

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G01S 15/89 (2006.01)
G01S 7/539 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200910048333.0

[43] 公开日 2009年9月9日

[11] 公开号 CN 101526616A

[22] 申请日 2009.3.26

[21] 申请号 200910048333.0

[71] 申请人 上海大学

地址 200444 上海市宝山区上大路99号

[72] 发明人 李先华 黄 微

[74] 专利代理机构 上海上大专利事务所（普通合伙）

代理人 何文欣

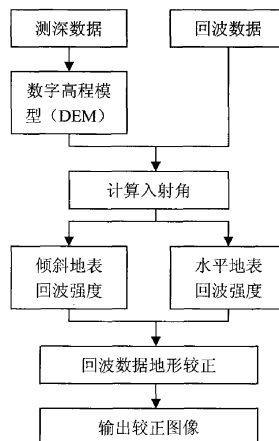
权利要求书3页 说明书7页 附图2页

[54] 发明名称

多波束声纳回波图像地形校正方法

[57] 摘要

本发明涉及一种多波束声纳回波图像地形校正方法。它在通过多波束获得回波图像时，同时测取水下测深数据，根据水下测深数据构建水下数字高程模型(DEM)，然后计算回波图像中每个像元对应的波束入射角，建立回波图像与波束入射角之间定量关系的数据模型，对回波图像进行地形校正，消除地形对其影响。本发明在水下地质勘探、提高水下目标检测和地质分类精度等方面具有重要意义。



1、一种多波束声纳回波图像地形校正方法，其特征在于通过多波束同时获得回波图像和水下测深数据，根据水下测深数据构建水下数据高程模型，然后计算回波图像中每个像元对应的波束入射角，建立回波图像与波束入射角之间定量关系的数理模型，对回波图像进行地形校正，消除地形对其的影响；具体操作步骤如下：

- (1) 在通过多波束获得回波图像时，同时测取测深数据；
- (2) 根据水下测深数据建立数字高程模型 DEM；
- (3) 对回波图像和数字高程模型 DEM 进行匹配；
- (4) 逐点计算回波图像上各点的波束入射角；
- (5) 计算任意波束入射倾斜地表时获取的回波强度；
- (6) 模拟波束垂直入射对应水平地表时获取的回波强度；
- (7) 根据步骤 (5) 和 (6)，对回波图像进行地形校正；
- (8) 输出地形校正后的回波图像。

2、根据权利要求 1 所述的多波束声纳回波图像地形校正方法，其特征在于所述步骤 (4) 中逐点计算回波图像上各点的波束入射角的具体计算方法如下：

设回波图像中某一像元 $P_{i,j}$ ， i, j 为像元在图像中的行列号，波束入射角为：

$$\cos i = \cos \alpha \cos \theta + \sin \alpha \sin \theta \cos(\beta - \omega)$$

式中， α 为坡度角， β 为坡向角，它们可以利用多波束系统同步获取的水下测深数据计算得到；该像元 $P_{i,j}$ 对应的声纳波束入射高度角为 θ ；波束方位角为 ω ；对于垂直发射的中心波束，波束方位角为 0° ；其它倾斜发射的波束，其方位角分别船舷为 90° 或左船舷为 180° 。

所述声纳入射高度角 θ 由多波束系统的发射开角 φ 和水下的声速共同确定：

$$\cos \theta = c_0 \cos \varphi / c_n$$

式中， c_0 和 c_n 分别为波束发射时和到达河床时对应的声速。

3、根据权利要求 1 所述的多波束声纳图像地形校正方法，其特征在于所述步骤 (5) 中计算任意波束入射倾斜地表时获取的回波强度的方法如下：

任意声纳波束到达倾斜地表的入射强度 I_m 为：

$$I_m = I_0 dA \cos i / r^2$$

式中， I_0 为波束的发射声强， r 为射程； dA 表示波束照射的海底面积；

当声强入射到水下表面时，声强被粗糙的海底表面散射到各个方向，此时的后向散射声强 I_{out} 为

$$I_{out} = u \sin \lambda \cos i I_0 dA / r^2$$

其中， I_{out} 为后向散射强度， u 为比例常数， λ 是后向散射方向的方位角；假设声纳系统收发同置，则 $\lambda = i$ ，散射声强按原方向返回后，声纳获取的回波强度 $I_{received-T}$ 为：

$$I_{received-T} = u I_0 dA \cos^2 i / r^4$$

4、根据权利要求 1 所述的多波束声纳回波图像地形校正方法，其特征在于所述步骤(6)中模拟波束垂直入射对应水平地表时获取的回波强度的方法如下：

当波束垂直入射水平地表时，其波束发射开角、入射角和后向散射方位角均为 90° ；坡度角为 0° ，发射波束方位角与坡度方位角之差为 0° 。此时，波束接收的回波强度为

$I_{received-H}$ ：

$$I_{received-H} = u I_0 A_0 / H^4$$

式中， A_0 为波束垂直入射时波束照射的海底面积，它与任意波束照射的海底面积存在以下关系：

$$dA = A_0 / \cos \alpha$$

由于波束垂直入射，射程由 r 变为换能器到海底地形的垂直深度 H ， H 与射程之间的关系为：

$$H = R \cos \theta$$

声波在水下传播中速度发生改变，实际射程与海底地形深度的关系为：

$$H = \Delta r \sum_{n=1}^m \arccos\left(\frac{c_n}{c_{n-1}}\right)$$

其中， Δr 是单位射程； n 为声速剖面的层数； c_n 和 c_{n-1} 分别为相邻剖面层对应的声速。则波束垂直入射对应水平地表时获取的回波强度为：

$$I_{received-H} = \frac{uI_0 dA \cos \alpha}{\Delta r^4 \left[\sum_{n=1}^m \arccos(c_n / c_{n-1}) \right]^4}$$

5、根据权利要求 1 所述的多波束声纳回波图像地形校正方法，其特征在于所述步骤(7)中回波图像的地形校正方法如下：

$$\text{由 } I_{out} = u \sin \lambda \cos i I_0 dA / r^2 \text{ 和 } I_{received-H} = \frac{uI_0 dA \cos \alpha}{\Delta r^4 \left[\sum_{n=1}^m \arccos(c_n / c_{n-1}) \right]^4} \text{ 联立，将任意波束}$$

入射到倾斜地表的回波强度，校正到垂直波束入射到水平地表的回波强度，即：

$$I_{received-H} = \frac{n^4 I_{received-T} \cos \alpha}{\cos^2 i \left[\sum_{n=1}^m \arccos(c_n / c_{n-1}) \right]^4}$$

由于声纳系统总是以 $10 \lg$ 的形式表达声强，根据声强的定义，上式可等价于：

$$BS_H = BS_T + 40 \lg n + 10 \lg \alpha - 20 \cos i - 40 \lg \left[\sum_{n=1}^m \arccos(c_n / c_{n-1}) \right]$$

上式中， BS_H 、 BS_T 分别为倾斜地表和水平地表下回波强度的对数表达形式。该式即为多波束声纳系统接收的后向散射回波影像的地形校正模型。

多波束声纳回波图像地形校正方法

技术领域:

遥感技术与测绘学。

技术背景

多波束声纳系统不仅能获得水下测深数据，还能获得海底回波图像数据，后者是目前海底地质勘探的重要手段和途径。由于水下地形起伏、声纳波束倾斜发射开角等因素的共同影响，使得声纳回波强度发生改变，最终导致同质区域的回波图像表现出不同的回波强度，无法真实表达水下地物的声学反射特性。这将影响海底地质探测、海底地物分类等海底勘探的一系列技术问题。

本项发明基于多波束声纳获取的水下测深数据，计算声纳波束到达水底地形的入射角和声纳回波强度的关系，对多波束声纳回波图像进行地形校正，消除地形对回波图像的影响。本文的多波束声纳回波图像地形校正方法属于原创性研究，有关文献无相关报道。

发明内容

本项发明的目的在于针对已有技术存在的问题，提供一种回波图像地形校正方法，消除地形对回波图像的影响。

为达到上述发明目的，本发明的构思是：

本项发明基于多波束声纳获取的测深数据和回波图像，进行回波图像的地形校正方法。首先根据测深数据生成水下数字高程模型(DEM)，然后计算出回波图像中每个像元的波束入射角，然后根据入射角和回波图像像元回波强度的关系，进行回波图像的地形校正。

根据上述的发明构思，本发明采用下述技术方案：

一种波束声纳回波图像地形校正方法，其特征在于：多波束声纳可以同时获得水下测深数据和回波图像。在地形起伏区域，声纳图像像元的回波强度受到地形的影响，造成同质区域回波图像表现出不同的回波强度。该回波强度的变化反映了地形对声纳图像的影响，因此可以通过多波束声纳同时获得的水下测深数据，将其转换为水下数字高程模型，然后计算回波图像中每个像元对应的波束入射角，建立回波图像信息与波束入射角之间定量关系的数理模型，对回波图像进行地形校正，消除地形对其的影响。

其具体操作步骤如下：

- (1) 在通过对多波束获取回波图像时，同时测取水下测深数据；
- (2) 输入研究区域的数字水下测深数据，根据其建立数字高程模型 (DEM)；
- (3) 对回波图像和数字高程模型 (DEM) 进行配准；

- (4) 逐点计算回波图像上各点的波束入射角；
- (5) 计算任意波束入射倾斜地表时获取的回波强度；
- (6) 模拟波束垂直入射对应水平地表时获取的回波强度；
- (7) 根据(5)和(6)步骤，对回波图像进行地形校正；
- (8) 输出：地形校正后的回波图像；

以上所述步骤(4)中计算机逐点计算回波图像上各点的波束入射角计算方法如下：

设回波图像中某一像元 $P_{i,j}$ (i, j 为像元在图像中的行列号，以下同)，波束入射角为：

$$\cos i = \cos \alpha \cos \theta + \sin \alpha \sin \theta \cos(\beta - \omega) \quad (1)$$

(1)式中， α 为坡度角， β 为坡向角，它们可以利用多波束系统同步获取的水下测深数据计算得到。该像元对应的声纳波束入射高度角为 θ ；波束方位角为 ω 。对于垂直发射的中心波束，波束方位角为 0° ；其它倾斜发射的波束，其方位角分别为 90° （右船舷）或 180° （左船舷）。

(1)式中，声纳入射高度角 θ 由多波束系统的发射开角 φ 和水下的声速共同确定：

$$\cos \theta = c_0 \cos \varphi / c_n \quad (2)$$

公式中， c_0 和 c_n 分别为波束发射时和到达河床时对应的声速。

步骤(5)中计算任意波束入射倾斜地表时获取的回波强度的方法如下：

任意声纳波束到达倾斜地表的入射强度 I_m 为：

$$I_m = I_0 dA \cos i / r^2 \quad (3)$$

式中， I_0 为波束的发射声强， r 为射程； dA 表示波束照射的海底面积。

当声强入射到水下表面时，声强被粗糙的海底表面散射到各个方向。此时的后向散射声强 I_{out} 为

$$I_{out} = u \sin \lambda \cos i I_0 dA / r^2 \quad (4)$$

其中， I_{out} 为后向散射强度， u 为比例常数， λ 是后向散射方向的方位角。假设声纳系统收发同置，则 $\lambda = i$ 。散射声强按原方向返回后，声纳获取的回波强度 $I_{received-T}$ 为：

$$I_{received-T} = u I_0 dA \cos^2 i / r^4 \quad (5)$$

步骤(6)中模拟波束垂直入射对应水平地表时获取的回波强度的方法如下:

当波束垂直入射水平地表时,其波束发射开角、入射角和后向散射方位角均为 90° ;坡度角为 0° ;发射波束方位角与坡度方位角之差为 0° 。此时,波束接收的回波强度为 $I_{received-H}$:

$$I_{received-H} = uI_0 A_0 / H^4 \quad (6)$$

式中, A_0 为波束垂直入射时波束照射的海底面积,它与任意波束照射的海底面积存在以下关系:

$$dA = A_0 / \cos \alpha \quad (7)$$

由于波束垂直入射,射程由 r 变为换能器到海底地形的垂直深度 H 。 H 与射程之间的关系为:

$$H = R \cos \theta \quad (8)$$

声波在水下传播中速度发生改变,实际射程与海底地形深度的关系为:

$$H = \Delta r \sum_{n=1}^m \arccos\left(\frac{c_n}{c_{n-1}}\right) \quad (9)$$

其中, Δr 是单位射程; n 为声速剖面的层数; c_n 和 c_{n-1} 分别为相邻剖面层对应的声速。则波束垂直入射对应水平地表时获取的回波强度为:

$$I_{received-H} = \frac{uI_0 dA \cos \alpha}{\Delta r^4 \left[\sum_{n=1}^m \arccos(c_n / c_{n-1}) \right]^4} \quad (10)$$

步骤(7)中回波图像的地形校正方法如下:

由(5)式和(10)式联立,将任意波束入射到倾斜地表的回波强度,校正到垂直波束入射到水平地表的回波强度,即:

$$I_{received-H} = \frac{n^4 I_{received-T} \cos \alpha}{\cos^2 i \left[\sum_{n=1}^m \arccos(c_n / c_{n-1}) \right]^4} \quad (11)$$

由于声纳系统总是以 $10 \lg$ 的形式表达声强,根据声强的定义,(11)式可等价于:

$$BS_H = BS_T + 40 \lg n + 10 \lg \alpha - 20 \cos i - 40 \lg \left[\sum_{n=1}^m \arccos(c_n / c_{n-1}) \right] \quad (12)$$

上式中, BS_H 、 BS_T 分别为倾斜地表和水平地表下回波强度的对数表达形式。(12)式即为多波束声纳系统接收的后向散射回波影像的地形校正模型。

本项发明与现有技术相比所具有的的优点与积极效果

多波束系统的回波图像是目前水下/海底地质探测、目标检测和地质分类的重要数据和信息来源。然而由于多波束系统本身倾斜发射的特点和水下地形的共同影响，造成同类型地物在回波图像中呈现出不同的回波强度。这种回波强度的差异会影响水下/海底地质探测和分类的精度。通常的处理方式都是采用统计的方法分析回波强度和波束入射角的关系。本发明利用多波束声纳同步获取回波数字图像和测深数据，能够自动对研究区域的回波图像进行地形校正，消除地形对回波图像的影响，使影像中的回波强度能够真实的反映地物本身的特性。

本项发明在水下地质勘探、提高水下目标检测和地质分类精度等方面具有重要意义。

附图说明

图 1 为本发明多波束声纳回波图像地形校正的原理方法计算流程图。

图 2 为美国加利福尼亚海岸地区水下测深数字地图。

图 3 为美国加利福尼亚海岸地区同步获取的后向散射回波图像。

图 4 为美国加利福尼亚海岸地区地形校正后的后向散射回波图像。

具体实施方式

本发明的一个优选实施例结合附图详细说明如下：

本例为 R/V Melville 测量船装载的 Seabeam2000 多波束系统于 1992 年在加利福尼亚海岸采集的测深数据和回波图像说明多波束声纳回波图像的地形校正原理方法。

参见图 2，其出示了本实施所要研究区域，即美国加利福尼亚海岸地区的测深数字地形图()。

参见图 1，它是本发明多波束声纳回波图像的地形校正原理方法的计算机流程图。在计算机中，运行步骤如下：

- (1) 在通过多波束获得回波图像时，同时测取水下测深数据；
- (2) 输入研究区域的数字水下测深数据(图像)，根据其建立水下数字高程模型 (DEM)；
- (3) 对声纳回波图像和数字高程模型 (DEM) 进行配准；
- (4) 逐点计算回波图像上各点的波束入射角；
- (5) 计算任意波束入射倾斜地表时获取的回波强度；
- (6) 模拟波束垂直入射对应水平地表时获取的回波强度；
- (7) 根据(5)和(6)步骤，对回波图像进行地形校正。
- (8) 输出：校正后的回波图像。

以上所述步骤(4)中计算机逐点计算回波图像上各点的波束入射角计算方法如下:

设回波图像中某一像元 $P_{i,j}$ (i, j 为像元在图像中的行列号, 以下同), 波束入射角为:

$$\cos i = \cos \alpha \cos \theta + \sin \alpha \sin \theta \cos(\beta - \omega) \quad (1)$$

(1)式中, α 为坡度角, β 为坡向角, 它们可以利用多波束系统同步获取的水下测深数据计算得到。该像元对应的声纳波束入射高度角为 θ ; 波束方位角为 ω 。对于垂直发射的中心波束, 波束方位角为 0° ; 其它倾斜发射的波束, 其方位角分别为 90° (右船舷)或 180° (左船舷)。

(1)式中, 声纳入射高度角 θ 由多波束系统的发射开角 φ 和水下的声速共同确定:

$$\cos \theta = c_0 \cos \varphi / c_n \quad (2)$$

公式中, c_0 和 c_n 分别为波束发射时和到达河床时对应的声速。

步骤(5)中计算任意波束入射倾斜地表时获取的回波强度的方法如下:

任意声纳波束到达倾斜地表的入射强度 I_m 为:

$$I_m = I_0 dA \cos i / r^2 \quad (3)$$

式中, I_0 为波束的发射声强, r 为射程; dA 表示波束照射的海底面积。

当声强入射到水下表面时, 声强被粗糙的海底表面散射到各个方向。此时的后向散射声强 I_{out} 为

$$I_{out} = u \sin \lambda \cos i I_0 dA / r^2 \quad (4)$$

其中, I_{out} 为后向散射强度, u 为比例常数, λ 是后向散射方向的方位角。假设声纳系统收发同置, 则 $\lambda = i$ 。散射声强按原方向返回后, 声纳获取的回波强度 $I_{received-T}$ 为:

$$I_{received-T} = u I_0 dA \cos^2 i / r^4 \quad (5)$$

步骤(6)中模拟波束垂直入射对应水平地表时获取的回波强度的方法如下:

当波束垂直入射水平地表时, 其波束发射开角、入射角和后向散射方位角均为 90° ; 坡度角为 0° ; 发射波束方位角与坡度方位角之差为 0° 。此时, 波束接收的回波强度为 $I_{received-H}$:

$$I_{received-H} = u I_0 A_0 / H^4 \quad (6)$$

式中, A_0 为波束垂直入射时波束照射的海底面积, 它与任意波束照射的海底面积存在以下关系:

$$dA = A_0 / \cos \alpha \quad (7)$$

由于波束垂直入射, 射程由 r 变为换能器到海底地形的垂直深度 H 。 H 与射程之间的关系为:

$$H = R \cos \theta \quad (8)$$

声波在水下传播中速度发生改变, 实际射程与海底地形深度的关系为:

$$H = \Delta r \sum_{n=1}^m \arccos\left(\frac{c_n}{c_{n-1}}\right) \quad (9)$$

其中, Δr 是单位射程; n 为声速剖面的层数; c_n 和 c_{n-1} 分别为相邻剖面层对应的声速。则波束垂直入射对应水平地表时获取的回波强度为:

$$I_{received-H} = \frac{u I_0 dA \cos \alpha}{\Delta r^4 \left[\sum_{n=1}^m \arccos(c_n / c_{n-1}) \right]^4} \quad (10)$$

步骤(7)中回波图像的地形校正方法如下:

由(5)式和(10)式联立, 将任意波束入射到倾斜地表的回波强度, 校正到垂直波束入射到水平地表的回波强度, 即:

$$I_{reived-H} = \frac{n^4 I_{received-T} \cos \alpha}{\cos^2 i \left[\sum_{n=1}^m \arccos(c_n / c_{n-1}) \right]^4} \quad (11)$$

由于声纳系统总是以 $10 \lg$ 的形式表达声强, 根据声强的定义, (11)式可等价于:

$$BS_H = BS_T + 40 \lg n + 10 \lg \alpha - 20 \cos i - 40 \lg \left[\sum_{n=1}^m \arccos(c_n / c_{n-1}) \right] \quad (12)$$

上式中, BS_H 、 BS_T 分别为倾斜地表和水平地表下回波强度的对数表达形式。(12)式即为多波束声纳系统接收的后向散射回波影像的地形校正模型。

实例与讨论

声纳回波图像中某像元, 其坡度角为 17.69° , 波束入射角余弦值为 0.49。该像元背离波束发射方向, 其对应回波强度值 $BS_T = 3.56 \text{ dB}$ 。进行地形校正后, 其坡度角为 0 ; 波束入射角为 90 ; 此时, 对应回波强度值 $BS_H = 5.62 \text{ dB}$ 。对应地, 另一同类像元, 其坡度角为 4.69

°；波束入射角余弦值为 0.98。该像元朝向波束发射方向，对应回波强度值 $BS_T = 15\text{dB}$ ，经过地形校正后，对应的回波强度值 $BS_H = 5.49\text{ dB}$ 。

从上面可以看出，分别位于波束入射阴面和阳面的同类像元回波强度值经过地形校正后接近一致。这种同类地物回波强度的一致性为海底地质精确探勘提供了可靠的依据。

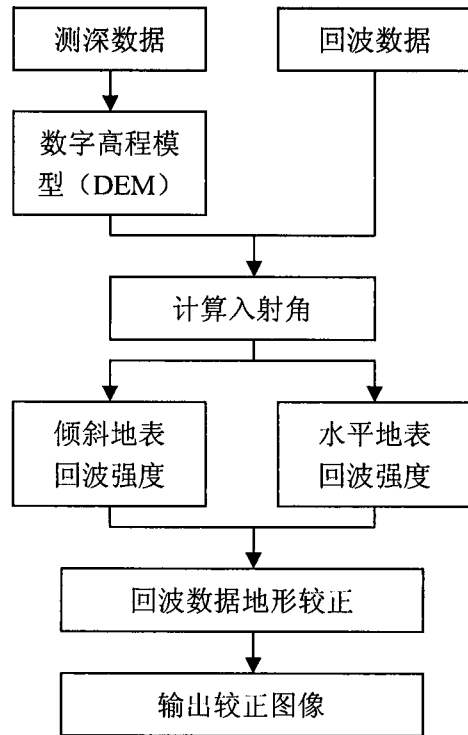


图 1

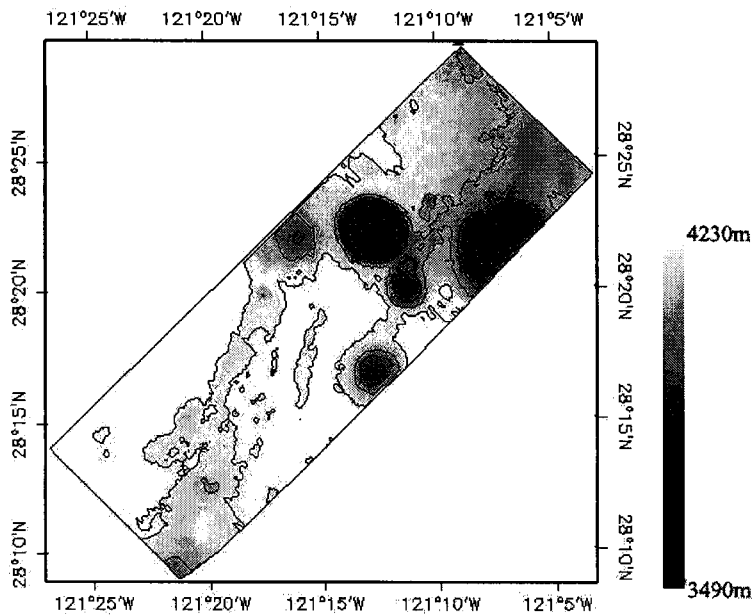


图 2

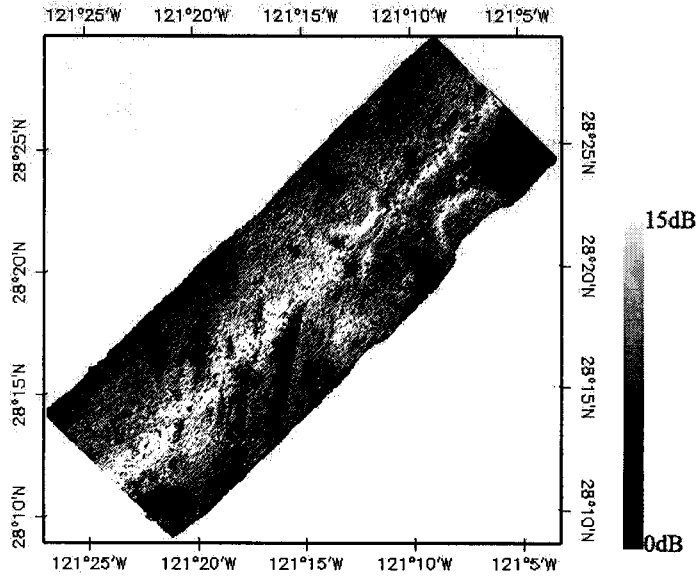


图 3

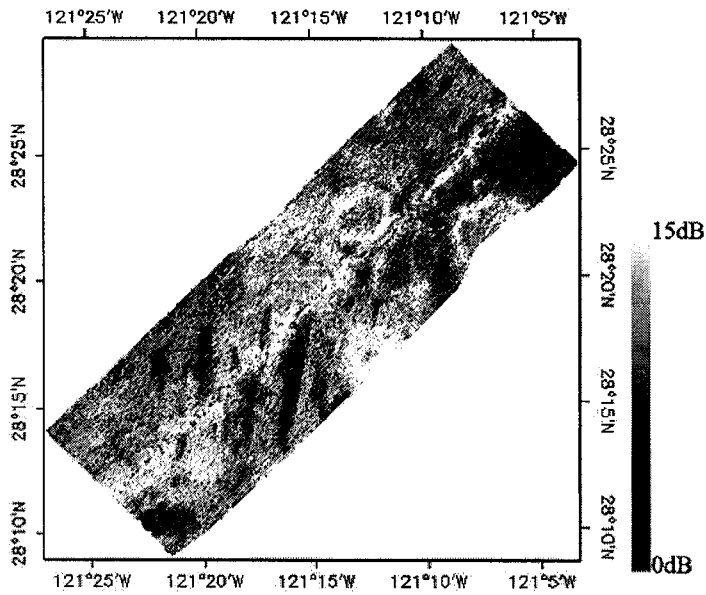


图 4