



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112577467 B

(45) 授权公告日 2022.05.24

(21) 申请号 202011537690.6

(22) 申请日 2020.12.23

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112577467 A

(43) 申请公布日 2021.03.30

(73) 专利权人 国家深海基地管理中心
地址 266237 山东省青岛市即墨区鳌山卫
街道卫阳路1号

(72) 发明人 于盛齐 刘保华 于凯本 杨志国
宗乐

(74) 专利代理机构 北京科家知识产权代理事务
所(普通合伙) 11427
专利代理师 梁正贤

(51) Int. Cl.
G01C 7/02 (2006.01)
G01C 13/00 (2006.01)
G06F 17/18 (2006.01)

(56) 对比文件

US 2019228777 A1,2019.07.25

AU 2002246296 A1,2003.10.08

CN 110030955 A,2019.07.19

CN 109753632 A,2019.05.14

高荪培.一种光学探测海底粗糙度的算法及
其实验研究.《应用光学》.2019,

shengqi yu.Comparison of acoustic
backscattering from a sand and a mud
bottom in the South Yellow Sea of China.
《Ocean Engineering》.2020,

Eric l.Thorsos.The validity of the
Kirchhoff approximation for rough surface
scattering using a Gaussian roughness
spectrum.《the journal of the acoustical
society of america》.1987,

于盛齐.海底沉积物声学特性研究进展与探
讨.《哈尔滨工程大学学报》.2020,

审查员 张量

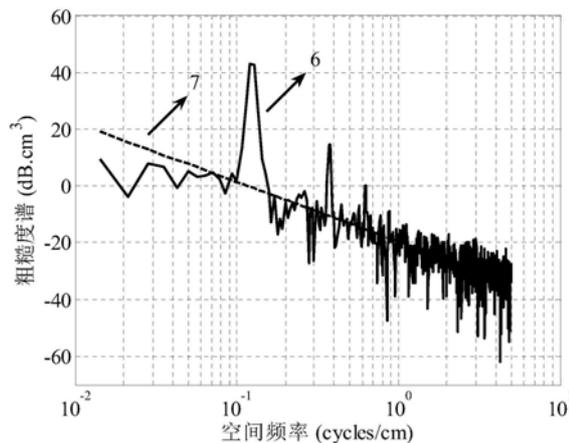
权利要求书1页 说明书3页 附图3页

(54) 发明名称

一种海底界面一维粗糙度谱计算方法

(57) 摘要

本发明涉及一种海底界面一维粗糙度谱计
算方法,属于水声技术领域。该方法首先对测量
的海底界面一维粗糙度去均值,得到相对于平均
界面的海底界面起伏;然后进行预白化处理,减
小海底界面一维粗糙度的空间相关性;对预白化
处理后的海底界面一维粗糙度加能量归一化的
Hanning窗处理,减小谱泄露;采用周期图法估计
功率谱,得到海底界面一维粗糙度谱;最后,采用
幂率谱对计算得到的海底界面一维粗糙度谱进
行拟合,计算粗糙度谱的谱指数和谱强度。该方
法计算过程明确,计算结果能够真实反映海底界
面起伏的统计特征,为海底声散射模型提供精确
的模型参数值。



1. 一种海底界面一维粗糙度谱计算方法,其特征在于所述方法包括以下五个步骤:

(1) 将测量的海底界面一维粗糙度减去其平均值,得到相对于平均界面的海底界面起伏,保证计算得到的粗糙度谱无对应于空间频率为零的“直流”分量

$$h_1(x) = h(x) - h_m(x) \quad (1)$$

式中, x 为等间隔的水平距离, $h(x)$ 表示测量的海底界面一维粗糙度, $h_m(x)$ 表示测量的海底界面一维粗糙度的平均值, $h_1(x)$ 表示去均值后的海底界面一维粗糙度;

(2) 对 $h_1(x)$ 进行预白化处理,得到 $h_2(x)$,减小海底界面一维粗糙度的空间相关性;

(3) 对预白化处理后的海底界面一维粗糙度 $h_2(x)$ 加能量归一化的Hanning窗处理,得到 $h_3(x)$,减少谱泄漏

$$h_3(x) = \sqrt{\frac{N}{\sum_{n=1}^N W(n)^2}} W(n) h_2(x) \quad (2)$$

式中, $W(n)$ 表示Hanning窗函数, N 为测量的海底界面一维粗糙度对应的水平距离点数, $h_2(x)$ 为预白化处理后的 $h_1(x)$;

(4) 采用周期图法估计功率谱,得到海底界面一维粗糙度谱

$$S(f) = \frac{\Delta x}{2\pi N} |H(f)|^2 \quad (3)$$

式中, $S(f)$ 表示海底界面一维粗糙度谱, Δx 表示水平距离间隔, $H(f)$ 为 $h_3(x)$ 的傅里叶变换, f 表示空间频率, N 为测量的海底界面一维粗糙度对应的水平距离点数;

(5) 采用幂率谱对计算得到的海底界面一维粗糙度谱 $S(f)$ 进行拟合,计算海底界面一维粗糙度谱 $S(f)$ 的谱指数和谱强度;在对数坐标系下,通过线性拟合得到一条直线,斜率对应于谱指数 γ_1 ,截距对应于谱强度 w_1

$$\gamma_1 = -k/10 \quad (4)$$

$$w_1 = 10^{A/10} \quad (5)$$

式中, k 表示拟合直线的斜率, A 表示拟合直线的截距。

一种海底界面一维粗糙度谱计算方法

技术领域

[0001] 本发明属于水声技术领域,是一种用于计算海底界面粗糙度统计特征的方法,具体为一种基于周期图法估计海底界面一维粗糙度谱的方法。

背景技术

[0002] 海底界面粗糙度是引起海底高频声散射的主要来源之一,特别是与沙纹有关的海底界面粗糙度可以使声波衍射至沉积物中,因而研究海底界面粗糙度特征对于声呐探测掩埋目标是十分必要的。对海底界面粗糙度进行统计描述的常用方式有:界面起伏的相关函数、均方根粗糙度、均方根坡度和粗糙度谱。

[0003] 海底界面粗糙度测量结果通常以粗糙度谱的形式给出的,相关函数可以通过经简单函数拟合后的粗糙度谱的傅里叶逆变换得到,而其它统计量,如均方根粗糙度和均方根坡度,都可以根据粗糙度谱计算得到。

[0004] 多种测量方法已被用于定量地确定海底界面粗糙度(或微地貌),包括手工描绘、立体摄影术、电导率探测、激光线扫描、激光成像、超声测深、拖曳多波束与侧扫声呐、座底扇形扫描以及笔波束声呐等。这些光学、电学和声学的测量方法被用于建立一维海底高度剖面或二维海底高度分布图,它们是对海底界面粗糙度进行统计描述所需的基本数据。

[0005] 目前,对于测得的海底界面粗糙度,如何精确计算粗糙度谱尚未形成统一的方法。

发明内容

[0006] 本发明要解决的技术问题在于提供一种基于周期图法估计海底界面一维粗糙度谱的方法。该方法首先对测量的海底界面一维粗糙度去均值,得到相对于平均界面的海底界面起伏;然后进行预白化处理,减小海底界面一维粗糙度的空间相关性;对预白化处理后的海底界面一维粗糙度加能量归一化的Hanning窗处理,减小谱泄露;采用周期图法估计功率谱,得到海底界面一维粗糙度谱;最后,采用幂率谱对计算得到的海底界面一维粗糙度谱进行拟合,计算粗糙度谱的谱指数和谱强度。

[0007] 本发明采取以下技术方案:

[0008] 一种海底界面一维粗糙度谱计算方法,其特征在于包括以下五个步骤:

[0009] (1) 将测量的海底界面一维粗糙度减去其平均值,得到相对于平均界面的海底界面起伏,保证计算得到的粗糙度谱无对应于空间频率为零的“直流”分量

[0010]
$$h_1(x) = h(x) - h_m(x) \quad (1)$$

[0011] 式中, x 为等间隔的水平距离, $h(x)$ 表示测量的海底界面一维粗糙度, $h_m(x)$ 表示测量的海底界面一维粗糙度的平均值, $h_1(x)$ 表示去均值后的海底界面一维粗糙度;

[0012] (2) 对 $h_1(x)$ 进行预白化处理,得到 $h_2(x)$,减小海底界面一维粗糙度的空间相关性;

[0013] (3) 对预白化处理后的海底界面一维粗糙度 $h_2(x)$ 加能量归一化的Hanning窗处理,得到 $h_3(x)$,减少谱泄漏

$$[0014] \quad h_3(x) = \sqrt{\frac{N}{\sum_{n=1}^N W(n)^2}} W(n) h_2(x) \quad (2)$$

[0015] 式中, $W(n)$ 表示Hanning窗函数, N 为测量的海底界面一维粗糙度对应的水平距离点数, $h_2(x)$ 为预白化处理后的 $h_1(x)$;

[0016] (4) 采用周期图法估计功率谱, 得到海底界面一维粗糙度谱

$$[0017] \quad S(f) = \frac{\Delta x}{2\pi N} |H(f)|^2 \quad (3)$$

[0018] 式中, $S(f)$ 表示海底界面一维粗糙度谱, Δx 表示水平距离间隔, $H(f)$ 为 $h_3(x)$ 的傅里叶变换, f 表示空间频率, N 为测量的海底界面一维粗糙度对应的水平距离点数;

[0019] (5) 采用幂率谱对计算得到的海底界面一维粗糙度谱 $S(f)$ 进行拟合, 计算海底界面一维粗糙度谱 $S(f)$ 的谱指数和谱强度; 在对数坐标系下, 通过线性拟合得到一条直线, 斜率对应于谱指数 γ_1 , 截距对应于谱强度 w_1

$$[0020] \quad \gamma_1 = -k/10 \quad (4)$$

$$[0021] \quad w_1 = 10^{A/10} \quad (5)$$

[0022] 式中, k 表示拟合直线的斜率, A 表示拟合直线的截距。粗糙度谱的谱指数和谱强度用来描述海底界面粗糙度的统计特征, 是海底声散射模型中的两个重要模型参数。

[0023] 本发明与现有技术相比的有益效果:

[0024] 本发明提出的基于周期图法估计海底界面一维粗糙度谱的方法, 与现有方法相比, 计算过程明确, 可以有效地减小海底界面一维粗糙度的空间相关性和一维粗糙度谱的谱泄漏, 计算结果能够真实反映海底界面起伏的统计特征, 为海底声散射模型提供精确的模型参数值。

附图说明

[0025] 图1测量与去均值后的海底界面一维粗糙度: 1- 测量的海底界面一维粗糙度, 2- 去均值后的海底界面一维粗糙度;

[0026] 图2Hanning窗、预白化处理与加窗处理后的海底界面一维粗糙度: 3-Hanning窗, 4- 预白化处理后的海底界面一维粗糙度, 5- 加窗处理后的海底界面一维粗糙度;

[0027] 图3计算得到的海底界面一维粗糙度谱: 6- 一维粗糙度谱, 7- 拟合结果;

[0028] 图4处理流程图。

具体实施方式

[0029] 下面通过数值仿真对本发明的技术方案作进一步解释, 但本发明的保护范围不受实例任何形式上的限制。

[0030] 本发明提出的基于周期图法估计海底界面一维粗糙度谱的方法, 具体的实施过程主要分为以下五步: (1) 将测量的海底界面一维粗糙度减去其平均值, 得到相对于平均界面的海底界面起伏; (2) 进行预白化处理, 减小海底界面一维粗糙度的空间相关性; (3) 加能量归一化的Hanning窗处理, 减少谱泄漏; (4) 采用周期图法估计功率谱, 得到海底界面一维粗糙度谱; (5) 采用幂率谱对计算得到的海底界面一维粗糙度谱进行拟合, 计算粗糙度谱的谱

指数和谱强度。

[0031] 在正弦函数的基础上添加随机噪声,来模拟具有一定沙纹的海底界面一维粗糙度,如图1中的实线所示,获得海底界面一维粗糙度数据。

[0032] 下面将详细阐述本发明的具体实施过程:

[0033] (1) 将海底界面一维粗糙度减去其平均值,得到相对于平均界面的海底界面起伏,保证计算得到的粗糙度谱无对应于空间频率为零的“直流”分量

$$[0034] \quad h_1(x) = h(x) - h_m(x) \quad (1)$$

[0035] 式中, x 为等间隔的水平距离, $h(x)$ 表示测量的海底界面一维粗糙度, $h_m(x)$ 表示测量的海底界面一维粗糙度的平均值, $h_1(x)$ 表示去均值后的海底界面一维粗糙度。去均值后的海底界面一维粗糙度如图1中是虚线所示。

[0036] (2) 对 $h_1(x)$ 进行预白化处理,得到 $h_2(x)$,减小海底界面一维粗糙度的空间相关性。预白化处理后的海底界面一维粗糙度如图2中的实线所示。

[0037] (3) 对预白化处理后的海底界面一维粗糙度加能量归一化的Hanning窗处理,得到 $h_3(x)$,减少谱泄漏

$$[0038] \quad h_3(x) = \sqrt{\frac{N}{\sum_{n=1}^N W(n)^2}} W(n) h_2(x) \quad (2)$$

[0039] 式中, $W(n)$ 表示Hanning窗函数, N 为测量的海底界面一维粗糙度对应的水平距离点数。能量归一化的Hanning窗如图2中的虚线所示,加窗处理后的海底界面一维粗糙度如图2中的点划线所示。

[0040] (4) 采用周期图法估计功率谱,得到海底界面一维粗糙度谱

$$[0041] \quad S(f) = \frac{\Delta x}{2\pi N} |H(f)|^2 \quad (3)$$

[0042] 式中, $S(f)$ 表示海底界面一维粗糙度谱, Δx 表示水平距离间隔, $H(f)$ 为 $h_3(x)$ 的傅里叶变换, f 表示空间频率。计算得到的海底界面一维粗糙度谱如图3中的实线所示。

[0043] (5) 采用幂率谱对计算得到的海底界面一维粗糙度谱进行拟合,计算粗糙度谱的谱指数和谱强度。在对数坐标系下,通过线性拟合得到一条直线(如图3中的虚线所示),斜率对应于谱指数 γ_1 ,截距对应于谱强度 w_1

$$[0044] \quad \gamma_1 = -k/10 \quad (4)$$

$$[0045] \quad w_1 = 10^{A/10} \quad (5)$$

[0046] 式中, k 表示拟合直线的斜率, A 表示拟合直线的截距。

[0047] 以上步骤的流程图如图4所示,计算得到的海底界面一维粗糙度谱的谱指数和谱强度分别为2.10和 $1.13 \times 10^{-2} \text{cm}^3$ 。本仿真算例中模拟的海底界面起伏波长为8cm(如图1中的实线所示),计算得到的粗糙度谱峰值对应的空间频率为0.1214cycles/cm(如图3中的实线所示)。根据空间频率 f 与波长 λ 的关系 $f = 1/\lambda$,可计算得到对应的波长为8.24cm,与模拟的海底界面起伏波长8cm是一致的,从而验证了计算结果的准确性。

[0048] 由此可见,该方法计算过程明确,可以有效地减小海底界面一维粗糙度的空间相关性和一维粗糙度谱的谱泄漏,计算结果能够真实反映海底界面起伏的统计特征,为海底声散射模型提供精确的模型参数值。

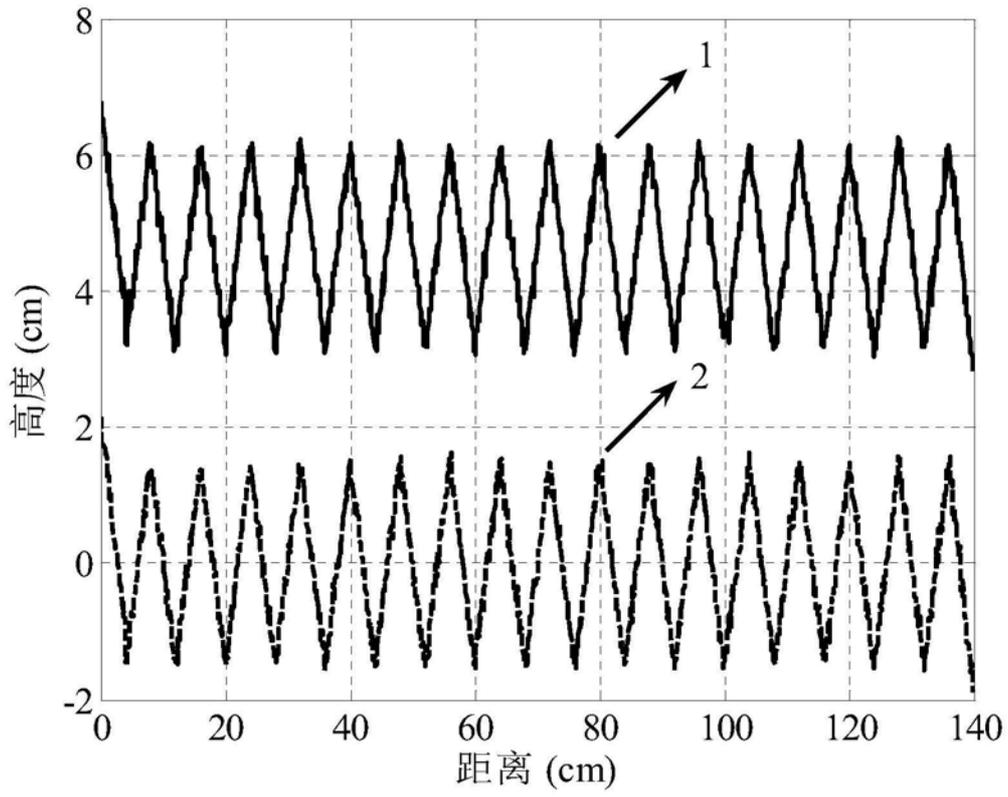


图1

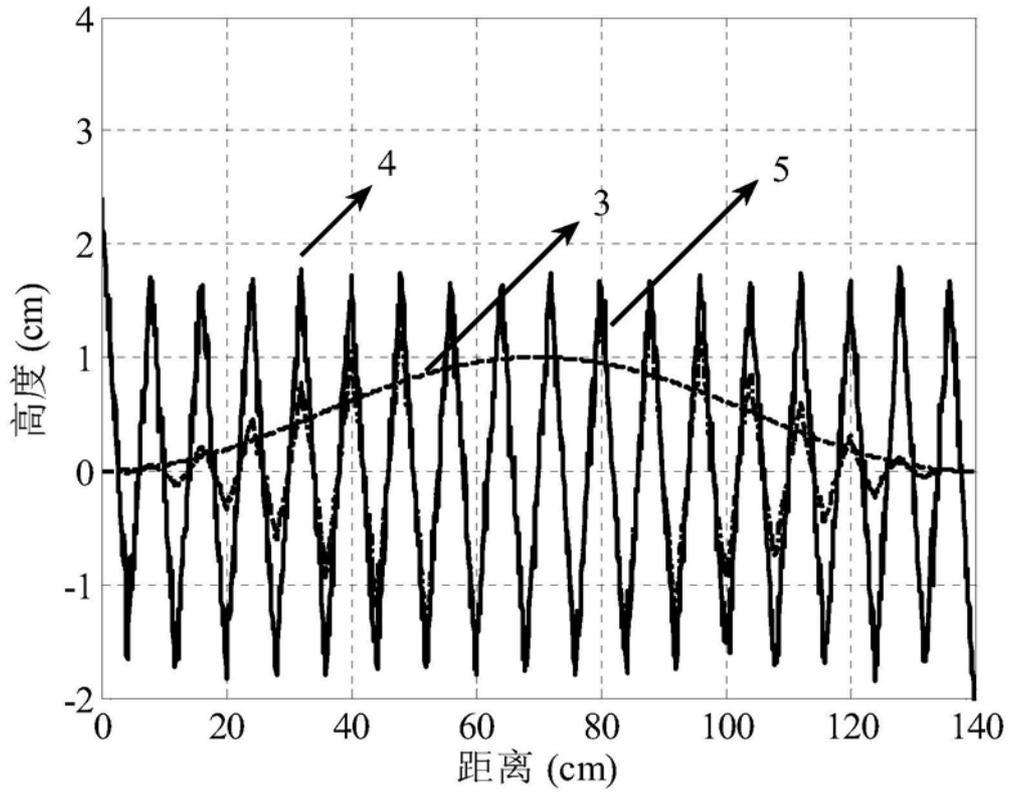


图2

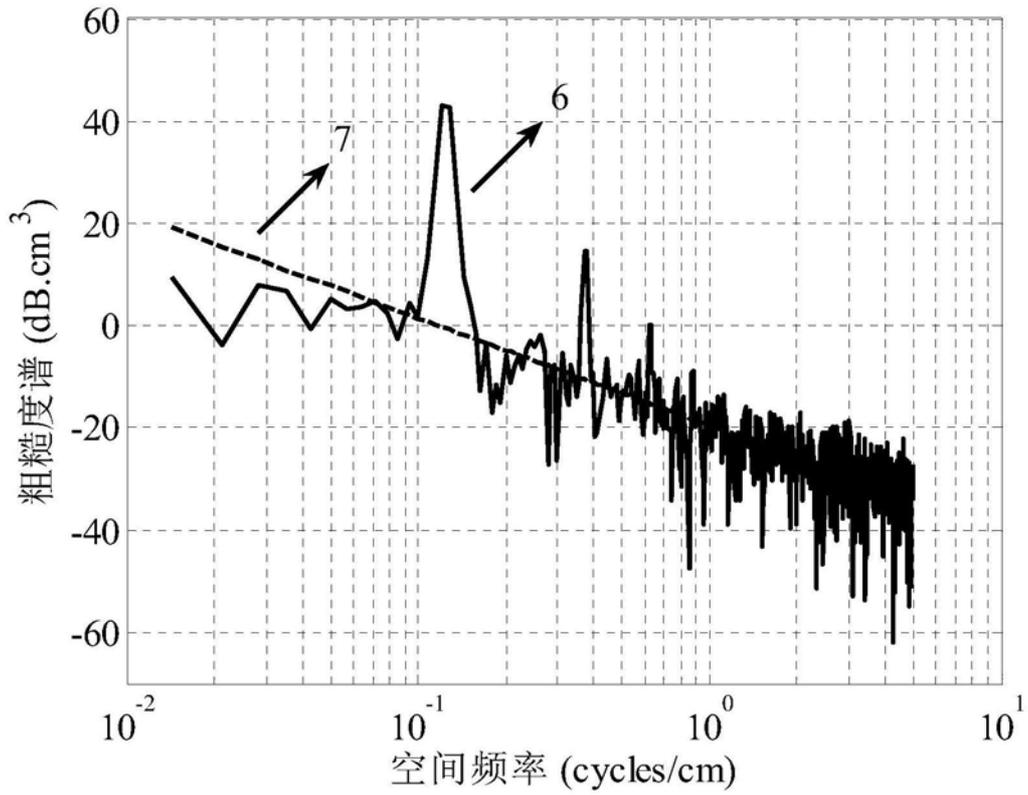


图3

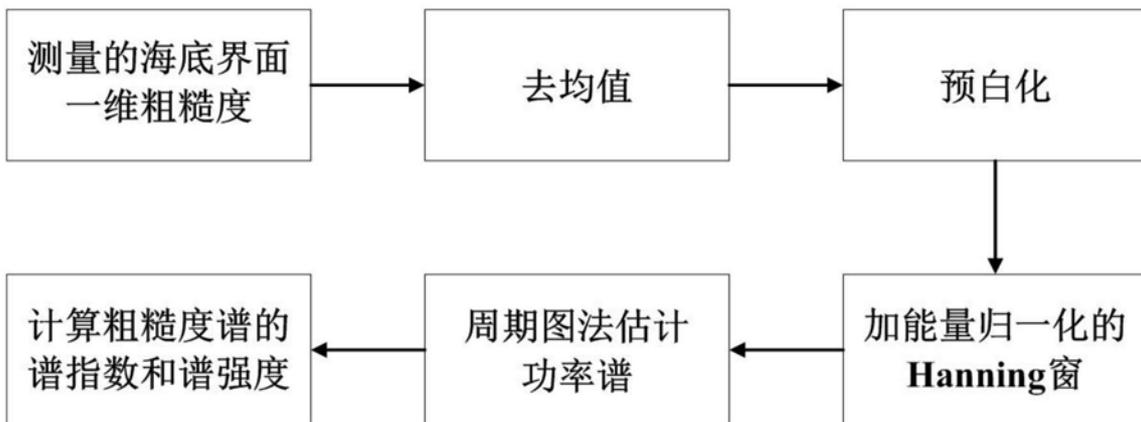


图4