始仿真弹性声散射的相关系数均在 0.99 左右, 基本保留了原成分的全部信息. 消声水池实验数据处理结果表明, 本文提出的

方法提高了目标回波中弹性声散射成分在时频分布上的可辨识度, 分离出的弹性声散射具有与理论一致的中频增强特征; 在消除声散射成分混叠影响后, 可以在弹性声散射的角度-频率谱上观察到碗形干涉条纹, 该实验结果验证了本文所提出方法对于分离目标弹性声散射的有效性. 本文提出的方法为研究水下目标弹性声散射特性及建立目标声散射特征模型提供了技术基础, 该方法的进一步研究将考虑在实际水声环境下, 存在环境噪声与混响干扰时如何准确分离目标声散射成分.

参考文献

- [1] Pan A, Fan J, Zhuo L K 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 24301 (in Chinese) [潘安, 范军, 卓琳凯 2013 物理学报 **62** 24301]
- [2] Pan A, Fan J, Zhuo L K 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 214301 (in Chinese) [潘安, 范军, 卓琳凯 2012 物理学报 **61** 214301]
- [3] Li L, Wen J H, Cai L, Zhao H G, Wen X S 2013 *Chin. Phys. B* **22** 014301
- [4] Ying Y Z, Ma L, Guo S M 2011 *Chin. Phys. B* **20** 054301
- [5] Cite N, Chati F, Decultot D, Leon F, Maze G 2012 *J. Acoustic Soc. Am.* **131** 4233
- [6] Marston P L, Sun N H 1992 *J. Acoustic Soc. Am.* **92** 3315
- [7] Zhang L G, Sun N H, Marston P L 1992 *J. Acoustic Soc. Am.* **91** 1862
- [8] Marston P L, Sun N H 1995 *J. Acoustic Soc. Am.* **97** 777
- [9] Bao X L 1993 *J. Acoustic Soc. Am.* **94** 1461
- [10] Morse S F, Marston P L, Kaduchak G 1998 *J. Acoustic Soc. Am.* **103** 785
- [11] Bucaro J, Simpson H, Kraus L, Dragonette L, Yoder T, Houston B 2009 *J. Acoustic Soc. Am.* **126** 2315
- [12] Anderson S D, Sabra K G, Zakharia M E, Sessarego J P 2012 *J. Acoustic Soc. Am.* **131** 164
- [13] Bucaro J, Houston B, Saniga M, Dragonette L, Yoder T, Dey S, Kraus L, Carin L 2008 *J. Acoustic Soc. Am.* **123** 738
- [14] Waters Z, Simpson H, Sarkissian A, Dey S, Houston B, Bucaro J, Yoder T 2012 *J. Acoustic Soc. Am.* **132** 3076
- [15] Bucaro J A, Waters Z J, Houston B H, Simpson H J, Sarkissian A, Dey S, Yoder T J 2012 *J. Acoustic Soc. Am.* **132** 3614
- [16] Decultot D, Lietard R, Maze G 2010 *J. Acoustic Soc. Am.* **127** 1328
- [17] Sabra K G, Anderson S D 2014 *J. Acoustic Soc. Am.* **135** 2821
- [18] Tang W L 1994 *Acta Acustica* **19** 92 (in Chinese) [汤渭霖 1994 声学学报 **19** 92]

Separation of elasto acoustic scattering of underwater target*

Xia Zhi Li Xiu-Kun[†]

(Acoustic Science and Technology Laboratory, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

(College of Underwater Acoustic Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

(Received 18 September 2014; revised manuscript received 6 November 2014)

Abstract

An elastic acoustic scattering by underwater target could be mixed with other acoustic scattering components in both time and frequency domains, and the existing signal processing methods could not discriminate the elastic feature of target in the mixed status. For solving this problem, a signal separation method for elastic acoustic scattering is proposed. Based on the highlight model of target echo, the characters of the target acoustic scattering signal when the linear frequency modulation signal is transmitted, are analyzed, and a method for mapping the acoustic scattering signal of the target to a single frequency signal is proposed. Theoretical derivation shows that there is a simple linear relationship between the acoustic scattering structure of the target and the mapped result, then the elastic acoustic scattering signal of the target can be separated by a narrow-band filtering. Simulation results show that the correlation coefficient between the separated target acoustic scattering and the original simulation signals are about 0.99, indicating that the acoustic scattering components in the simulation target echo can be wholly separated. Experimental data-processing results of the target acoustic scattering measurement in an anechoic pool show that the mid-frequency enhancement effect can be observed in the spectrum of the separated elastic acoustic scattering, and every target acoustic scattering component can be recognized on the time-frequency distribution of separately processed target echo. There is a bowl-shape interference fringe on the angle-spectrum of the separated target elastic acoustic scattering components which is consistent with the theoretical signal's feature of the elastic acoustic scattering, and the effectiveness of the separation method proposed is proven.

Keywords: underwater target echo, elastic acoustic scattering, acoustic scattering signal separation

PACS: 43.30.+m, 43.30.Vh

DOI: [10.7498/aps.64.094302](https://doi.org/10.7498/aps.64.094302)

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 51279033), and the Natural Science Foundation of Heilongjiang Province, China(Grant No. F201346).

[†] Corresponding author. E-mail: lixikun@hrbeu.edu.cn