



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 117706561 B

(45) 授权公告日 2024.04.05

(21) 申请号 202410166444.6

(22) 申请日 2024.02.06

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 117706561 A

(43) 申请公布日 2024.03.15

(73) 专利权人 北京开运联合信息技术集团股份
有限公司

地址 102629 北京市通州区中关村科技园
区通州园国际种业科技园区聚和七街
1号-593

(72) 发明人 职首旭 夏生杰 王书聿 王宇豪
田承轩

(74) 专利代理机构 北京超凡宏宇知识产权代理
有限公司 11463

专利代理师 曹延鹏

(51) Int. Cl.

G01S 15/88 (2006.01)

G01C 13/00 (2006.01)

G06F 30/18 (2020.01)

G06F 30/20 (2020.01)

G06F 17/10 (2006.01)

G06F 111/10 (2020.01)

(56) 对比文件

CN 101149436 A, 2008.03.26

CN 101526616 A, 2009.09.09

CN 110208812 A, 2019.09.06

CN 115128617 A, 2022.09.30

CN 115730247 A, 2023.03.03

RU 2466426 C1, 2012.11.10

WO 2015183754 A1, 2015.12.03

王凝等.多波束测深系统下的测线优化模
型.电声技术.2023,第47卷(第6期),第61-63页.

审查员 陶峰

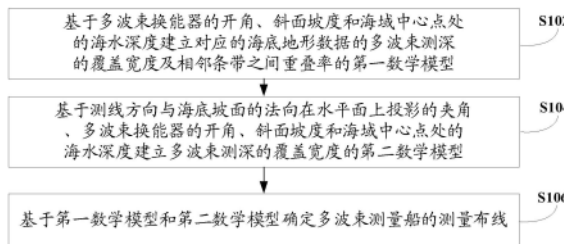
权利要求书4页 说明书19页 附图4页

(54) 发明名称

数学模型的处理方法、装置、电子设备和存
储介质

(57) 摘要

本发明提供了一种数学模型的处理方法、装
置、电子设备和存储介质,包括:基于多波束换能
器的开角、斜面坡度和海域中心点处的海水深度
建立对应的海底地形数据的多波束测深的覆盖
宽度及相邻条带之间重叠率的第一数学模型;基
于测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影
的夹角、多波束换能器的开角、斜面坡度和海域
中心点处的海水深度建立多波束测深的覆盖宽
度的第二数学模型;基于第一数学模型和第二数
学模型确定多波束测量船的测量布线。基于海底
斜面坡度、海水深度、声波传播速度等参数,推
导了多波束测深的覆盖宽度和相邻条带重叠率
与这些参数之间的数学表达式,以更精确地优化
完成测线设计。



1. 一种数学模型的处理方法,其特征在于,所述方法包括:

基于多波束换能器的开角、斜面坡度和海域中心点处的海水深度建立对应的海底地形数据的多波束测深的覆盖宽度及相邻条带之间重叠率的第一数学模型;

基于测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角、所述多波束换能器的开角、所述斜面坡度和所述海域中心点处的海水深度建立多波束测深的覆盖宽度的第二数学模型;

基于所述第一数学模型和所述第二数学模型确定多波束测量船的测量布线;

基于多波束换能器的开角、斜面坡度和海域中心点处的海水深度建立对应的海底地形数据的多波束测深的覆盖宽度及相邻条带之间重叠率的第一数学模型的步骤,包括:基于海域中心点处的海水深度、测线距中心处距离和斜面坡度确定海水深度;基于海域中心点处覆盖宽度、所述海域中心点处的海水深度、所述测线距中心处距离和所述斜面坡度确定覆盖宽度;基于多波束换能器的开角、测线间距、所述海域中心点处的海水深度、所述测线距中心处距离和所述斜面坡度确定当前测线与前一条测线的间距;基于所述多波束换能器的开角、所述海域中心点处的海水深度和所述斜面坡度确定所述海域中心点处覆盖宽度;

通过以下算式基于海域中心点处的海水深度、测线距中心处距离和斜面坡度确定海水深度: $D(x) = D - xtana$;其中, $D(x)$ 为海水深度, D 为海域中心点处的海水深度, x 为第一数学模型的测线距中心处距离, α 为斜面坡度;通过以下算式基于海域中心点处覆盖宽度、所述海域中心点处的海水深度、所述测线距中心处距离和所述斜面坡度确定覆盖宽度:

$W(x) = W(1 - \frac{xtana}{D})$;其中, $W(x)$ 为覆盖宽度, W 为海域中心点处覆盖宽度;通过以下算式基于多波束换能器的开角、测线间距、所述海域中心点处的海水深度、所述测线距中心处距离和所述斜面坡度确定当前测线与前一条测线的间距: $\eta(x) = 1 - \frac{d\cos\frac{\theta}{2}\cos(\frac{\theta}{2} - \alpha)}{D - (x - d)tana}$;

其中, $\eta(x)$ 为当前测线与前一条测线的间距, d 为测线间距, θ 为多波束换能器的开角;通过以下算式基于所述多波束换能器的开角、所述海域中心点处的海水深度和所述斜面坡度确定所述海域中心点处覆盖宽度:

$W = \frac{D\sin\theta\cos\alpha}{\cos(\frac{\theta}{2} + \alpha)\cos(\frac{\theta}{2} - \alpha)}$;

基于测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角、所述多波束换能器的开角、所述斜面坡度和所述海域中心点处的海水深度建立多波束测深的覆盖宽度的第二数学模型的步骤,包括:基于斜面坡度和测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角确定覆盖宽度与覆盖宽度在水平面上投影的夹角;基于所述斜面坡度和所述测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角确定测线方向与测线方向在水平面上投影的夹角;基于海域中心点处的海水深度、测线距海域中心点处的距离、所述测线方向与测线方向在水平面上投影的夹角和测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角确定经过海域中心点的测线方向上海水深度;基于所述经过海域中心点的测线方向上海水深度、所述多波束换能器的开角和所述覆盖宽度与覆盖宽度在水平面上投影的夹角确定覆盖宽度;

通过以下算式基于斜面坡度和测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角确定覆盖宽度与覆盖宽度在水平面上投影的夹角: $\gamma = \tan^{-1}(\tan\alpha\sin\beta)$;其中, γ 为覆盖

宽度与覆盖宽度在水平面上投影的夹角, α 为斜面坡度, β 为测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角; 通过以下算式基于所述斜面坡度和所述测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角确定测线方向与测线方向在水平面上投影的夹角:

$$\delta = \tan^{-1}(\tan\alpha\cos\beta); \text{其中, } \delta \text{ 为测线方向与测线方向在水平面上投影的夹角; 通过以下算式基于海域中心点处的海水深度、测线距海域中心点处的距离、所述测线方向与测线方向在水平面上投影的夹角和测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角确定经过海域中心点的测线方向上海水深度: } \lambda(\epsilon) = \begin{cases} D + \epsilon\tan\delta, \beta \in [0, \frac{\pi}{2}] \text{ or } [\frac{3\pi}{2}, 2\pi] \\ D - \epsilon\tan\delta, \text{ otherwise} \end{cases}; \text{其中, } \lambda(\epsilon)$$

为经过海域中心点的测线方向上海水深度, ϵ 为第二数学模型的测线距中心处距离; 通过以下算式基于所述经过海域中心点的测线方向上海水深度、所述多波束换能器的开角和所述

$$\text{覆盖宽度与覆盖宽度在水平面上投影的夹角确定覆盖宽度: } W(\epsilon) = \frac{\lambda(\epsilon)\sin\theta\cos\gamma}{\cos(\frac{\theta}{2} + \gamma)\cos(\frac{\theta}{2} - \gamma)}; \text{其}$$

中, $W(\epsilon)$ 为覆盖宽度, θ 为多波束换能器的开角。

2. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述方法还包括:

在预设的假设和条件约束下建立所述第一数学模型和所述第二数学模型。

3. 根据权利要求2所述的方法, 其特征在于, 所述假设和条件约束至少包括以下之一:

测量海域内的洋流和水体成分均不对测量结果产生影响;

测量船换能器的调节与校准、接收换能器的分辨率、仪器精度误差不对所述测量结果产生影响;

声源的强度不对测量结果产生影响;

声波的传播速度是恒定的;

测线方向与覆盖宽度在水平面上投影的夹角以及测线方向与坡面的夹角的差异不对所述测量结果产生影响;

对覆盖宽度的总长度进行近似计算;

环境因素不对所述测量结果产生影响。

4. 一种数学模型的处理装置, 其特征在于, 所述装置包括:

第一数学模型建立模块, 用于基于多波束换能器的开角、斜面坡度和海域中心点处的海水深度建立对应的海底地形数据的多波束测深的覆盖宽度及相邻条带之间重叠率的第一数学模型;

第二数学模型建立模块, 用于基于测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角、所述多波束换能器的开角、所述斜面坡度和所述海域中心点处的海水深度建立多波束测深的覆盖宽度的第二数学模型;

测量布线确定模块, 用于基于所述第一数学模型和所述第二数学模型确定多波束测量船的测量布线;

所述第一数学模型建立模块, 用于基于海域中心点处的海水深度、测线距中心处距离和斜面坡度确定海水深度; 基于海域中心点处覆盖宽度、所述海域中心点处的海水深度、所述测线距中心处距离和所述斜面坡度确定覆盖宽度; 基于多波束换能器的开角、测线间距、所述海域中心点处的海水深度、所述测线距中心处距离和所述斜面坡度确定当前测线与前

一条测线的间距;基于所述多波束换能器的开角、所述海域中心点处的海水深度和所述斜面坡度确定所述海域中心点处覆盖宽度;

通过以下算式基于海域中心点处的海水深度、测线距中心处距离和斜面坡度确定海水深度: $D(x) = D - x \tan \alpha$;其中, $D(x)$ 为海水深度, D 为海域中心点处的海水深度, x 为第一数学模型的测线距中心处距离, α 为斜面坡度;通过以下算式基于海域中心点处覆盖宽度、所述海域中心点处的海水深度、所述测线距中心处距离和所述斜面坡度确定覆盖宽度:

$W(x) = W(1 - \frac{x \tan \alpha}{D})$;其中, $W(x)$ 为覆盖宽度, W 为海域中心点处覆盖宽度;通过以下算式基于多波束换能器的开角、测线间距、所述海域中心点处的海水深度、所述测线距中心处距离和所述斜面坡度确定当前测线与前一条测线的间距: $\eta(x) = 1 - \frac{d \cos \frac{\theta}{2} \cos(\frac{\theta}{2} - \alpha)}{D - (x - d) \tan \alpha}$;

其中, $\eta(x)$ 为当前测线与前一条测线的间距, d 为测线间距, θ 为多波束换能器的开角;通过以下算式基于所述多波束换能器的开角、所述海域中心点处的海水深度和所述斜面坡度确定所述海域中心点处覆盖宽度:

$W = \frac{D \sin \theta \cos \alpha}{\cos(\frac{\theta}{2} + \alpha) \cos(\frac{\theta}{2} - \alpha)}$;

所述第二数学模型建立模块,用于基于斜面坡度和测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角确定覆盖宽度与覆盖宽度在水平面上投影的夹角;基于所述斜面坡度和所述测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角确定测线方向与测线方向在水平面上投影的夹角;基于海域中心点处的海水深度、测线距海域中心点处的距离、所述测线方向与测线方向在水平面上投影的夹角和测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角确定经过海域中心点的测线方向上海水深度;基于所述经过海域中心点的测线方向上海水深度、所述多波束换能器的开角和所述覆盖宽度与覆盖宽度在水平面上投影的夹角确定覆盖宽度;

通过以下算式基于斜面坡度和测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角确定覆盖宽度与覆盖宽度在水平面上投影的夹角: $\gamma = \tan^{-1}(\tan \alpha \sin \beta)$;其中, γ 为覆盖宽度与覆盖宽度在水平面上投影的夹角, α 为斜面坡度, β 为测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角;通过以下算式基于所述斜面坡度和所述测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角确定测线方向与测线方向在水平面上投影的夹角:

$\delta = \tan^{-1}(\tan \alpha \cos \beta)$;其中, δ 为测线方向与测线方向在水平面上投影的夹角;通过以下算式基于海域中心点处的海水深度、测线距海域中心点处的距离、所述测线方向与测线方向在水平面上投影的夹角和测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角确定经

过海域中心点的测线方向上海水深度: $\lambda(\epsilon) = \begin{cases} D + \epsilon \tan \delta, \beta \in [0, \frac{\pi}{2}] \text{ or } [\frac{3\pi}{2}, 2\pi] \\ D - \epsilon \tan \delta, \text{ otherwise} \end{cases}$;其中,

$\lambda(\epsilon)$ 为经过海域中心点的测线方向上海水深度, ϵ 为第二数学模型的测线距中心处距离;通过以下算式基于所述经过海域中心点的测线方向上海水深度、所述多波束换能器的开角和所述覆盖宽度与覆盖宽度在水平面上投影的夹角确定覆盖宽度: $W(\epsilon) =$

$\frac{\lambda(\epsilon)\sin\theta\cos\gamma}{\cos(\frac{\theta}{2}+\gamma)\cos(\frac{\theta}{2}-\gamma)}$;其中, $W(\epsilon)$ 为覆盖宽度, θ 为多波束换能器的开角。

5.一种电子设备,其特征在于,包括处理器和存储器,所述存储器存储有能够被所述处理器执行的计算机可执行指令,所述处理器执行所述计算机可执行指令以实现执行权利要求1至3任一项所述的数学模型的处理方法。

6.一种计算机可读存储介质,其特征在于,所述计算机可读存储介质存储有计算机可执行指令,所述计算机可执行指令在被处理器调用和执行时,计算机可执行指令促使处理器实现权利要求1至3任一项所述的数学模型的处理方法。

数学模型的处理方法、装置、电子设备和存储介质

技术领域

[0001] 本发明涉及多波束测线技术领域,尤其是涉及一种数学模型的处理方法、装置、电子设备和存储介质。

背景技术

[0002] 多波束测深技术是海底地形测量中的关键工具,它是在单波束探测技术的基础上发展起来的。单波束测深技术是一种利用声波在水中传播的原理来测量水体深度的方法。该技术通过发射声波信号并记录声波传播时间来计算水深。在单波束测深过程中,采用单点连续测量方法,导致数据点在测量船航迹上非常密集,但在测线之间没有数据。这种技术的局限性在于它无法提供全面的海底地形信息。

[0003] 多波束测深系统是建立在单波束测深技术的基础之上的一项进展。该系统在与航迹垂直的平面内能够同时发射多达数十甚至上百个声波波束,并通过接收换能器接收从海底反射回来的声波信号,从而提高了测量效率和覆盖范围。多波束测深系统克服了单波束测深技术的一些局限性。特别是在海底地形平坦的海域内,它能够测量出以测量船的测线为轴线的全面覆盖水深条带,因此可以提供更丰富的海底地形信息,但也需要更复杂的数据处理和分析。上述条带的宽度 W 取决于换能器的开角 θ 和水深 D 的变化。如果测线是相互平行的且海底地形是平坦的,那么可以通过计算相邻条带之间的重叠率来评估测量的准确性,重叠率的计算方式为 $\eta = 1 - d/W$,其中 d 表示相邻两条测线的间距,而 W 表示条带的覆盖宽度。当重叠率 η 小于零时,这意味着可能会有漏测的情况发生。为了确保测量的方便性和数据的完整性,通常需要确保相邻条带之间具有10%~20%的重叠率。

[0004] 但是,在真实海底地形探测中,多波束测探技术依然面临着一些挑战与问题。实际海底地形可能出现较大起伏变化,导致采用平均水深设计测线间隔时,在水深较浅的地方可能会出现漏测,而采用最浅处水深设计测线间隔时,在水深较深的地方可能会出现过多的重叠,影响测量的效率。为解决此问题,需要找到一种平衡的方法,以便在不同地形条件下获得准确的海底地形信息。

[0005] 在解决漏测和重叠的问题上,本实施例通过将待测海域网格化,在每个小网格内近似使用地形平坦海域的测量方法。通过对每个网格内测线间隔的综合考量,选取一个能够满足最大部分海域测量要求的测线间隔。

[0006] 多波束测深技术在海底地形测量中具有显著的优势,能够提供更全面的信息。然而,为了克服不同地形条件下可能出现的问题,需要考虑调整多波束测深系统的参数,并根据实际需求制定合适的测量方案。这需要进一步的研究和数据分析,以确保在不同海底地形条件下都能获得可靠的测量结果。这一研究对于海底地形测量和海洋工程领域具有重要意义。

发明内容

[0007] 有鉴于此,本发明的目的在于提供一种数学模型的处理方法、装置、电子设备和存

储介质,以更精确地优化完成测线设计。

[0008] 第一方面,本发明实施例提供了一种数学模型的处理方法,方法包括:基于多波束换能器的开角、斜面坡度和海域中心点处的海水深度建立对应的海底地形数据的多波束测深的覆盖宽度及相邻条带之间重叠率的第一数学模型;基于测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角、多波束换能器的开角、斜面坡度和海域中心点处的海水深度建立多波束测深的覆盖宽度的第二数学模型;基于第一数学模型和第二数学模型确定多波束测量船的测量布线。

[0009] 在本申请可选的实施例中,上述基于多波束换能器的开角、斜面坡度和海域中心点处的海水深度建立对应的海底地形数据的多波束测深的覆盖宽度及相邻条带之间重叠率的第一数学模型的步骤,包括:基于海域中心点处的海水深度、测线距中心处距离和斜面坡度确定海水深度;基于海域中心点处覆盖宽度、海域中心点处的海水深度、测线距中心处距离和斜面坡度确定覆盖宽度;基于多波束换能器的开角、测线间距、海域中心点处的海水深度、测线距中心处距离和斜面坡度确定当前测线与前一条测线的间距;基于多波束换能器的开角、海域中心点处的海水深度和斜面坡度确定海域中心点处覆盖宽度。

[0010] 在本申请可选的实施例中,通过以下算式基于海域中心点处的海水深度、测线距中心处距离和斜面坡度确定海水深度: $D(x) = D - xtana$;其中, $D(x)$ 为海水深度, D 为海域中心点处的海水深度, x 为测线距中心处距离, α 为斜面坡度;通过以下算式基于海域中心点处覆盖宽度、海域中心点处的海水深度、测线距中心处距离和斜面坡度确定覆盖宽度: $W(x) = W(1 - \frac{xtana}{D})$;其中, $W(x)$ 为覆盖宽度, W 为海域中心点处覆盖宽度;通过以下算式基于多波束换能器的开角、测线间距、海域中心点处的海水深度、测线距中心处距离和斜面坡度确定当前测线与前一条测线的间距: $\eta(x) = 1 - \frac{d\cos\frac{\theta}{2}\cos(\frac{\theta}{2} - \alpha)}{D - (x - d)tana}$;其中,

$\eta(x)$ 为当前测线与前一条测线的间距, d 为测线间距, θ 为多波束换能器的开角;通过以下算式基于多波束换能器的开角、海域中心点处的海水深度和斜面坡度确定海域中心点处覆盖宽度: $W = \frac{D\sin\theta\cos\alpha}{\cos(\frac{\theta}{2} + \alpha)\cos(\frac{\theta}{2} - \alpha)}$ 。

[0011] 在本申请可选的实施例中,上述基于测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角、多波束换能器的开角、斜面坡度和海域中心点处的海水深度建立多波束测深的覆盖宽度的第二数学模型的步骤,包括:基于斜面坡度和测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角确定覆盖宽度与覆盖宽度在水平面上投影的夹角;基于斜面坡度和测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角确定测线方向与测线方向在水平面上投影的夹角;基于海域中心点处的海水深度、测线距海域中心点处的距离、测线方向与测线方向在水平面上投影的夹角和测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角确定经过海域中心点的测线方向上海水深度;基于经过海域中心点的测线方向上海水深度、多波束换能器的开角和覆盖宽度与覆盖宽度在水平面上投影的夹角确定覆盖宽度。

[0012] 在本申请可选的实施例中,通过以下算式基于斜面坡度和测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角确定覆盖宽度与覆盖宽度在水平面上投影的夹角:

$\gamma = \tan^{-1}(\tan\alpha\sin\beta)$;其中, γ 为覆盖宽度与覆盖宽度在水平面上投影的夹角, α 为斜面坡度和测线方向, β 为测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角;通过以下算式基于斜面坡度和测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角确定测线方向与测线方向在水平面上投影的夹角: $\delta = \tan^{-1}(\tan\alpha\cos\beta)$;其中, δ 为测线方向与测线方向在水平面上投影的夹角;通过以下算式基于海域中心点处的海水深度、测线距海域中心点处的距离、测线方向与测线方向在水平面上投影的夹角和测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角确定经过海域中心点的测线方向上海水深度:

$$\lambda(\epsilon) = \begin{cases} D + \epsilon\tan\delta, \beta \in [0, \frac{\pi}{2}] \text{ or } [\frac{3\pi}{2}, 2\pi] \\ D - \epsilon\tan\delta, \text{ otherwise} \end{cases}; \text{其中, } \lambda(\epsilon) \text{ 为经过海域中心点的测线方向上}$$

海水深度;过以下算式基于经过海域中心点的测线方向上海水深度、多波束换能器的开角和覆盖宽度与覆盖宽度在水平面上投影的夹角确定覆盖宽度: $W(\epsilon) = \frac{\lambda(\epsilon)\sin\theta\cos\gamma}{\cos(\frac{\theta}{2} + \gamma)\cos(\frac{\theta}{2} - \gamma)}$;

其中, $W(\epsilon)$ 为覆盖宽度, θ 为多波束换能器的开角。

[0013] 在本申请可选的实施例,上述方法还包括:在预设的假设和条件约束下建立第一数学模型和第二数学模型。

[0014] 在本申请可选的实施例,上述假设和条件约束至少包括以下之一:测量海域内的洋流和水体成分均不对测量结果产生影响;测量船换能器的调节与校准、接收换能器的分辨率、仪器精度误差不对测量结果产生影响;声源的强度不对测量结果产生影响;声波的传播速度是恒定的;测线方向与覆盖宽度在水平面上投影的夹角以及测线方向与坡面的夹角的差异不对测量结果产生影响;对覆盖宽度的总长度进行近似计算;环境因素不对测量结果产生影响。

[0015] 第二方面,本发明实施例还提供一种数学模型的处理装置,装置包括:第一数学模型建立模块,用于基于多波束换能器的开角、斜面坡度和海域中心点处的海水深度建立对应的海底地形数据的多波束测深的覆盖宽度及相邻条带之间重叠率的第一数学模型;第二数学模型建立模块,用于基于测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角、多波束换能器的开角、斜面坡度和海域中心点处的海水深度建立多波束测深的覆盖宽度的第二数学模型;测量布线确定模块,用于基于第一数学模型和第二数学模型确定多波束测量船的测量布线。

[0016] 第三方面,本发明实施例还提供了一种电子设备,包括处理器和存储器,该存储器存储有能够被该处理器执行的计算机可执行指令,该处理器执行该计算机可执行指令以实现上述数学模型的处理方法。

[0017] 第四方面,本发明实施例还提供了一种计算机可读存储介质,该计算机可读存储介质存储有计算机可执行指令,该计算机可执行指令在被处理器调用和执行时,计算机可执行指令促使处理器实现上述数学模型的处理方法。

[0018] 本发明实施例带来了以下有益效果:

[0019] 本发明实施例提供了一种数学模型的处理方法、装置、电子设备和存储介质,基于多波束换能器的开角、斜面坡度和海域中心点处的海水深度建立对应的海底地形数据的多

波束测深的覆盖宽度及相邻条带之间重叠率的第一数学模型;基于测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角、多波束换能器的开角、斜面坡度和海域中心点处的海水深度建立多波束测深的覆盖宽度的第二数学模型;基于第一数学模型和第二数学模型确定多波束测量船的测量布线。该方式中,基于海底斜面坡度、海水深度、声波传播速度等参数,推导了多波束测深的覆盖宽度和相邻条带重叠率与这些参数之间的数学表达式。本实施例还考虑了斜面坡度、海水深度的变化以及多波束测深系统的技术参数,以更精确地优化完成测线设计。

[0020] 本公开的其他特征和优点将在随后的说明书中阐述,或者,部分特征和优点可以从说明书推知或毫无疑问地确定,或者通过实施本公开的上述技术即可得知。

[0021] 为使本公开的上述目的、特征和优点能更明显易懂,下文特举较佳实施例,并配合所附附图,作详细说明如下。

附图说明

[0022] 为了更清楚地说明本发明具体实施方式或现有技术中的技术方案,下面将对具体实施方式或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图是本发明的一些实施方式,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0023] 图1为本发明实施例提供的一种数学模型的处理方法的流程图;

[0024] 图2为本发明实施例提供的另一种数学模型的处理方法的流程图;

[0025] 图3为本发明实施例提供的一种重合率的示意图;

[0026] 图4为本发明实施例提供的一种斜面的示意图;

[0027] 图5为本发明实施例提供的另一种斜面的示意图;

[0028] 图6为本发明实施例提供的另一种海底坡面的示意图;

[0029] 图7为本发明实施例提供的一种数学模型的处理装置的结构示意图;

[0030] 图8为本发明实施例提供的一种电子设备的结构示意图。

具体实施方式

[0031] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图对本发明的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0032] 单波束测深是一种利用声波在水中传播的特性来测量水深的技术。声波在均匀介质中以匀速直线传播,反射在不同界面上发生。根据这一原理,测量船会垂直向海底发射声波信号,记录声波从发射到接收的传播时间,并使用声波的传播速度和传播时间来计算海水深度。在单波束测深过程中,采用单点连续测量方法,因此数据沿航迹非常密集,但在测线之间没有数据,因为只有一个波束直接打到海底。

[0033] 多波束测深系统是在单波束测深技术的基础上发展起来的。该系统在与航迹垂直的平面内可以同时发射数十个乃至上百个波束,然后由接收换能器接收从海底返回的声波信号。多波束测深系统克服了单波束测深的不足之处。在海底平坦的海域内,它能够测量出

以测量船测线为轴线的全覆盖水深条带,这些条带的宽度 W 取决于换能器的开角 θ 和水深 D 的变化。如果测线相互平行且海底地形平坦,那么相邻条带之间的重叠率可以定义为 $\eta = 1 - d/W$,其中 d 是相邻两条测线的间距, W 是条带的覆盖宽度。如果 $\eta < 0$,则表示漏测。为了确保测量的便利性和数据的完整性,相邻条带之间应具有10%~20%的重叠率。

[0034] 然而,真实海底地形的起伏变化较大。如果采用海区平均水深来设计测线间距,虽然平均重叠率可以满足要求,但在水深较浅的地方可能会出现漏测,从而影响测量质量。另一方面,如果采用海区最浅处水深来设计测线间距,虽然最浅处的重叠率可以满足要求,但在水深较深的地方可能会出现重叠过多的情况,导致数据冗余,从而影响测量效率。

[0035] 现在本实施例需要完成如下问题:

[0036] 问题1:在多波束测深中,建立覆盖宽度和相邻条带之间重叠率的数学模型。

[0037] 问题2:建立多波束测深覆盖宽度的数学模型。

[0038] 基于此,本发明实施例提供的一种数学模型的处理方法、装置、电子设备和存储介质,基于海底斜面坡度、海水深度、声波传播速度等参数,推导了多波束测深的覆盖宽度和相邻条带重叠率与这些参数之间的数学表达式。本实施例还考虑了斜面坡度、海水深度的变化以及多波束测深系统的技术参数,以更精确地优化完成测线设计。

[0039] 为便于对本实施例进行理解,首先对本发明实施例所公开的一种数学模型的处理方法进行详细介绍。

[0040] 实施例一:

[0041] 本发明实施例提供一种数学模型的处理方法,参见图1所示的一种数学模型的处理方法的流程图,该数学模型的处理方法包括如下步骤:

[0042] 步骤S102,基于多波束换能器的开角、斜面坡度和海域中心点处的海水深度建立对应的海底地形数据的多波束测深的覆盖宽度及相邻条带之间重叠率的第一数学模型。

[0043] 本实施例中可以在多波束测深中,建立覆盖宽度和相邻条带之间重叠率的数学模型。假设多波束换能器的开角为 120° ,坡度为 1.5° ,海域中心点处的海水深度为70米。

[0044] 步骤S104,基于测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角、多波束换能器的开角、斜面坡度和海域中心点处的海水深度建立多波束测深的覆盖宽度的第二数学模型。

[0045] 本实施例中可以建立多波束测深覆盖宽度的数学模型,考虑一个矩形待测海域,测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角为 β 。假设多波束换能器的开角为 120° ,坡度为 1.5° ,海域中心点处的海水深度为120米。

[0046] 步骤S106,基于第一数学模型和第二数学模型确定多波束测量船的测量布线。

[0047] 在建立第一数学模型和第二数学模型之后,可以基于第一数学模型和第二数学模型为多波束测量船的测量布线提供帮助。

[0048] 本发明实施例提供了一种数学模型的处理方法,基于多波束换能器的开角、斜面坡度和海域中心点处的海水深度建立对应的海底地形数据的多波束测深的覆盖宽度及相邻条带之间重叠率的第一数学模型;基于测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角、多波束换能器的开角、斜面坡度和海域中心点处的海水深度建立多波束测深的覆盖宽度的第二数学模型;基于第一数学模型和第二数学模型确定多波束测量船的测量布线。该

方式中,基于海底斜面坡度、海水深度、声波传播速度等参数,推导了多波束测深的覆盖宽度和相邻条带重叠率与这些参数之间的数学表达式。本实施例还考虑了斜面坡度、海水深度的变化以及多波束测深系统的技术参数,以更精确地优化完成测线设计。

[0049] 实施例二:

[0050] 本实施例提供了另一种数学模型的处理方法,该方法在上述实施例的基础上实现,具体描述第一数学模型和第二数学模型建立的步骤。

[0051] 在多波束测深中,测线间隔和路径选取是两个非常重要的因素,对于确保测深数据的准确性和可靠性起着关键作用。

[0052] 测线间隔是指在测深过程中设置测线的间距。适当的测线间隔能够提供足够的数据点来对水深进行采样,以获取更全面的水深信息。如果测线间隔过大,可能会导致数据稀疏,造成对水深细节的遗漏和误差。相反,如果测线间隔过小,会增加数据采集的时间和成本。因此,在确定测线间隔时,必须平衡数据采集的效率和数据质量的要求,以获得最佳的测深结果。

[0053] 路径选取是指在测深过程中选择测线的路径。合理选择测线路径可以最大程度地覆盖测区范围,并确保对不同地貌和水深变化进行全面的探测。在实际操作中,通常根据测区的特点和要求,选择直线、蛇形、网格等路径形式进行测量。路径选取的不合理将导致测深数据的空缺或重叠,降低对地形变化的捕捉能力,从而影响到测深结果的准确性和可靠性。

[0054] 综上,测线间隔和路径选取在多波束测深中都是至关重要的因素。合理的测线间隔可以提供充分的采样点,以获取准确的水深信息;而合理的路径选择可以确保全面覆盖测区并捕捉地形变化,从而得出可靠的测深结果。因此,在进行多波束测深时,应根据实际情况进行合理的测线间隔和路径选取,以确保测深数据的准确性和可靠性。

[0055] 一、二维静态情形下多波束测深覆盖宽度与相邻条带重叠率之间的数学关系。

[0056] 为解决此问题,本实施例引入多波束测线中的重叠率这一关键概念以描述测线在空间中的重合程度。重叠率的概念度量了多个测线在其扫描区域内相互覆盖的程度,也就是说,它衡量了多波束测线的数据覆盖了多大比例的相同地理区域。这一概念对于理解多波束测深的性质和应用并分析二维静态情形下多波束测深覆盖宽度与相邻条带重叠率之间的数学关系至关重要。

[0057] 具体来说,重叠率通常以百分比的形式表示,它反映了多波束测线之间共同覆盖的区域与总扫描区域之间的比例关系。较高的重叠率意味着多个测线之间存在较大的重叠区域,这有助于提高数据采集的可靠性和准确性。如何通过控制重叠率以确保数据准确可靠性同时保证计算量合理是解决本问题中多波束测深覆盖宽度与相邻条带重叠率之间的数学关系的关键。

[0058] 要计算重叠率,可以通过比较不同测线的扫描数据或利用地理信息系统工具进行分析。深入理解重叠率有助于用户更全面地评估多波束测线数据的质量和一致性,从而能够更有效地将这些数据应用于各种应用领域。这样的分析和理解为优化多波束测深数据的利用提供了基础。

[0059] 在解决当前问题的背景下,本实施例基于平面几何知识进行分析和建模,成功地推导出了二维静态情形下多波束测深覆盖宽度与相邻条带重叠率之间的数学关系。这种分

析建模是非常关键的,因为它为本实施例提供了理论依据,以更好地理解和应用多波束测深数据。

[0060] 二、给定轨迹条件下三维动态情形下多波束测深覆盖宽度与相邻条带重叠率之间的数学关系。

[0061] 给定轨迹条件下,本实施例需要系统地分析三维动态情形下多波束测深覆盖宽度与相邻条带重叠率之间的数学关系。相较于上一部分分析的二维情形,这个问题涉及到更为复杂的情境,需要同时考虑多波束测深数据在三维空间中的分布,以及它们随时间的变化轨迹。此外,本实施例还需要在分析中考虑到三维情形下的几何关系的适当近似处理以及声波的传播速度。

[0062] 首先,本实施例可以从多波束测深的覆盖宽度着手。在三维情形下,覆盖宽度表示在特定时间点内,测线所覆盖的空间长度。覆盖宽度的计算依赖于测线的位置和探测角度。因此,本实施例必须考虑测线轨迹的演化、探测角度的变化以及水体几何形状等多个因素,以建立三维情形下覆盖宽度的精确数学模型。

[0063] 其次,相邻条带的重叠率在三维动态情形下也需要重新分析。这需要考虑到测线在不同时间点的三维空间位置以及它们的覆盖区域如何在时间和空间上相互交叠。重叠率的计算必须综合考虑测线轨迹的三维坐标、探测角度的变化,以及可能存在的时间间隔。

[0064] 在问题的分析中,本实施例在处理数据时进行了适度的几何关系近似,这有助于简化问题的复杂度。由于本问题中心海水深度的数量级相对于声波的传播速度较小,本实施例可以近似地认为声波的传播速度在本题中是恒定的。

[0065] 总之,分析给定轨迹条件下三维动态情形下多波束测深覆盖宽度与相邻条带重叠率之间的数学关系涉及到复杂的三维几何问题、声波传播速度的处理、时间变化的考虑以及多波束测深系统的技术参数。建立这样的数学关系模型需要深入的地理信息、物理学和数学知识,并可能需要使用数值模拟或仿真工具来解决。最终的目标是为了更好地理解 and 优化多波束测深数据在动态三维环境中的应用。

[0066] 三、三维动态情形下基于多波束测深覆盖宽度与相邻条带重叠率数学关系的最优化测线轨迹分析。

[0067] 在三维动态情形下,本实施例需要进行基于多波束测深覆盖宽度与相邻条带重叠率数学关系的最优化测线轨迹分析。这个问题包括了对多波束测深数据在三维空间中的分布和其随时间的变化轨迹的研究。同时,还需要考虑到三维情形下的几何关系的适当近似处理以及声波的传播速度。

[0068] 首先,本实施例需要着手分析多波束测深的覆盖宽度。在三维情形下,覆盖宽度表示在特定时间点内,测线所覆盖的空间体积。这一宽度的计算依赖于测线的位置和探测角度。因此,本实施例必须考虑测线轨迹的演化、探测角度的变化以及水体几何形状等多个因素,以建立三维情形下覆盖宽度的精确数学模型。

[0069] 其次,相邻条带的重叠率在三维动态情形下也需要重新思考。这需要考虑到测线在不同时间点的三维空间位置以及它们的覆盖区域如何在时间和空间上相互交叠。重叠率的计算必须综合考虑测线轨迹的三维坐标、探测角度的变化,以及可能存在的时间间隔。

[0070] 在问题的分析中,本实施例在处理数据时进行了适度的几何关系近似,这有助于简化问题的复杂度。鉴于本问题中心海水深度的数量级相对于声波的传播速度较小,本实

施例可以近似地认为声波的传播速度在本问题中是恒定的。

[0071] 综上,基于多波束测深覆盖宽度与相邻条带重叠率数学关系的最优化测线轨迹分析将涉及到复杂的三维几何问题、声波传播速度的处理、时间变化的考虑以及多波束测深系统的技术参数。建立这样的数学关系模型需要深入的地理信息、物理学和数学知识,并可能需要使用数值模拟或仿真工具来解决。最终的目标是为了更好地理解 and 优化多波束测深数据在动态三维环境中的应用。

[0072] 参见图2所示的另一种数学模型的处理方法的流程图,该数学模型的处理方法包括如下步骤:

[0073] 步骤S202,在预设的假设和条件约束下建立第一数学模型和第二数学模型。

[0074] 在一些实施例中,上述假设和条件约束至少包括以下之一:测量海域内的洋流和水质成分均不对测量结果产生影响;测量船换能器的调节与校准、接收换能器的分辨率、仪器精度误差不对测量结果产生影响;声源的强度不对测量结果产生影响;声波的传播速度是恒定的;测线方向与覆盖宽度在水平面上投影的夹角以及测线方向与坡面的夹角的差异不对测量结果产生影响;对覆盖宽度的总长度进行近似计算;环境因素不对测量结果产生影响。

[0075] 为了构建更为精确的数学模型,本实施例根据实际情况做出了以下合理的假设或条件约束:

[0076] 在分析多波束测深覆盖宽度、相邻条带重叠率与测线轨迹等数据的过程中,本实施例假设测量海域内的洋流、水质成分等外界因素均不会对测定结果产生影响。这一假设可以简化实验过程,使实验结果更具可重复性和可靠性。

[0077] 在后续的分析过程中,本实施例忽略了测量船换能器的调节与校准、接收换能器的分辨率、包括仪器精度误差在内的随机误差对测量结果的影响。这一假设可以有效降低测量数据的噪声,提高分析结果的准确性。但需要提醒的是,不同测量设备条件下这些因素的影响程度可能有所不同,因此该假设需要在实际应用中验证。

[0078] 本实施例还忽略声源的强度对测量结果产生的影响。尽管声源的强度对于波束信号的测量结果有影响,但为了简化实验过程和降低系统误差,本实施例将其假设为恒定值,以确保实验的可重复性和精确性。

[0079] 鉴于本问题中的中心海水深度的数量级相对于声波的传播速度较小,本实施例可以近似认为声波的传播速度在本题中是恒定的。这一假设同样可以简化实验过程,但需要注意考虑在对比题设范围更大测量海域声速对测量结果的影响应根据实际声速梯度与海况等因素进行分析与校正。

[0080] 在建立三维模型的过程中,本实施例忽略测线方向与覆盖宽度在水平面上投影的夹角与坡面上两者的夹角的大小差异所产生的影响。由于坡度较小,为了简化模型的需要,本实施例认为这个差异造成的角度大小的改变可以忽略不计。

[0081] 在测线设计中,本实施例对覆盖宽度的总长度做了具有可行性的近似计算,有利于简化模型以及易于推广至普适情形。

[0082] 最后,本实施例忽略包括环境温度、气压、海况等因素在内的其他环境因素对测量结果产生的影响。这一假设旨在避免干扰因素对测量结果的影响,确保分析结果更加可靠和准确。

[0083] 尽管本实施例做出了以上多项假设和条件约束,但这些假设和约束应根据实际情况进行分析验证,以确保实验结果的准确性和可靠性。

[0084] 基于多波束测线问题的系列海底探测模型可用整数规划方法求解。整数规划是一种优化方法,其目标是在一组变量中找到整数解,以最大化或最小化一个线性或非线性的目标函数,同时满足一组线性或非线性的约束条件。虽然整数规划在许多实际应用中非常有用,但它也面临一些难点和挑战,这些难点包括:

[0085] 组合爆炸:随着整数变量数量的增加,问题的复杂性呈指数级增长。这意味着对于大规模整数规划问题,计算时间可能会急剧增加,甚至变得不切实际。

[0086] NP-难性:许多整数规划问题被证明是NP-难的,这意味着在一般情况下,没有有效的多项式时间算法可以解决它们。因此,对于某些问题,只能寻找近似解或使用启发式方法。

[0087] 线性规划松弛问题:整数规划问题通常会使用线性规划松弛来转化为更容易求解的问题,但这也导致了问题的松弛版本可能没有整数解。这增加了找到整数解的难度。

[0088] 整数约束的复杂性:整数变量的存在使得问题更加复杂。在连续规划中,可以使用梯度等技巧来寻找解,但在整数规划中,必须考虑到整数值的限制,这增加了难度。

[0089] 多目标和多约束问题:整数规划问题经常涉及多个目标函数或多个约束条件,这增加了问题的复杂性,因为需要权衡这些目标和约束。

[0090] 可行性和最优性证明:确定问题是否有解以及找到最优解的证明可能非常困难。对于某些问题,验证一个解是否是最优解需要耗费大量的计算资源。

[0091] 大规模问题:对于大规模整数规划问题,内存和计算资源的限制可能成为问题。寻找合适的方法来处理这些问题是一个挑战。

[0092] 问题依赖性:不同类型的整数规划问题有不同的性质和难点。不同问题的特定结构和约束条件会导致不同的挑战。

[0093] 本实施例中还可以说明一些不可行的方法与其原因:

[0094] 分枝定界法与割平面法的结合:将分枝定界法与割平面法相结合,可以提高解整数规划问题的效率。割平面法用于加强松弛问题的界限,从而更快地找到最优解。但是,分枝定界法与割平面法的结合在处理基于多波束测线问题的系列海底探测分析模型时面临以下问题:多波束测线问题通常涉及大规模的变量和约束,导致计算资源需求巨大,可能需要更高性能的计算环境。同时,本问题包含非线性目标函数或约束,需要额外的工作将其线性化,使其适用于分枝定界法与割平面法。但是,生成有效的割平面可能很困难,特别是对于复杂的非线性问题,需要专门的算法和领域知识来克服这个障碍。此外,多波束测线问题通常具有领域特定的约束和结构,因此可能存在更适合问题的特定方法,例如基于领域知识的启发式算法。综上,分枝定界法与割平面法的结合不适用于解决本问题。

[0095] 动态规划法:对于某些特定类型的整数规划问题,动态规划可以是一种有效的方法。通常,这些问题具有特殊的结构,使得可以使用动态规划来逐步构建最优解。但是,动态规划法在某些情况下可能不适用于基于整数规划方法求解基于多波束测线问题的系列海底探测分析模型,具体原因如下:整数规划方法的核心特点是要找到整数解,而动态规划方法通常用于连续或离散的问题,不要求解必须为整数。多波束测线问题通常要求确定特定位置或路径的整数值,而动态规划方法不直接适用于此类离散决策问题。同时,多波束测线

问题通常涉及大规模的决策变量和约束条件,而整数规划问题本身已经具有一定的复杂性。动态规划方法在处理大规模整数规划问题时可能变得非常昂贵,因为它需要考虑多个可能的整数值。另外,动态规划通常依赖于状态空间的建立,而对于复杂的多波束测线问题,状态空间可能会变得非常庞大,导致计算资源需求巨大,可能不切实际。多波束测线问题的特定结构和约束条件并不适合动态规划方法。动态规划通常用于序列决策问题,而多波束测线问题则具有更复杂的拓扑结构和约束。多波束测线问题也包含非线性的目标函数或约束条件,这对于动态规划方法而言是一个挑战,因为它通常用于线性或分段线性问题。总之,动态规划方法不适用于基于整数规划方法求解多波束测线问题的主要原因是它的整数规划特性、问题规模、状态空间的大小以及问题的结构和非线性特性。在解决这类问题时,通常需要考虑其他整数规划方法或特定于问题领域的技术。

[0096] 本实施例中可以采用蒙特卡洛法,以下说明蒙特卡洛法的基本原理、可行性与优势:

[0097] 1、基本原理:

[0098] 蒙特卡洛法的基本思想是通过生成大量的随机样本(通常服从已知概率分布),使用这些样本来估计问题的解或性质。在整数规划背景下,可以使用蒙特卡洛方法来估计整数规划问题的目标函数值或约束满足度。方法包括以下步骤:随机生成问题的可行解,这些解可能是整数或连续值。计算每个随机生成的解的目标函数值和约束满足度。根据生成的解的统计信息,估计整数规划问题的解或性质,例如最优解的期望值或问题的可行性。

[0099] 2、可行性:

[0100] 蒙特卡洛法在处理整数规划问题时具有较高的可行性,因为它不需要像传统整数规划方法那样精确枚举整数解。蒙特卡洛方法可以生成大量随机解,通过统计分析,可以估计问题的性质,如最优解的期望值、方差以及约束违反的概率。

[0101] 3、优势:

[0102] 灵活性:蒙特卡洛方法适用于各种问题,包括非线性问题和复杂的约束条件。这使得它可以适用于多波束测线问题的不同变种和场景。

[0103] 近似最优解:虽然蒙特卡洛法不保证找到最优解,但它可以生成接近最优解的估计值。这在实际应用中可能足够满足需求。

[0104] 可扩展性:蒙特卡洛方法可以轻松应对大规模问题,因为它不需要穷举整数解。它可以根据需要生成足够多的随机样本以提高估计的准确性。

[0105] 处理随机性:如果问题具有随机性质,蒙特卡洛方法可以直接建模和处理随机变量,从而更好地反映问题的本质。

[0106] 需要注意的是,蒙特卡洛方法通常是一种近似求解方法,可能需要大量的随机样本才能达到满意的准确度。因此,在实际应用中,需要仔细选择抽样策略和样本数量,以在计算资源允许的情况下获得合理的解。

[0107] 本实施例中还可以采用遗传算法回归,以下说明遗传算法回归的基本原理、可行性与优势:

[0108] 1、基本原理:

[0109] 遗传算法是一种基于生物进化原理的优化算法。其基本原理包括以下步骤:初始化种群:随机生成一组初始解作为种群,这些解表示问题的潜在解决方案。适应度评估:计

算每个个体(解)的适应度,通常是问题的目标函数值。适应度越高,个体越有可能在后续进化中被选择。选择:根据个体的适应度,选择一些个体作为父代,通常采用轮盘赌或竞争选择等方法。交叉(交叉操作):选定一对父代个体,通过交叉操作生成子代个体,将两个父代的信息组合在一起。变异:对一些子代个体进行变异操作,以引入新的多样性。替换:用子代个体替代一部分父代个体,形成新一代种群。重复迭代:重复上述步骤,直到满足停止条件(例如,达到最大迭代次数或找到满意的解)。

[0110] 2、可行性:

[0111] 遗传算法通常在求解整数规划问题时有一定的可行性。它可以处理整数规划问题,因为解空间中的每个个体都可以表示为整数值,这是与整数规划问题的性质相符的。

[0112] 3、优势:

[0113] 全局搜索能力:遗传算法具有较强的全局搜索能力,能够在解空间中搜索多个潜在解,有助于找到全局最优解或高质量解。

[0114] 适应性:通过自然选择、交叉和变异操作,遗传算法可以适应问题的复杂结构和约束条件,因此适用于多波束测线问题的多样性。

[0115] 并行性:遗传算法易于并行化,可以在多个处理单元上运行,加速求解过程。

[0116] 无需梯度信息:与某些优化方法(如梯度下降)不同,遗传算法不需要目标函数的梯度信息,因此适用于没有可用梯度信息的问题。

[0117] 可调参数:遗传算法的性能可以通过调整参数(如交叉率、变异率等)来优化,因此具有灵活性。

[0118] 需要注意的是,遗传算法并不保证找到最优解,而是在有限时间内搜索到可能的高质量解。其性能取决于参数设置、算法设计和问题特性。因此,在使用遗传算法求解多波束测线问题时,需要仔细调整参数和进行多次运行以获得最佳结果。

[0119] 步骤S204,基于多波束换能器的开角、斜面坡度和海域中心点处的海水深度建立对应的海底地形数据的多波束测深的覆盖宽度及相邻条带之间重叠率的第一数学模型。

[0120] 可以参见图3所示的一种重合率的示意图,图4所示的一种斜面的示意图和图5所示的另一种斜面的示意图。

[0121] 对于重合率的概念,可以如图3所示。重合部分占前一测线宽度的比值称为重合

率。在平行四边形ABGE中, $\frac{AB \parallel EG \Rightarrow AB}{= EG = d, \eta = GH/EH = (EH - EG)/EH = (w - d)/w = 1 - d/w}$ 。

[0122] 对于平面数学模型的建立,可以如图4-图5所示。如图4所示,过M点作 $QM \parallel OC$

交OA于Q点, $QM \parallel OC \Rightarrow QM = OC = d$, $\triangle AQM$ 中,由正弦定理 $MQ/\sin \angle MAQ = MA/\sin \angle MQA$,由角

度变换知 $\angle MAQ = (\pi - \theta)/2 - \alpha$, $\angle MQA = (\pi + \theta)/2$, $MA = \frac{d \cos \frac{\theta}{2}/2}{\cos(\frac{\theta}{2} + \alpha)}$, $\triangle AOB$

中,由正弦定理 $OT/\sin \angle OAB = AT/\sin \angle AOT$, $OT/\sin \angle OBA = BT/\sin \angle BOT$,由

角度变换知 $\angle AOT = \angle BOT = \theta/2$, $\angle OAB = (\pi - \theta)/2 - \alpha$, $\angle OBA = (\pi - \theta)/2 + \alpha$,

$$AB = AT + BT = \frac{D \sin \theta \cos \alpha}{\cos(\frac{\theta}{2} + \alpha) \cos(\frac{\theta}{2} - \alpha)} = w,$$

$$\eta = MB/AB = (AB - MA)/AB = 1 - MA/AB = 1 - \frac{d \cos \frac{\theta}{2} \cos(\frac{\theta}{2} - \alpha)}{D \sin \theta \cos \alpha}.$$

[0123] 如图5所示,过U点作UV // OC交OT于V点,

UV // OC \Rightarrow VU = OC = d, VT = OT - OV = DDD', $\triangle UVT$ 中,

tana

$$= VT/VU, VT = dtana \Rightarrow D' = D - dtana, \quad \triangle OAB \sim \triangle CMN, \\ OT/OU = AB/MN = DD/DD'$$

$$MN = w(1 - \frac{dtana}{D}) = w'.$$

[0124] 为了建立对应的海底地形数据的多波束测深的覆盖宽度及相邻条带之间重叠率的数学模型,本实施例需要首先理解题目给出的图3和相关的概念,特别是重叠率。然后,本实施例需要根据图5中的几何关系,推导出覆盖宽度和重叠率与其他变量(如海水深度、坡度、开角等)之间的数学表达式。接着,本实施例需要根据题目给出的条件(如开角为120°,坡度为1.5°,海域中心点处的海水深度为70m等),代入上述表达式,计算出不同位置的覆盖宽度和重叠率。

[0125] 在一些实施例中,可以基于海域中心点处的海水深度、测线距中心处距离和斜面坡度确定海水深度;基于海域中心点处覆盖宽度、海域中心点处的海水深度、测线距中心处距离和斜面坡度确定覆盖宽度;基于多波束换能器的开角、测线间距、海域中心点处的海水深度、测线距中心处距离和斜面坡度确定当前测线与前一条测线的间距;基于多波束换能器的开角、海域中心点处的海水深度和斜面坡度确定海域中心点处覆盖宽度。

[0126] 其中,通过以下算式基于海域中心点处的海水深度、测线距中心处距离和斜面坡度确定海水深度: $D(x) = D - xtana$;其中, $D(x)$ 为海水深度, D 为海域中心点处的海水深度, x 为测线距中心处距离, α 为斜面坡度;通过以下算式基于海域中心点处覆盖宽度、海域中心点处的海水深度、测线距中心处距离和斜面坡度确定覆盖宽度:

$W(x) = W(1 - \frac{xtana}{D})$;其中, $W(x)$ 为覆盖宽度, W 为海域中心点处覆盖宽度;通过以下算式

基于多波束换能器的开角、测线间距、海域中心点处的海水深度、测线距中心处距离和斜

面坡度确定当前测线与前一条测线的间距: $\eta(x) = 1 - \frac{d \cos \frac{\theta}{2} \cos(\frac{\theta}{2} - \alpha)}{D - (x - d)tana}$;其中, $\eta(x)$ 为当

前测线与前一条测线的间距, d 为测线间距, θ 为多波束换能器的开角;通过以下算式基于多波束换能器的开角、海域中心点处的海水深度和斜面坡度确定海域中心点处覆盖宽度:

$$W = \frac{D \sin \theta \cos \alpha}{\cos(\frac{\theta}{2} + \alpha) \cos(\frac{\theta}{2} - \alpha)}.$$

[0127] 由上述分析,本实施例可以推广至一般情况:

[0128] 若海水深度为 $D(x)$,覆盖宽度为 $W(x)$,与前一条测线的间距为 $\eta(x)$,测线间距为 d ,多波束换能器的开角为 θ ,斜面坡度为 α ,海域中心点处海水深度为 D ,海域中心点处

覆盖宽度为 W ,测线距中心处距离为 x ,则:

$$[0129] \quad D(x) = D - x \tan \alpha \quad (1)$$

$$[0130] \quad W(x) = W \left(1 - \frac{x \tan \alpha}{D} \right) \quad (2)$$

$$[0131] \quad \eta(x) = 1 - \frac{d \cos \frac{\theta}{2} \cos(\frac{\theta}{2} - \alpha)}{D - (x - d) \tan \alpha} \quad (3)$$

$$[0132] \quad W = \frac{D \sin \theta \cos \alpha}{\cos(\frac{\theta}{2} + \alpha) \cos(\frac{\theta}{2} - \alpha)} \quad (4)$$

[0133] 对于第一数学模型的计算结果,可以如表1所示:

	测线距中心点 处的距离/m	-800	-600	-400	-200	0	200	400	600	800
[0134]	海水深度/m	90.9487	85.7116	80.4744	75.2372	70	64.7628	59.5256	54.2884	49.0513
	覆盖宽度/m	5	7	9	1	3	5	7	9	1
	与前一条测线 的重叠率/%	-	33.64	29.5852	25.0027	19.7822	13.7805	6.80822	-1.391	-11.172

[0135] 表1

[0136] 步骤S206,基于测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角、多波束换能器的开角、斜面坡度和海域中心点处的海水深度建立多波束测深的覆盖宽度的第二数学模型。

[0137] 可以参见图6所示的另一种海底坡面的示意图。如图6所示, MM' 垂直于水平面, MT 为坡面法向, $M'P$ 平行于测线方向, $MP \perp MR$, Q 在海底坡面与水平面的交线上。 $\angle MTQ = \angle MQM' = \alpha$; $TM \perp MQ$, MR, MP ; $MM' \perp M'Q, M'R, M'P$ 。 α 较小 $\Rightarrow MM'$ 较小 \Rightarrow 实际情况中可认为 $\angle PM'R \approx \angle PMR = \pi/2$ 。记 $\angle MRM' = \gamma$, $\angle MPM' = \delta$, $MM' = l$,在三棱锥 $M-M'QR$ 中,由三角函数知识:

$MM'/M'Q = \tan \alpha$, $MM'/M'R = \tan \gamma$, $MM'/MQ = \sin \alpha$, $MM'/MR = \sin \gamma$ 。在三棱锥 $T-MQR$ 中,由三角函数知识: $MQ/MT = \tan \alpha$, $MQ/TQ = \sin \alpha$ 。

[0138] 联立以上各式,可得:

$$MT = l / (\tan \alpha \sin \alpha), \quad TQ = l / \sin 2\alpha, \quad MR = l / \sin \gamma, \quad M'Q = l / \tan \alpha, \quad M'R = l / \tan \gamma$$

$\triangle TQR$ 中,由勾股定理: $TQ^2 = TM^2 + MQ^2$, $TR^2 = TQ^2 + QR^2$ 。在 $\triangle M'QR$ 中, $\angle QM'R \approx |\angle QM'P - \pi/2| = |\beta - \pi/2|$,由余弦定理: $QR^2 = M'Q^2 + M'R^2 - 2M'Q \cdot M'R \cos \angle QM'R$,解得: $\gamma = \tan^{-1}(\tan \alpha \sin \beta)$ 。同理,在三棱锥 $M-M'QP$ 与三棱锥 $T-MQP$ 中,能够解得 $\delta = \tan^{-1}(|\tan \alpha \cos \beta|)$ 。

[0139] 本问题要求本实施例建立一个能够描述多波束测深覆盖宽度的数学模型,以便在不同的海域条件下进行测量。图6中显示了一个矩形待测海域,其中测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角为 β 。本实施例可以根据图6中的几何关系,推导出覆盖宽度与其他变量(如海水深度、坡度、开角、测线方向与海底坡面法向夹角等)之间的数学表达式。

最后,本实施例可以将计算结果以表格的形式呈现。

[0140] 在一些实施例中,可以基于斜面坡度和测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角确定覆盖宽度与覆盖宽度在水平面上投影的夹角;基于斜面坡度和测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角确定测线方向与测线方向在水平面上投影的夹角;基于海域中心点处的海水深度、测线距海域中心点处的距离、测线方向与测线方向在水平面上投影的夹角和测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角确定经过海域中心点的测线方向上海水深度;基于经过海域中心点的测线方向上海水深度、多波束换能器的开角和覆盖宽度与覆盖宽度在水平面上投影的夹角确定覆盖宽度。

[0141] 其中,通过以下算式基于斜面坡度和测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角确定覆盖宽度与覆盖宽度在水平面上投影的夹角: $\gamma = \tan^{-1}(\tan\alpha\sin\beta)$;其中, γ 为覆盖宽度与覆盖宽度在水平面上投影的夹角, α 为斜面坡度和测线方向, β 为测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角;通过以下算式基于斜面坡度和测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角确定测线方向与测线方向在水平面上投影的夹角: $\delta = \tan^{-1}(\tan\alpha\cos\beta)$;其中, δ 为测线方向与测线方向在水平面上投影的夹角;通过以下算式基于海域中心点处的海水深度、测线距海域中心点处的距离、测线方向与测线方向在水平面上投影的夹角和测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角确定经过海域中心点的测线方向上海水深度: $\lambda(\epsilon) = \begin{cases} D + \epsilon\tan\delta, \beta \in [0, \frac{\pi}{2}] \text{ or } [\frac{3\pi}{2}, 2\pi] \\ D - \epsilon\tan\delta, \text{ otherwise} \end{cases}$;其中, $\lambda(\epsilon)$ 为

经过海域中心点的测线方向上海水深度;通过以下算式基于经过海域中心点的测线方向上海水深度、多波束换能器的开角和覆盖宽度与覆盖宽度在水平面上投影的夹角确定覆盖宽度: $W(\epsilon) = \frac{\lambda(\epsilon)\sin\theta\cos\gamma}{\cos(\frac{\theta}{2} + \gamma)\cos(\frac{\theta}{2} - \gamma)}$;其中, $W(\epsilon)$ 为覆盖宽度, θ 为多波束换能器的开角。

[0142] 结合前文所得结论,本实施例可以得出:

[0143] 若覆盖宽度与其在水平面上投影的夹角为 γ ,测线方向与其在水平面上的夹角为 δ ,测线方向与坡面的法向在水平面上投影的夹角为 β ,经过海域中心点的测线方向上海水深度为 $\lambda(\epsilon)$,测线距海域中心点处的距离为 ϵ ,则:

$$[0144] \quad \gamma = \tan^{-1}(\tan\alpha\sin\beta) \quad (5)$$

$$[0145] \quad \delta = \tan^{-1}(\tan\alpha\cos\beta) \quad (6)$$

$$[0146] \quad \lambda(\epsilon) = \begin{cases} D + \epsilon\tan\delta, \beta \in [0, \frac{\pi}{2}] \text{ or } [\frac{3\pi}{2}, 2\pi] \\ D - \epsilon\tan\delta, \text{ otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

$$[0147] \quad W(\epsilon) = \frac{\lambda(\epsilon)\sin\theta\cos\gamma}{\cos(\frac{\theta}{2} + \gamma)\cos(\frac{\theta}{2} - \gamma)} \quad (8)$$

[0148] 对于第二数学模型的计算结果,可以如表2所示:

覆盖宽度/m	测量船距海域中心点处的距离/海里								
	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	
[0149] 测线方向夹角/ $^{\circ}$	0	415.692	466.091	516.49	566.889	617.288	667.686	718.085	768.484
	45	416.192	451.872	487.552	523.232	558.912	594.592	630.273	665.953
	90	416.692	416.692	416.692	416.692	416.692	416.692	416.692	416.692
	135	416.192	380.511	344.931	309.151	273.471	273.791	202.11	166.43
	180	415.692	365.293	314.894	264.496	214.097	163.698	113.299	62.9002
	225	416.192	380.511	344.931	309.151	273.471	273.791	202.11	166.43
	270	416.692	416.692	416.692	416.692	416.692	416.692	416.692	416.692
	315	416.192	451.872	487.552	523.232	558.912	594.592	630.273	665.953

[0150] 表2

[0151] 步骤S208, 基于第一数学模型和第二数学模型确定多波束测量船的测量布线。

[0152] 多波束测深技术是一种利用声波在水中传播的原理测量海水深度的重要方法。在实际应用中, 合理的测线间隔和路径选取对于获取准确的水深信息至关重要。本文旨在建立多波束测深覆盖宽度与相邻条带重叠率之间的数学关系模型, 以优化测线轨迹设计。

[0153] 为了达到这一目标, 本实施例基于海底坡度、海水深度、声波传播速度等参数, 推导了多波束测深的覆盖宽度和相邻条带重叠率与这些参数之间的数学表达式。本实施例还考虑了坡度、海水深度的变化以及多波束测深系统的技术参数, 以更精确地优化完成测线设计。

[0154] 在建立模型的过程中, 本实施例采用了一系列合理的假设和条件约束, 以简化问题并提高模型的可行性。这些假设包括忽略外界无关变量对测定结果的影响、将声源强度视为恒定值、近似认为声波传播速度恒定等。这些假设在实验设计中起到了简化模型和减少误差的作用。为了改进模型, 本文建议在未来引入启发式和元启发式算法和整数线性规划求解器, 并进行模型验证和优化。本实施例相信这些改进可以提高模型的准确性、解释性与普适性。

[0155] 最终, 本实施例的模型为多波束测深技术的优化提供了重要的数学基础。通过这个模型, 本实施例可以更好地理解多波束测深数据在不同海域条件下的应用, 并为测线轨迹的最优化设计提供有力的指导。此外, 本实施例的研究方法也可以应用于其他海洋测量和环境监测领域, 以优化数据采集、支持海洋保护和可持续资源管理。

[0156] 实施例三:

[0157] 对应于上述方法实施例, 本发明实施例提供了一种数学模型的处理装置, 参见图7所示的一种数学模型的处理装置的结构示意图, 该数学模型的处理装置包括:

[0158] 第一数学模型建立模块71, 用于基于多波束换能器的开角、斜面坡度和海域中心点处的海水深度建立对应的海底地形数据的多波束测深的覆盖宽度及相邻条带之间重叠率的第一数学模型;

[0159] 第二数学模型建立模块72, 用于基于测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角、多波束换能器的开角、斜面坡度和海域中心点处的海水深度建立多波束测深的覆盖宽度的第二数学模型;

[0160] 测量布线确定模块73, 用于基于第一数学模型和第二数学模型确定多波束测量船

的测量布线。

[0161] 本发明实施例提供了一种数学模型的处理装置,基于多波束换能器的开角、斜面坡度和海域中心点处的海水深度建立对应的海底地形数据的多波束测深的覆盖宽度及相邻条带之间重叠率的第一数学模型;基于测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角、多波束换能器的开角、斜面坡度和海域中心点处的海水深度建立多波束测深的覆盖宽度的第二数学模型;基于第一数学模型和第二数学模型确定多波束测量船的测量布线。该方式中,基于海底斜面坡度、海水深度、声波传播速度等参数,推导了多波束测深的覆盖宽度和相邻条带重叠率与这些参数之间的数学表达式。本实施例还考虑了斜面坡度、海水深度的变化以及多波束测深系统的技术参数,以更精确地优化完成测线设计。

[0162] 上述第一数学模型建立模块,用于基于海域中心点处的海水深度、测线距中心处距离和斜面坡度确定海水深度;基于海域中心点处覆盖宽度、海域中心点处的海水深度、测线距中心处距离和斜面坡度确定覆盖宽度;基于多波束换能器的开角、测线间距、海域中心点处的海水深度、测线距中心处距离和斜面坡度确定当前测线与前一条测线的间距;基于多波束换能器的开角、海域中心点处的海水深度和斜面坡度确定海域中心点处覆盖宽度。

[0163] 上述第一数学模型建立模块,用于通过以下算式基于海域中心点处的海水深度、测线距中心处距离和斜面坡度确定海水深度: $D(x) = D - x \tan \alpha$;其中, $D(x)$ 为海水深度, D 为海域中心点处的海水深度, x 为测线距中心处距离, α 为斜面坡度;通过以下算式基于海域中心点处覆盖宽度、海域中心点处的海水深度、测线距中心处距离和斜面坡度确定覆盖宽度: $W(x) = W(1 - \frac{x \tan \alpha}{D})$;其中, $W(x)$ 为覆盖宽度, W 为海域中心点处覆盖宽度;通过以下算式基于多波束换能器的开角、测线间距、海域中心点处的海水深度、测线距中心处距离和斜面坡度确定当前测线与前一条测线的间距: $\eta(x) = 1 - \frac{d \cos \frac{\theta}{2} \cos(\frac{\theta}{2} - \alpha)}{D - (x - d) \tan \alpha}$;

其中, $\eta(x)$ 为当前测线与前一条测线的间距, d 为测线间距, θ 为多波束换能器的开角;通过以下算式基于多波束换能器的开角、海域中心点处的海水深度和斜面坡度确定海域中心点处覆盖宽度: $W = \frac{D \sin \theta \cos \alpha}{\cos(\frac{\theta}{2} + \alpha) \cos(\frac{\theta}{2} - \alpha)}$ 。

[0164] 上述第二数学模型建立模块,用于基于斜面坡度和测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角确定覆盖宽度与覆盖宽度在水平面上投影的夹角;基于斜面坡度和测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角确定测线方向与测线方向在水平面上投影的夹角;基于海域中心点处的海水深度、测线距海域中心点处的距离、测线方向与测线方向在水平面上投影的夹角和测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角确定经过海域中心点的测线方向上海水深度;基于经过海域中心点的测线方向上海水深度、多波束换能器的开角和覆盖宽度与覆盖宽度在水平面上投影的夹角确定覆盖宽度。

[0165] 上述第二数学模型建立模块,用于通过以下算式基于斜面坡度和测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角确定覆盖宽度与覆盖宽度在水平面上投影的夹角: $\gamma = \tan^{-1}(\tan \alpha \sin \beta)$;其中, γ 为覆盖宽度与覆盖宽度在水平面上投影的夹角, α 为斜面坡度和测线方向, β 为测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角;通过以下算式基

于斜面坡度和测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角确定测线方向与测线方向在水平面上投影的夹角： $\delta = \tan^{-1}(\tan\alpha\cos\beta)$ ；其中， δ 为测线方向与测线方向在水平面上投影的夹角；通过以下算式基于海域中心点处的海水深度、测线距海域中心点处的距离、测线方向与测线方向在水平面上投影的夹角和测线方向与海底坡面的法向在水平面上投影的夹角确定经过海域中心点的测线方向上海水深度：

$$\lambda(\epsilon) = \begin{cases} D + \epsilon \tan\delta, \beta \in [0, \frac{\pi}{2}] \text{ or } [\frac{3\pi}{2}, 2\pi] \\ D - \epsilon \tan\delta, \text{ otherwise} \end{cases}; \text{其中, } \lambda(\epsilon) \text{ 为经过海域中心点的测线方向上海水}$$

深度；通过以下算式基于经过海域中心点的测线方向上海水深度、多波束换能器的开角和覆盖宽度与覆盖宽度在水平面上投影的夹角确定覆盖宽度： $W(\epsilon) =$

$$\frac{\lambda(\epsilon)\sin\theta\cos\gamma}{\cos(\frac{\theta}{2} + \gamma)\cos(\frac{\theta}{2} - \gamma)}; \text{其中, } W(\epsilon) \text{ 为覆盖宽度, } \theta \text{ 为多波束换能器的开角。}$$

[0166] 上述装置还包括：假设和条件约束模块，用于在预设的假设和条件约束下建立第一数学模型和第二数学模型。

[0167] 上述假设和条件约束至少包括以下之一：测量海域内的洋流和水体成分均不对测量结果产生影响；测量船换能器的调节与校准、接收换能器的分辨率、仪器精度误差不对测量结果产生影响；声源的强度不对测量结果产生影响；声波的传播速度是恒定的；测线方向与覆盖宽度在水平面上投影的夹角以及测线方向与坡面的夹角的差异不对测量结果产生影响；对覆盖宽度的总长度进行近似计算；环境因素不对测量结果产生影响。

[0168] 所属领域的技术人员可以清楚地了解到，为描述的方便和简洁，上述描述的数学模型的处理系统的具体工作过程，可以参考前述的数学模型的处理方法的实施例中的对应过程，在此不再赘述。

[0169] 实施例四：

[0170] 本发明实施例还提供了一种电子设备，用于运行上述数学模型的处理方法；参见图8所示的一种电子设备的结构示意图，该电子设备包括存储器100和处理器101，其中，存储器100用于存储一条或多条计算机指令，一条或多条计算机指令被处理器101执行，以实现上述数学模型的处理方法。

[0171] 进一步地，图8所示的电子设备还包括总线102和通信接口103，处理器101、通信接口103和存储器100通过总线102连接。

[0172] 其中，存储器100可能包含高速随机存取存储器（RAM, Random Access Memory），也可能还包括非不稳定的存储器（non-volatile memory），例如至少一个磁盘存储器。通过至少一个通信接口103（可以是有线或者无线）实现该系统网元与至少一个其他网元之间的通信连接，可以使用互联网，广域网，本地网，城域网等。总线102可以是ISA总线、PCI总线或EISA总线等。总线可以分为地址总线、数据总线、控制总线等。为便于表示，图8中仅用一个双向箭头表示，但并不表示仅有一根总线或一种类型的总线。

[0173] 处理器101可能是一种集成电路芯片，具有信号的处理能力。在实现过程中，上述方法的各步骤可以通过处理器101中的硬件的集成逻辑电路或者软件形式的指令完成。上述的处理器101可以是通用处理器，包括中央处理器（Central Processing Unit，简称CPU）、网络处理器（Network Processor，简称NP）等；还可以是数字信号处理器（Digital

Signal Processor,简称DSP)、专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit,简称ASIC)、现场可编程门阵列(Field-Programmable Gate Array,简称FPGA)或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件。可以实现或者执行本发明实施例中的公开的各方法、步骤及逻辑框图。通用处理器可以是微处理器或者该处理器也可以是任何常规的处理器等。结合本发明实施例所公开的方法的步骤可以直接体现为硬件译码处理器执行完成,或者用译码处理器中的硬件及软件模块组合执行完成。软件模块可以位于随机存储器,闪存、只读存储器,可编程只读存储器或者电可擦写可编程存储器、寄存器等本领域成熟的存储介质中。该存储介质位于存储器100,处理器101读取存储器100中的信息,结合其硬件完成前述实施例的方法的步骤。

[0174] 本发明实施例还提供了一种计算机可读存储介质,该计算机可读存储介质存储有计算机可执行指令,该计算机可执行指令在被处理器调用和执行时,计算机可执行指令促使处理器实现上述数学模型的处理方法,具体实现可参见方法实施例,在此不再赘述。

[0175] 本发明实施例所提供的数学模型的处理方法、装置、电子设备和存储介质的计算机程序产品,包括存储了程序代码的计算机可读存储介质,程序代码包括的指令可用于执行前面方法实施例中的方法,具体实现可参见方法实施例,在此不再赘述。

[0176] 所属领域的技术人员可以清楚地了解到,为描述的方便和简洁,上述描述的系统 and/或装置的具体工作过程,可以参考前述方法实施例中的对应过程,在此不再赘述。

[0177] 另外,在本发明实施例的描述中,除非另有明确的规定和限定,术语“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解,例如,可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,或一体地连接;可以是机械连接,也可以是电连接;可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连,可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言,可以根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0178] 功能如果以软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用,可以存储在一个计算机可读存储介质中。基于这样的理解,本发明的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分或者该技术方案的部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品存储在一个存储介质中,包括若干指令用以使得一台计算机设备(可以是个人计算机,服务器,或者网络设备)执行本发明各个实施例方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括:U盘、移动硬盘、只读存储器(ROM,Read-Only Memory)、随机存取存储器(RAM,Random Access Memory)、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

[0179] 在本发明的描述中,需要说明的是,术语“中心”、“上”、“下”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制。此外,术语“第一”、“第二”、“第三”仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性。

[0180] 最后应说明的是:以上所述实施例,仅为本发明的具体实施方式,用以说明本发明的技术方案,而非对其限制,本发明的保护范围并不局限于此,尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,其依然可以对前述实施例所记载的技术方案进行修改或可轻易想到变化,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改、变化或者替换,并不使

相应技术方案本质脱离本发明实施例技术方案的精神和范围,都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应所述以权利要求的保护范围为准。

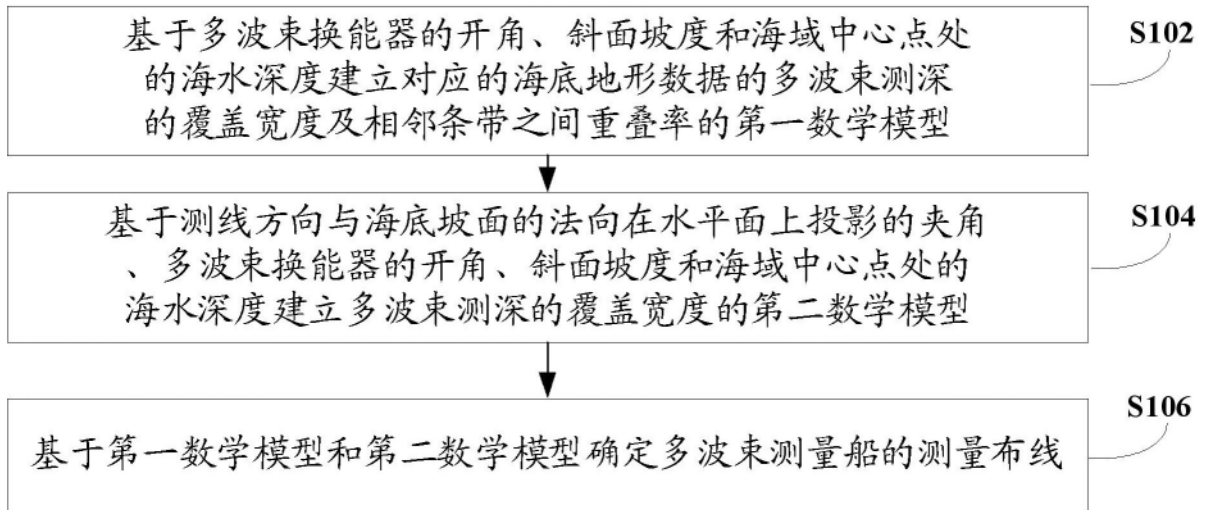


图1

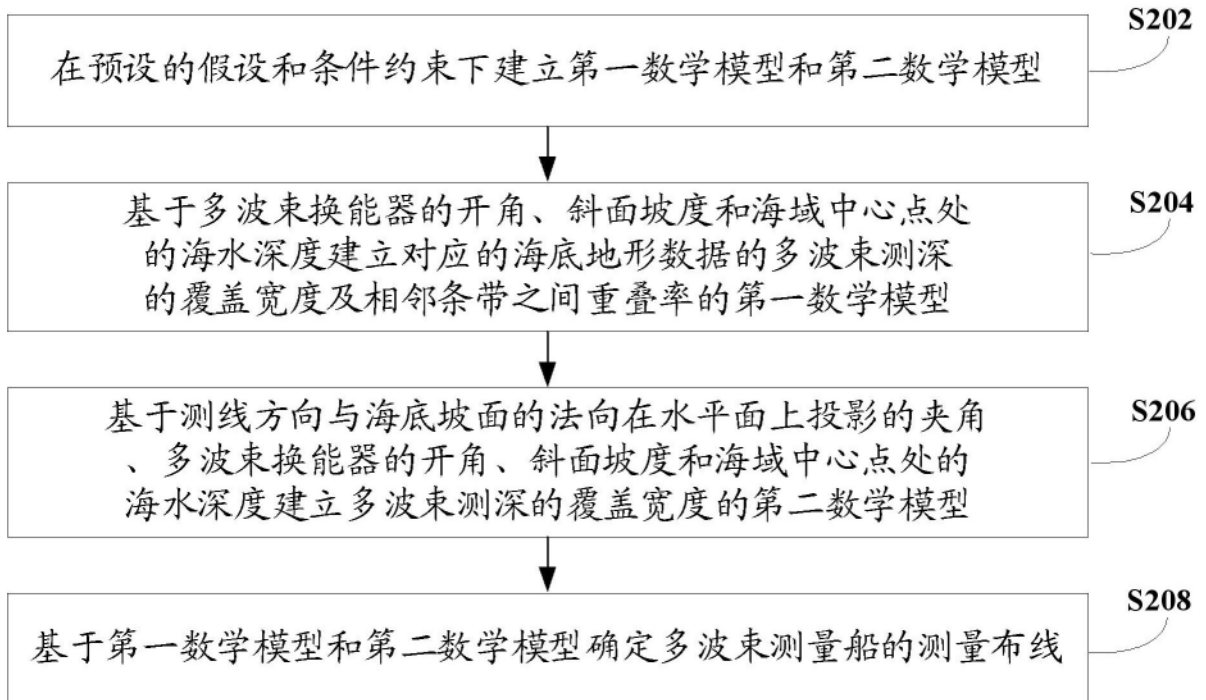


图2

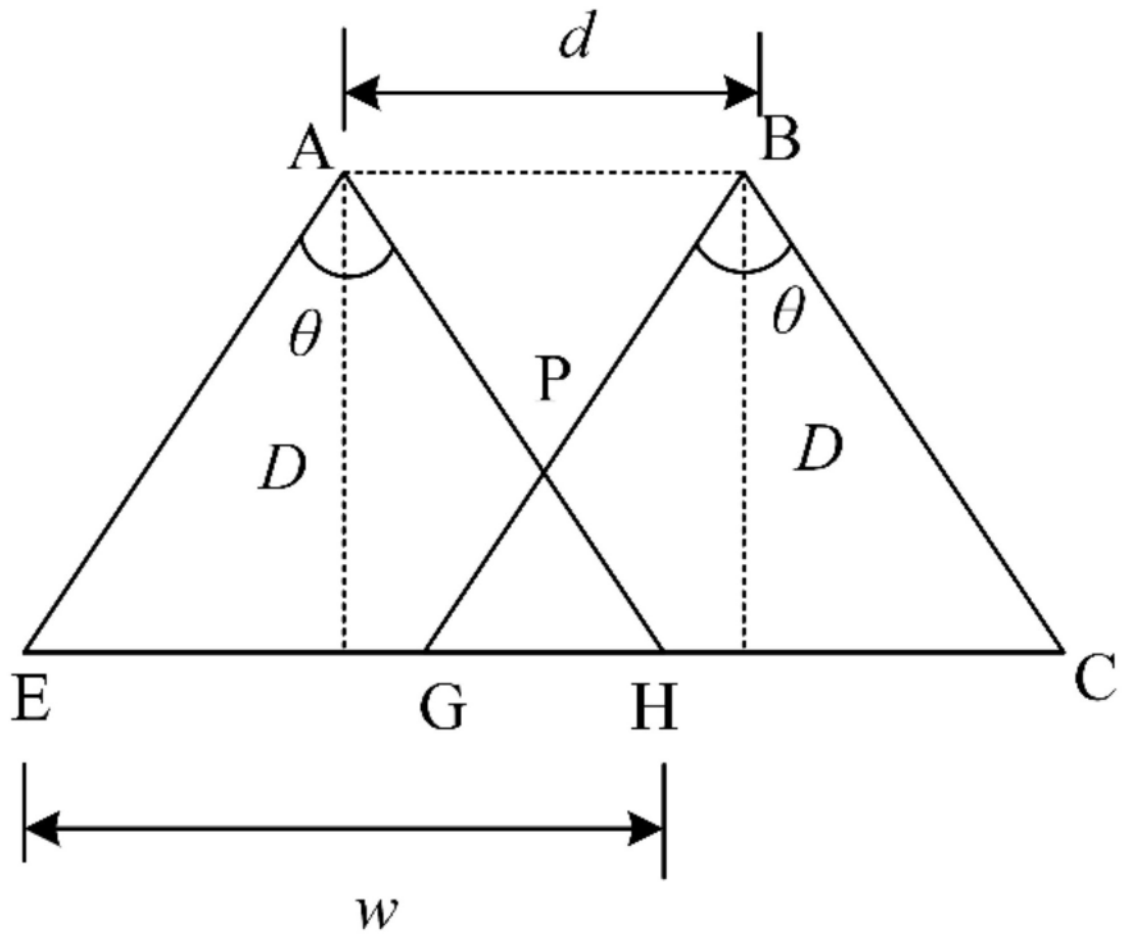


图3

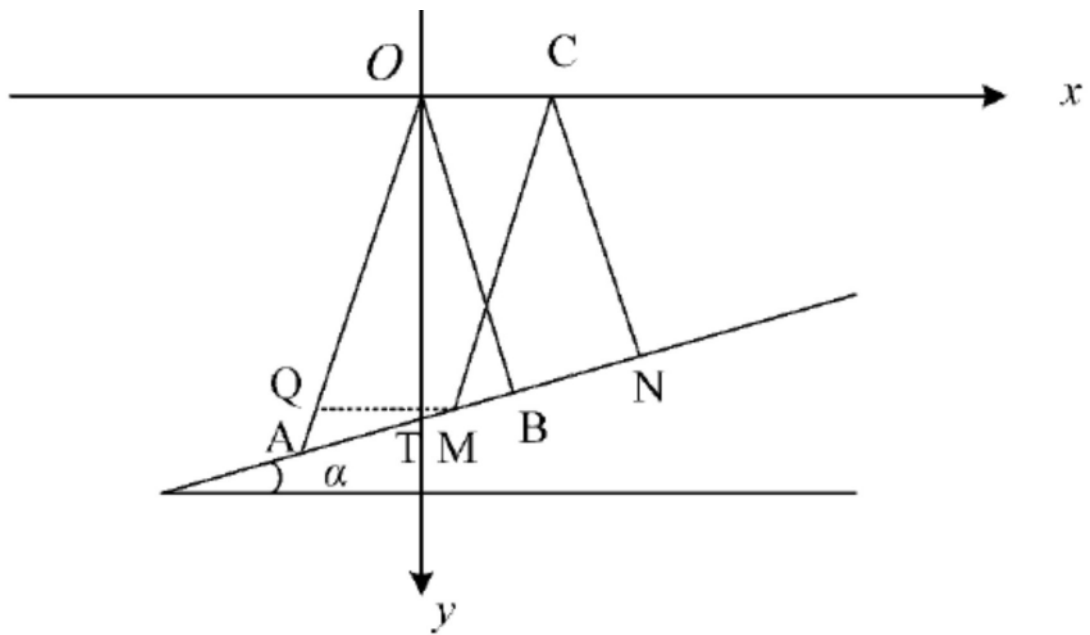


图4

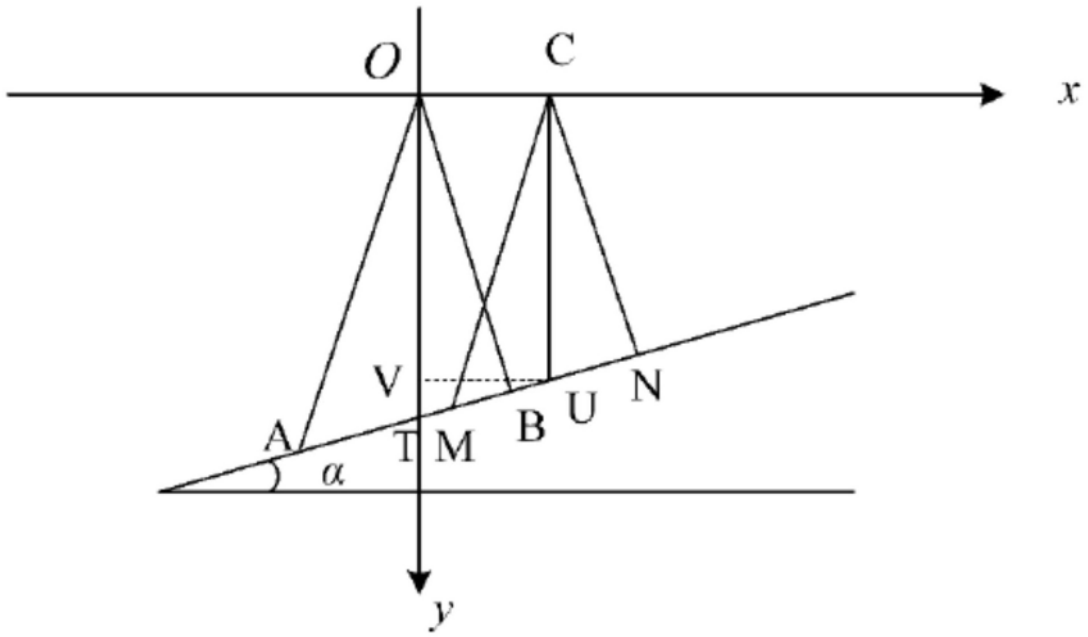


图5

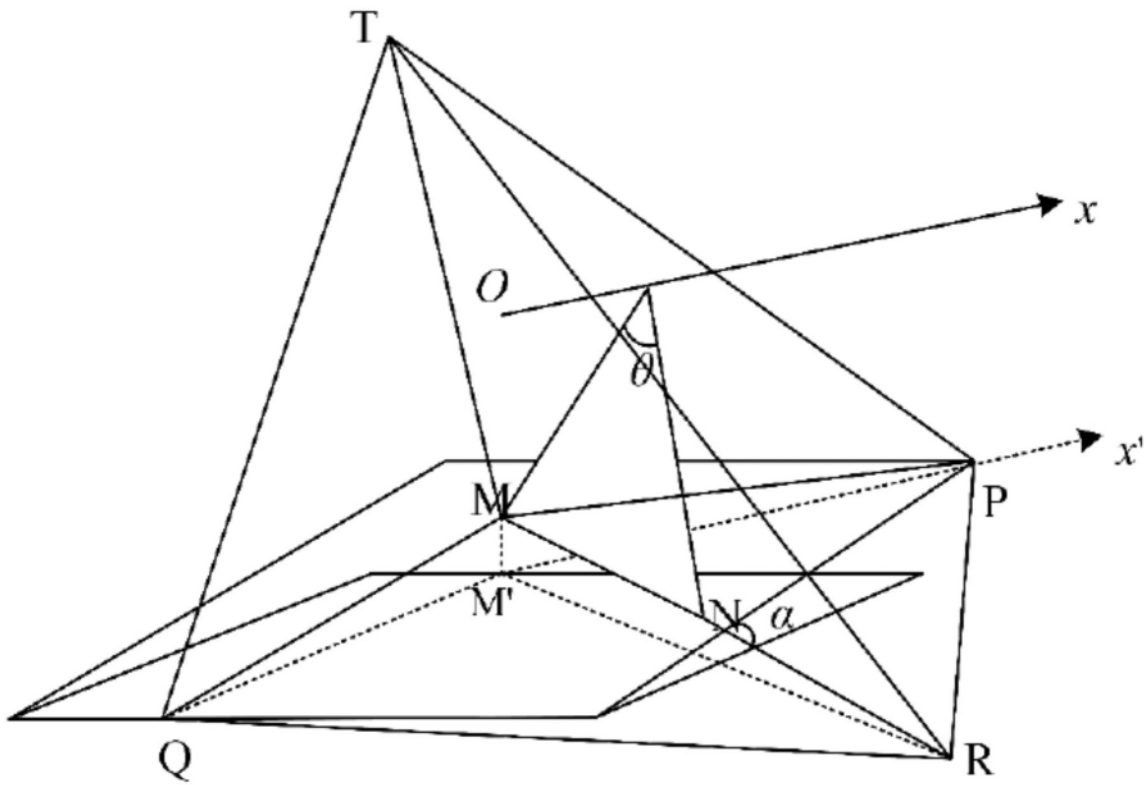


图6

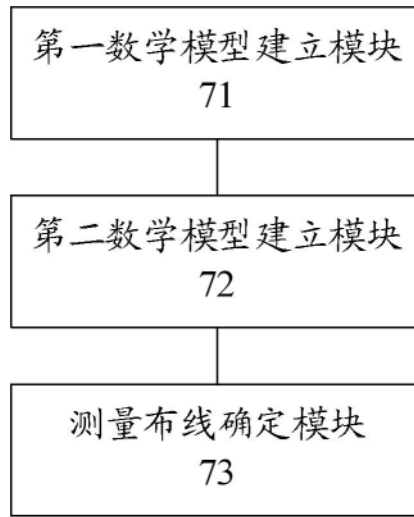


图7

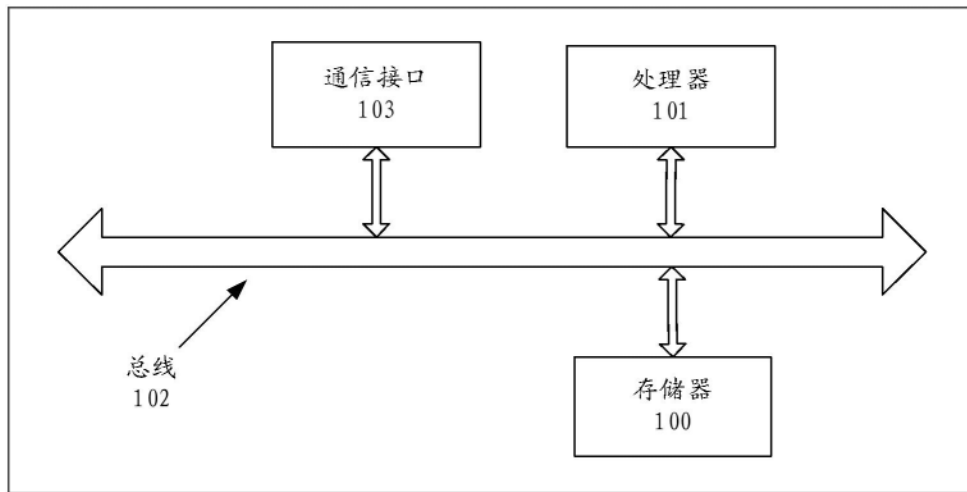


图8