



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112630782 B

(45) 授权公告日 2022.04.12

(21) 申请号 202011341725.9

G01S 7/539 (2006.01)

(22) 申请日 2020.11.25

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112630782 A

CN 104535169 A, 2015.04.22

CN 104749568 A, 2015.07.01

CN 109765619 A, 2019.05.17

(43) 申请公布日 2021.04.09

CN 209181904 U, 2019.07.30

(73) 专利权人 海鹰企业集团有限责任公司
地址 214000 江苏省无锡市新吴区运河西路3000号

KR 20120003326 A, 2012.01.10

CN 101566691 A, 2009.10.28

(72) 发明人 杨鑫 郭超群 白云 陆路
王长宏 姚鸿博

刘炎堃 等. 基于路径选择的深海水下运动目标被动深度估计. 《应用声学》. 2020, 第39卷(第5期), 第647-655页.

审查员 胡锋

(74) 专利代理机构 无锡派尔特知识产权代理事务所(普通合伙) 32340
代理人 杨立秋

(51) Int. Cl.

G01S 15/66 (2006.01)

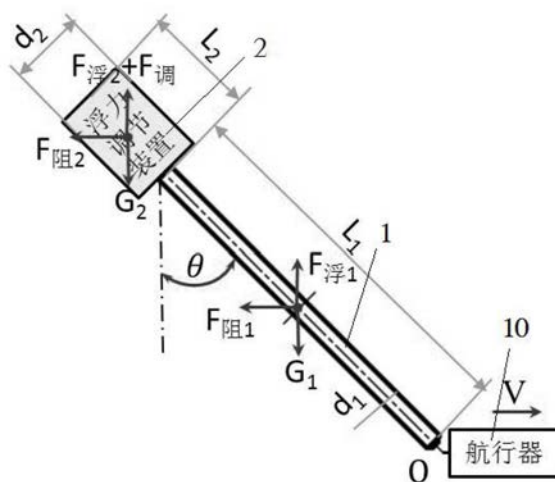
权利要求书2页 说明书7页 附图9页

(54) 发明名称

一种利用浮沉载荷装置实现深海扩展跟踪的方法

(57) 摘要

本发明涉及水声设备设计与制造技术领域, 具体涉及一种利用浮沉载荷装置实现深海扩展跟踪的方法, 包括以下步骤: S1、构建一个可移动的水下探测节点; S2、当目标被检测到之后, 水听器阵列将被调整为垂直阵列, 通过窄波束对准目标; S3、当目标移动出观测区域后, 水听器阵列将向水平方向调整, 以增加水平空间增益, 实现对目标的持续追踪; 述水听器阵列的深度和指向, 根据环境噪声和目标的距离, 将被连续调整, 以实现在会聚区内对目标的连续扩展跟踪; 优点是兼具隐蔽与机动性, 利用深海声学特性对探测性能取得突破性进步。对未来扩大水下目标信息感知范围, 对敏感或争议区域实施全覆盖、建立我国水下侦、通、导、测一体化海底观测网具有重要意义。



1. 一种利用浮沉载荷装置实现深海扩展跟踪的方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1、构建一个可移动的水下探测节点;

所述水下探测节点由深海型无人飞行器拖曳一条低频矢量水听器阵列构成,所述水听器阵列的上端搭载一个浮力调节装置,且使所述水听器阵列处于水平、垂直、或者两者之间的任意姿态;

所述浮力调节装置包括壳体、液压动力单元、电子罗盘、控制板、油囊和固定架,所述壳体的内腔底部插接有所述液压动力单元、顶部安装有一个所述油囊,位于所述壳体下方设有另一个所述油囊,且所述液压动力单元分别通过油路与上下两侧的所述油囊相连接,所述壳体内部安装有所述电子罗盘和所述控制板,所述电子罗盘可实时检测所述浮力调节装置的姿态,所述控制板用于控制所述液压动力单元;下侧所述油囊的底部设有所述固定架,所述固定架用于与所述水听器阵列相连接;

S2、当目标被检测到之后,所述水听器阵列将被调整为垂直阵列,通过窄波束对准目标;

S3、当目标移动出观测区域后,所述水听器阵列将向水平方向调整,以增加水平空间增益,实现对目标的持续追踪;

所述水听器阵列的深度和指向,根据环境噪声和目标的距离,将被连续调整,以实现在会聚区内对目标的连续扩展跟踪。

2. 根据权利要求1所述的一种利用浮沉载荷装置实现深海扩展跟踪的方法,其特征在于:

所述水听器阵列构成声呐,所述声呐在深海不同深度下的声场模式,将海面到共轭深度这个深度范围划分为四个深度区间:

①海面附近:深度 $\leq 500\text{m}$;

②声道轴范围:500-3500m;

③共轭深度附近:深度3500-4117m;

④共轭深度至海底:4117m-5000m;

声源位于深度区间①和③会形成会聚区,定义为CZ模式;

声源位于深度区间②时,定义为SOFAR模式;

声源位于深度区间④形成可靠声路径,定义为RAP模式。

3. 根据权利要求2所述的一种利用浮沉载荷装置实现深海扩展跟踪的方法,其特征在于:

对于主动的所述声呐,当发射换能器发射信号照射海面目标时,主动声呐相当于发射端,目标是接收端:

所述声呐在深度区间①声场是CZ1模式;

所述声呐在深度区间②声场是SOFAR模式;

所述声呐在深度区间③声场是CZ2模式;

所述声呐在深度区间④声场是RAP模式;

目标反射声源信号时,主动声呐相当于接收端,目标是发射端,但是根据声场互易原理,此时将目标和所述声呐位置互换,则情况与主动声呐照射目标时相同,声场模式并没有改变;

被动声呐声源和接收端的声场模式与主动声呐相同,目标在海面时声场模式的类型只与主/被动声呐布放深度有关。

4.根据权利要求3所述的一种利用浮沉载荷装置实现深海扩展跟踪的方法,其特征在于:

所述的海面目标处在35-40km范围时,基于CZ模式与基于RAP模式均能探测到目标。

5.根据权利要求4所述的一种利用浮沉载荷装置实现深海扩展跟踪的方法,其特征在于:

通过对回声余量的预测,可以确定基于RAP的主动探测方法的可探测范围。

6.根据权利要求5所述的一种利用浮沉载荷装置实现深海扩展跟踪的方法,其特征在于:

基于RAP的模式的深度调节实现对探测距离的扩展。

7.根据权利要求6所述的一种利用浮沉载荷装置实现深海扩展跟踪的方法,其特征在于:

基于CZ模式和SOFAR模式的深度调节实现对探测距离的扩展。

8.根据权利要求7所述的一种利用浮沉载荷装置实现深海扩展跟踪的方法,其特征在于:

基于CZ模式和SOFAR模式的阵姿态调节实现对探测距离的扩展。

一种利用浮沉载荷装置实现深海扩展跟踪的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及水声设备设计与制造技术领域，具体涉及一种利用浮沉载荷装置实现深海扩展跟踪的方法。

背景技术

[0002] 深海声道广泛存在于全球深海海域，因其具有十分良好的声传播性能而受到极大关注。海面到共轭深度这个范围被称作深海声道宽度，由Snell折射定律可知，声线总是弯向声速极小值的方向，当声源位于深海声道中某一个深度上时，小掠射角声线将被限制在深海声道中传播，不跟海底海面发生碰撞，传播损失较少，因此声信号可传播很远距离。利用深海声道良好的传播性能，声波可以有效地对目标进行定位和测距。

[0003] 我国声纳多采用直达波探测模式，该模式适用性强，但作用距离近，受环境影响，尤其在深海环境下，声线弯折，声场十分复杂，声纳信号处理受多途传播和物理环境影响较大。上世纪40年代，人们开始了对深海声道的研究，其中会聚区的发现与发展为水声探测带来较大影响，极大扩展了探测距离。深层会聚区（反转点会聚区）的应用为在海洋深处探测海面安静目标提供了理论基础。尤其在深海环境下的水下预警等方面，目标定位方法研究十分重要。结合典型的声道，在深海环境下的目标探测定位方法的研究具有极大的理论和应用价值。

发明内容

[0004] 针对现有技术的不足，本发明提供了一种利用浮沉载荷装置实现深海扩展跟踪的方法，优点是兼具隐蔽与机动性，利用深海声学特性对探测性能取得突破性进步。对未来扩大水下目标信息感知范围，对敏感或争议区域实施全覆盖、建立我国水下侦、通、导、测一体化海底观测网具有重要意义。

[0005] 本发明通过以下技术方案予以实现：

[0006] 一种利用浮沉载荷装置实现深海扩展跟踪的方法，包括以下步骤：

[0007] S1、构建一个可移动的水下探测节点；

[0008] 所述水下探测节点由深海型无人飞行器拖曳一条低频矢量水听器阵列构成，所述水听器阵列的上端搭载一个浮力调节装置，且使所述水听器阵列处于水平、垂直、或者两者之间的任意姿态；

[0009] 所述浮力调节装置包括壳体、液压动力单元、电子罗盘、控制板、油囊和固定架，所述壳体的内腔底部插接有所述液压动力单元、顶部安装有一个所述油囊，位于所述壳体下方设有另一个所述油囊，且所述液压动力单元分别通过油路与上下两侧的所述油囊相连接，所述壳体内部安装有所述电子罗盘和所述控制板，所述电子罗盘可实时检测所述浮力调节装置的姿态，所述控制板用于控制所述液压动力单元；下侧所述油囊的底部设有所述固定架，所述固定架用于与所述水听器阵列相连接；

[0010] S2、当目标被检测到之后，所述水听器阵列将被调整为垂直阵列，通过窄波束对准

目标;

[0011] S3、当目标移动出观测区域后,所述水听器阵列将向水平方向调整,以增加水平空间增益,实现对目标的持续追踪;

[0012] 所述水听器阵列的深度和指向,根据环境噪声和目标的距离,将被连续调整,以实现在会聚区内对目标的连续扩展跟踪。

[0013] 优选的,所述水听器阵列构成声呐,所述声呐在深海不同深度下的声场模式,将海面到共轭深度这个深度范围划分为四个深度区间:

[0014] ①海面附近:深度 $\leq 500\text{m}$;

[0015] ②声道轴范围:500-3500m;

[0016] ③共轭深度附近:深度3500-4117m;

[0017] ④共轭深度至海底:4117m-5000m;

[0018] 声源位于深度区间①和③会形成会聚区,定义为CZ模式;

[0019] 声源位于深度区间②时,定义为SOFAR模式;

[0020] 声源位于深度区间④形成可靠声路径,定义为RAP模式。

[0021] 优选的,对于主动的所述声呐,当发射换能器发射信号照射海面目标时,主动声呐相当于发射端,目标是接收端:

[0022] 所述声呐在深度区间①声场是CZ1模式;

[0023] 所述声呐在深度区间②声场是SOFAR模式;

[0024] 所述声呐在深度区间③声场是CZ2模式;

[0025] 所述声呐在深度区间④声场是RAP模式;

[0026] 目标反射声源信号时,主动声呐相当于接收端,目标是发射端,但是根据声场互易原理,此时将目标和所述声呐位置互换,则情况与主动声呐照射目标时相同,声场模式并没有改变;

[0027] 被动声呐声源和接收端的声场模式与主动声呐相同,目标在海面时声场模式的类型只与主/被动声呐布放深度有关。

[0028] 优选的,所述的海面目标处在35-40km范围时,基于CZ模式与基于RAP模式均能探测到目标。

[0029] 优选的,所述的通过对回声余量的预测,可以确定基于RAP的主动探测方法的可探测范围。

[0030] 优选的,所述的基于RAP的模式深度调节实现对探测距离的扩展。

[0031] 优选的,所述的基于CZ模式和SOFAR模式的深度调节实现对探测距离的扩展。

[0032] 优选的,所述的基于CZ模式和SOFAR模式的阵姿态调节实现对探测距离的扩展。

[0033] 本发明的有益效果为:

[0034] 本发明的优点是兼具隐蔽与机动性,利用深海声学特性对探测性能取得突破性进步。对未来扩大水下目标信息感知范围,对敏感或争议区域实施全覆盖、建立我国水下侦、通、导、测一体化海底观测网具有重要意义。

附图说明

[0035] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现

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,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,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。

- [0036] 图1为本发明中水下探测节点的结构示意图;
- [0037] 图2为本发明中浮力调节装置的结构示意图;
- [0038] 图3为本发明中仿真所用深海环境模型图;
- [0039] 图4为本发明中不同模式下的本征声线图;
- [0040] 图5为本发明中主动声纳探测信息流程图;
- [0041] 图6为本发明中网格划分示意图;
- [0042] 图7为本发明中性能分析与评估模型;
- [0043] 图8为本发明中不同距离上的深度-到达角度能量分布图;
- [0044] 图9为本发明中目标深度100m时声场(传播损失)的空间分布特征;
- [0045] 图10为本发明中不同距离上的深度-到达角度能量分布图;
- [0046] 图11为本发明中CZ区域阵列布放示意图;
- [0047] 图12为本发明中不同阵姿态在影区的示意图;
- [0048] 图13为本发明中倾斜阵接收方向来波示意图;
- [0049] 图14为本发明中58km处32元阵的深度-到达角度能量分布图;
- [0050] 图15为本发明中距离目标58km处不同姿态基阵的输出功率对比;
- [0051] 图16为本发明中50km处32元阵的深度-到达角度能量分布图;
- [0052] 图17为本发明中距离目标50km处不同姿态基阵的输出功率对比。
- [0053] 图中:1-水听器阵列、2-浮力调节装置、201-壳体、202-液压动力单元、203-电子罗盘、204-控制板、205-油囊、206-固定架。

具体实施方式

[0054] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中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作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。

[0055] 实施例一:

[0056] 参阅图1-17所示:本发明具体公开了一种利用浮沉载荷装置实现深海扩展跟踪的方法,包括以下步骤:

[0057] S1、构建一个可移动的水下探测节点;

[0058] 具体参阅图1所示:水下探测节点由深海型无人航行器拖曳一条低频矢量水听器阵列1构成,水听器阵列1的上端搭载一个浮力调节装置2,且使水听器阵列1处于水平、垂直、或者两者之间的任意姿态;

[0059] 具体参阅图2所示:浮力调节装置2包括壳体201、液压动力单元202、电子罗盘203、控制板204、油囊205和固定架206,壳体201的内腔底部插接有液压动力单元202、顶部安装有一个油囊205,位于壳体201下方设有另一个油囊205,且液压动力单元202分别通过油路与上下两侧的油囊205相连接,壳体201内部安装有电子罗盘203和控制板204,电子罗盘203

可实时检测浮力调节装置2的姿态,控制板204用于控制液压动力单元202;下侧油囊205的底部设有固定架206,固定架206用于与水听器阵列1相连接;

[0060] S2、当目标被检测到之后,水听器阵列1将被调整为垂直阵列,通过窄波束对准目标;

[0061] S3、当目标移动出观测区域后,水听器阵列1将向水平方向调整,以增加水平空间增益,实现对目标的持续追踪;

[0062] 水听器阵列1的深度和指向,根据环境噪声和目标的距离,将被连续调整,以实现在会聚区内对目标的连续扩展跟踪。

[0063] 具体的,水听器阵列1构成声呐,声呐在深海不同深度下的声场模式,将海面到共轭深度这个深度范围划分为四个深度区间:

[0064] ①海面附近:深度 $\leq 500\text{m}$;

[0065] ②声道轴范围:500-3500m;

[0066] ③共轭深度附近:深度3500-4117m;

[0067] ④共轭深度至海底:4117m-5000m;

[0068] 声源位于深度区间①和③会形成会聚区,定义为CZ模式;

[0069] 声源位于深度区间②时,定义为SOFAR模式;

[0070] 声源位于深度区间④形成可靠声路径,定义为RAP模式。

[0071] 具体的,对于主动的声呐,当发射换能器发射信号照射海面目标时,主动声呐相当于发射端,目标是接收端:

[0072] 声呐在深度区间①声场是CZ1模式,如图4(a)所示;

[0073] 声呐在深度区间②声场是SOFAR模式,如图4(b)所示;

[0074] 声呐在深度区间③声场是CZ2模式,如图4(c)所示;

[0075] 声呐在深度区间④声场是RAP模式,如图4d)所示;

[0076] 目标反射声源信号时,主动声呐相当于接收端,目标是发射端,但是根据声场互易原理,此时将目标和声呐位置互换,则情况与主动声呐照射目标时相同,声场模式并没有改变;

[0077] 被动声呐声源和接收端的声场模式与主动声呐相同,目标在海面时声场模式的类型只与主/被动声呐布放深度有关,表1做了简单统计。

[0078] 表1不同声源深度-接收深度配置下的声场模式:

[0079]

| 主/被动声呐深度 | 目标深度 | 声场模式类型 |
|----------|------|---------|
| 深度区间① | 区间① | CZ1模式 |
| 深度区间② | 区间① | SOFAR模式 |
| 深度区间③ | 区间① | CZ2模式 |
| 深度区间④ | 区间① | RAP模式 |

[0080] 具体的,海面目标处在35-40km范围时,基于CZ模式与基于RAP模式均能探测到目标,目标与声呐之间的本征声线相似,如图4(c)和(d)所示;

[0081] 不同点在于,

[0082] 声呐布放在共轭深度附近时声速小于等于海面声速;

[0083] 根据Snell折射定律,从声源出发掠射角等于0和部分小于0的声线都可以在海面

附近折射翻转而不与海面相互作用；

[0084] 声呐布放在共轭深度以下时声速大于海面声速，从声源出发的所有声线都将经过海面反射，所以尽管图4(c)和(d)其本征声线相似，但声场模式并不同。

$$[0085] \quad \frac{\cos \theta}{c} = \frac{\cos \theta_0}{c_0} \quad (1-1)$$

[0086] 对RAP范围(大概40km)内对海面附近目标进行声探测的可行性分析得到了理想的结果。

[0087] 具体的，考虑收发合置的主动声纳系统，其信息流程参阅图5。声源级为SL的声波经过传播路径到达目标时，声强级衰减为SL-TL；由于目标反射，声强级增加为SL-TL+TS；目标反射回波经过同样的传播路径到达接收水听器时，声波再次衰减，声强级变为SL-2TL+TS，它通常称作回声信号级；

[0088] 海洋环境噪声级NL由于受到阵列抑制，噪声级可以视为NL-AG，在系统检测器的检测阈为DT，但在判决之前经过声纳信号处理，接收水听器输入端信噪比提高G，因此在预定的置信级下，接收水听器输入端所需要的信噪比为DT-G；

[0089] 由于声纳系统刚好能完成预定的职能时，满足：

[0090] 回声信号级-噪声级=系统输入端需要的最小信噪比因此有：

$$[0091] \quad (SL-2TL+TS) - (NL-AG) = DT-G \quad (3.11)$$

[0092] 即：

$$[0093] \quad SL-2TL+TS-NL+AG+G=DT \quad (3.12)$$

[0094] 式(3.11)称为主动声纳方程；

[0095] 考虑式(3.12)，当等号左边项大于检测阈时，声纳可以有效工作探测到目标，且左边项越大，声纳的探测性能越好，为讨论方便，定义一个组合声纳参数——回声余量：

$$[0096] \quad SE=SL-2TL+TS-(NL-AG-G+DT) \quad (3.13)$$

[0097] 回声余量表征了主动声纳回声级超过噪声级的分贝数，回声余量越大，声纳的探测性能越好，所以选择回声余量作为评估探测性能的指标，声场中回声余量大于0的区域为可探测区域，通过对回声余量的预测，可以确定基于RAP的主动探测方法的可探测范围；

[0098] 具体参阅图6所示：将目标场景划分网格，假设目标位于某一网格点，利用射线模型计算双程传播损失2TL，合理假设式(3.13)等号右边的其它6个参数，估计目标在该网格点上时接收水听器处的回声余量。

[0099] 具体的，基于RAP的模式深度调节实现对探测距离的扩展：

[0100] 具体参阅图8所示：仿真RAP范围内目标距离声纳不同距离上的深度-到达角度能量分布：

[0101] 如图8(a)所示：当接收阵距离目标5km时，此时主要是直达波到达，基阵放在任意深度都能接收到非常强的目标信号；

[0102] 如图8(b)至(f)所示：当目标开始远离接收阵时，海面附近接收到的直达波能量变弱，直达波能量更多的开始向海底汇聚，多途结构也开始变得复杂，此时不仅仅有直达波，还有海面反射以及海底反射到达；

[0103] 如图8(g)和(h)所示：当目标继续远离基阵时：R=35km和/或R=40km，能量又开始

靠近海面方向转移；

[0104] 但在35km范围内,基阵在共轭深度以下均能接收到目标回波信号,在40km时,基阵靠近海底无法有效接收信号；

[0105] 对于RAP模式,

[0106] 当垂直阵在共轭深度4117m以下和/或垂直阵靠近海底时,探测距离会变短；

[0107] 例如图8(h)中,当垂直阵布放在4800m深度时,将无法探测40km处的目标；

[0108] 当垂直阵布放在靠近共轭深度4300m的位置时,则可以接收到40km处的目标信号；

[0109] 所以,如果单纯的考虑风成噪声的话垂直阵位置越靠近共轭深度探测距离越远。

[0110] 具体的,基于CZ模式和SOFAR模式的深度调节实现对探测距离的扩展：

[0111] 具体参阅图10所示:由RAP区域的仿真结果可知,在40km以内基于RAP的声呐可以很好的探测并追踪目标；

[0112] 利用深海信道特性得到RAP范围外45km、50km、55km和60km处的深度-到达角度能量分布：

[0113] 从图10(a)至(d)的变化规律中可以看出,当目标离开RAP范围后,深度-到达角度能量分布中的高亮区域在逐渐向海面方向移动,也就意味着接收阵列也必须向海面移动才有可能持续跟踪探测目标,此时如果仍然将接收阵布放在共轭深度之下则很难对RAP区域外的目标实现继续跟踪,目标距离接收阵越远,接收阵应该布放到越靠近海面的地方。

[0114] 具体的,基于CZ模式和SOFAR模式的阵姿态调节实现对探测距离的扩展：

[0115] 阵姿态对探测性能的影响对于CZ尤为明显,CZ是大量同相简正波在海面附近叠加所形成高声能会聚带,称其为会聚带就表明CZ在水平方向具有一定宽度,在CZ下方简正波非同相叠加所以造成了声影区；

[0116] 当接收阵在CZ垂直布放时,极有可能出现一部分阵元处在声影区的情况,图11垂直排列的黑色圆点表示32元阵(阵间距5m)垂直布放时的效果,可以看出,32元垂直阵大部分阵元都处在CZ下方的声影区,影区能量相比于CZ很弱,此外影区信号与会聚区信号的相位结构差异也比较大,如果部分阵元处于影区则对垂直阵接收的信号做波束形成无法达到提高阵增益增强信噪比的效果；

[0117] 此时考虑将垂直阵沿着会聚带切线方向布放,如图11中倾斜黑色圆点所示(因为横坐标跨度较大,图中倾斜阵姿态仅仅是示意图,真实情况下阵孔径相比于CZ宽度要小得多),基阵基本可以完全被CZ覆盖,信号到达各个接收阵元近似有稳定的相位差,且各个阵元接收信号都较强,所以有望能够可以获得更高信噪比；

[0118] 当基阵倾斜时,需要对阵元加权向量做一个修正,主要是对各阵元接收信号进行相位补偿,从而满足在期望的方向信号能够同向叠加；

[0119] 图13是倾斜阵接收方向来波示意图:阵元间距为 d , α 是掠射角; θ 是基阵相对于海面的倾斜角;根据简单的几何关系, $\beta = \pi/2 - \alpha - \theta$,则相邻两个阵元声波走过的路程差为 $d \sin \beta$,阵元加权向量变为:

$$[0120] \quad \mathbf{w}_{\text{CBF}}(\varphi) = \left[1 \quad e^{-j2\pi d/\lambda \sin \beta} \quad \dots \quad e^{-j(M-1)2\pi d/\lambda \sin \beta} \right]^T \quad (4.1)$$

[0121] 不同姿态基阵在58km处输出的深度-到达角度能量分布,具体参阅图14所示:

[0122] 在海面附近,倾斜阵的输出能量明显要更大,而且横向分布范围更广(图14(b)中

红色高亮区域),这是因为CZ倾斜布放保证所有阵元都位于CZ高能量带,所以波束形成之后输阵增益更强;

[0123] 接收深度在600m附近时,基阵主要接收到的是海面海底反射波,并且垂直阵的输出功率要大于倾斜阵,因为阵倾斜有一部分阵元处在影区,所以导致输出能量下降;

[0124] 具体参阅图15所示:距离目标58km处,不同姿态基阵在不同深度的输出功率对比曲线,基阵位于40m接收深度上,此时声传播模式为CZ传播模式,CZ的主波束掠射角接近为 0° ,所以所以图中曲线峰值也在 0° 附近,如图15(a)所示;

[0125] 此时垂直阵和倾斜阵输出能量峰值对应的到达角仍然有微小差别,这是因为阵倾斜布放后基阵的空间位置也发生了变化,空间位置不同声线到达角也不同;

[0126] 基阵在580m深度的输出功率曲线如图15(b)所示,因为阵倾斜后有部分阵元处在影区,所以在580m深度倾斜阵输出能量小于垂直阵。

[0127] 调整阵姿态,本质上是为了让更多阵元处在高声能区,获得更高的阵增益。

[0128] 具体参阅图16所示:不同姿态基阵在50km处输出的深度-到达角度能量分布:

[0129] 图中在1200m-3000m深度范围的高亮区域,阵偏离垂直方向 10° 后输出能量明显比垂直阵大;

[0130] 具体参阅图17所示:给出了距离目标50km处,不同姿态基阵在不同深度的输出功率对比曲线,图中主波束到达角在 12° 附近,基阵位于2320m和2850m,倾斜阵的输出能量(图17中红色曲线)都大于垂直阵(图17中蓝色曲线);

[0131] 可见,在某些情况下,基阵适当倾斜可以让更多阵元处在高声能区域,获得更理想的输出效果。

[0132] 以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;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:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。

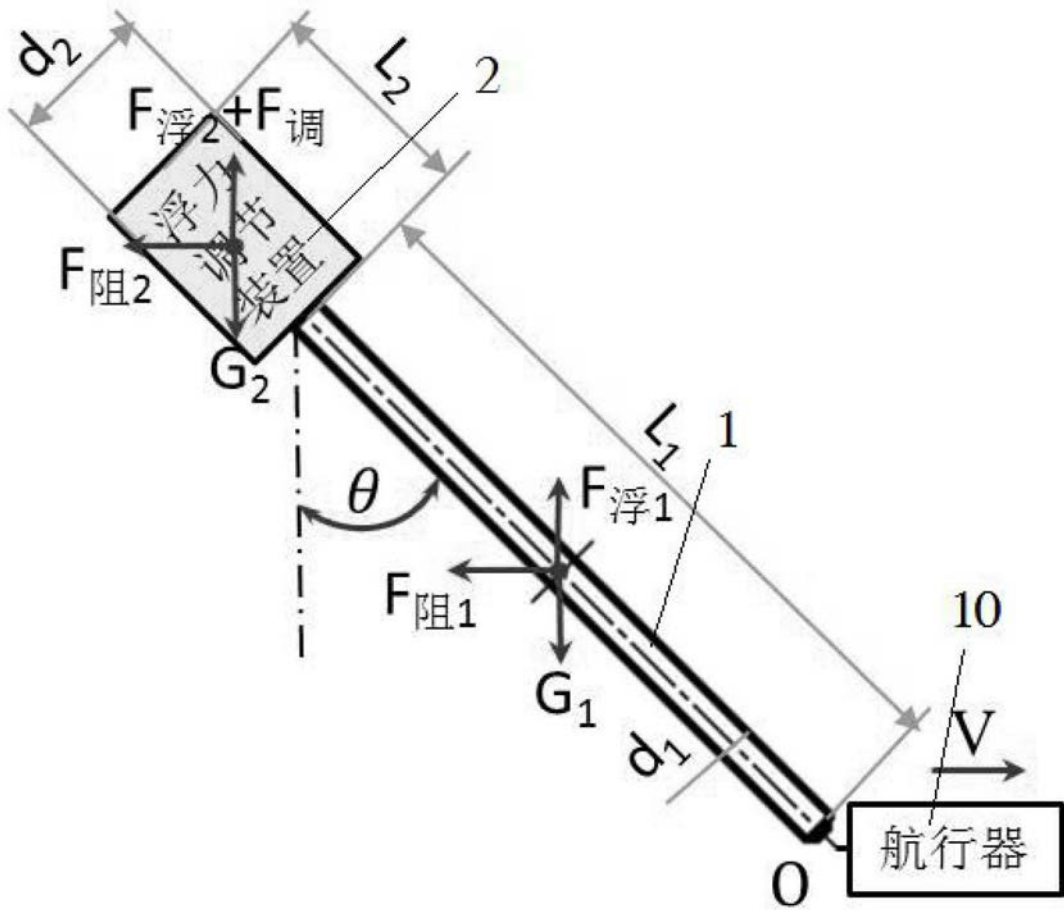


图1

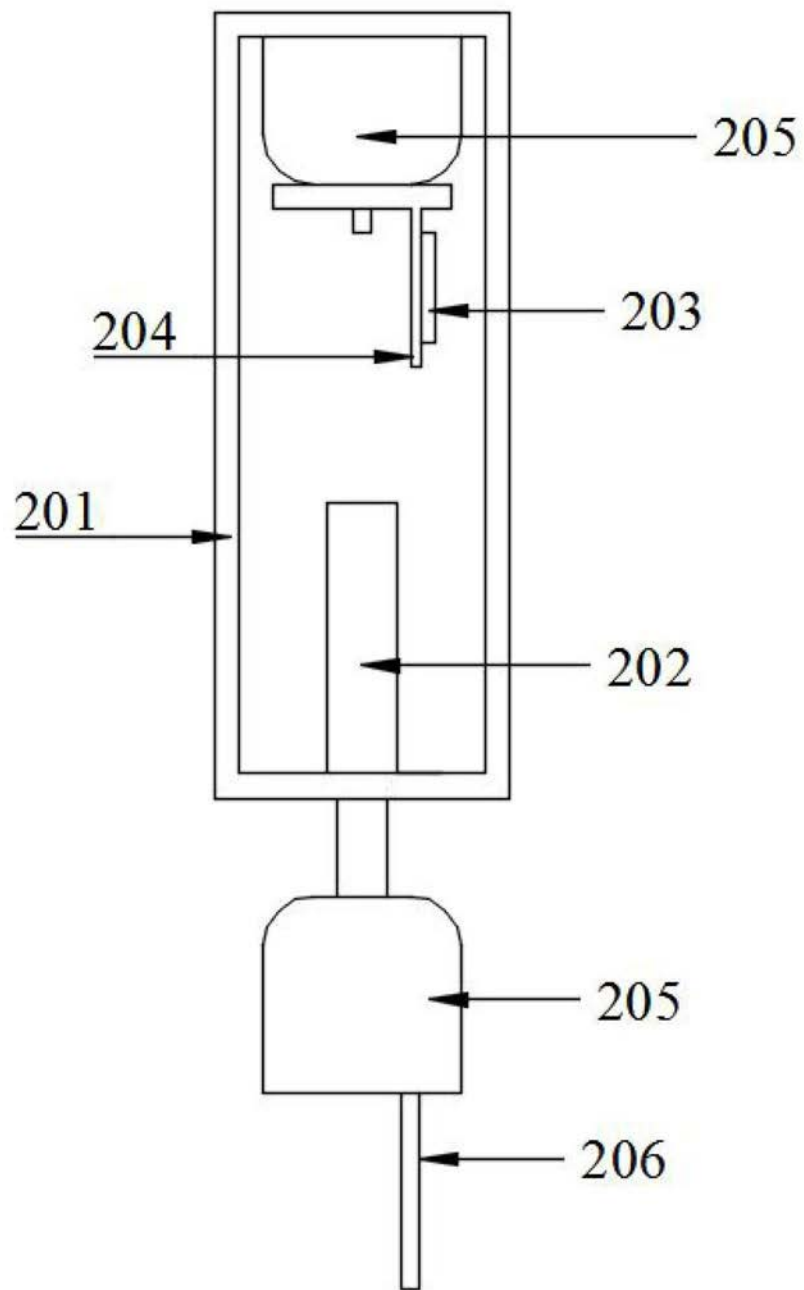


图2

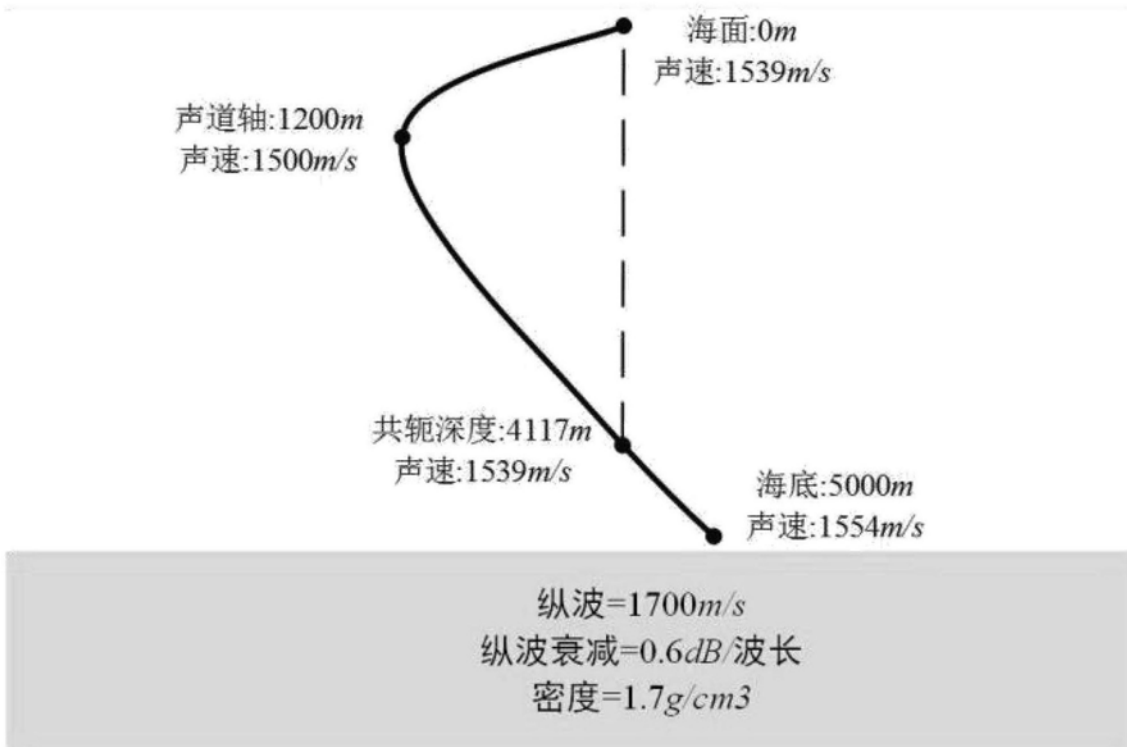


图3

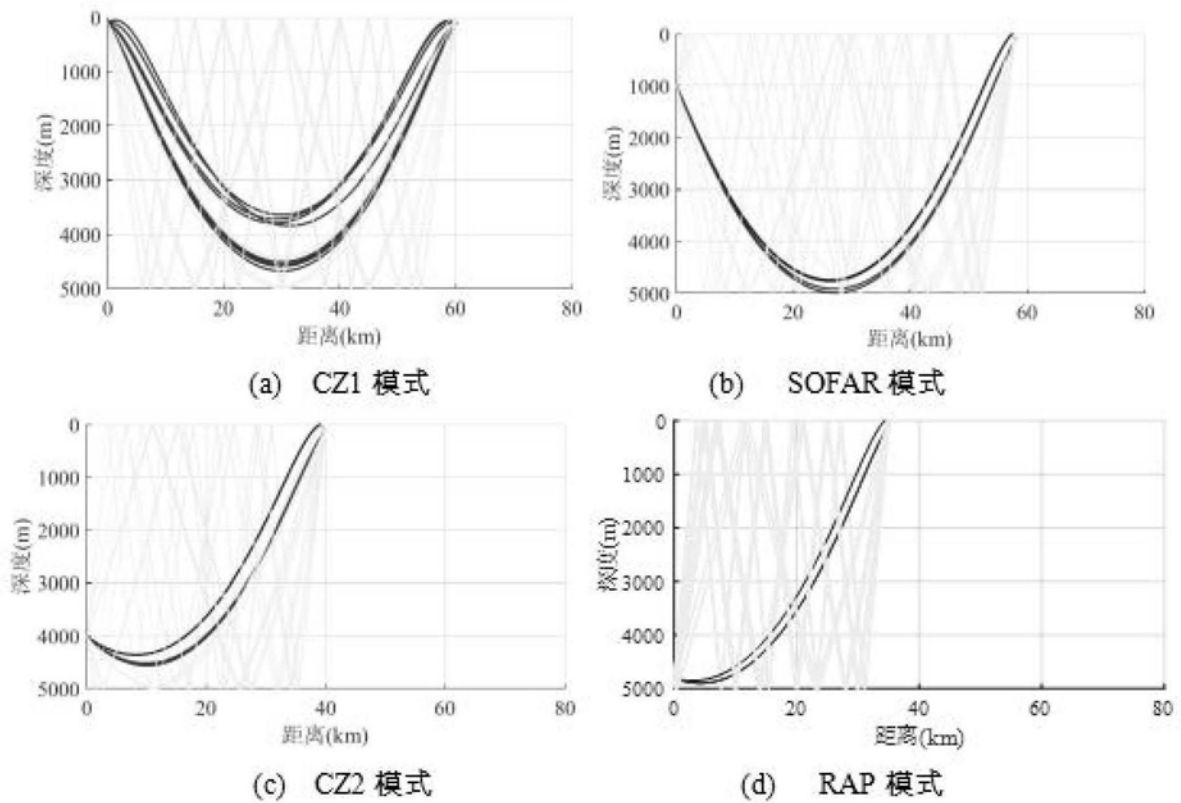


图4

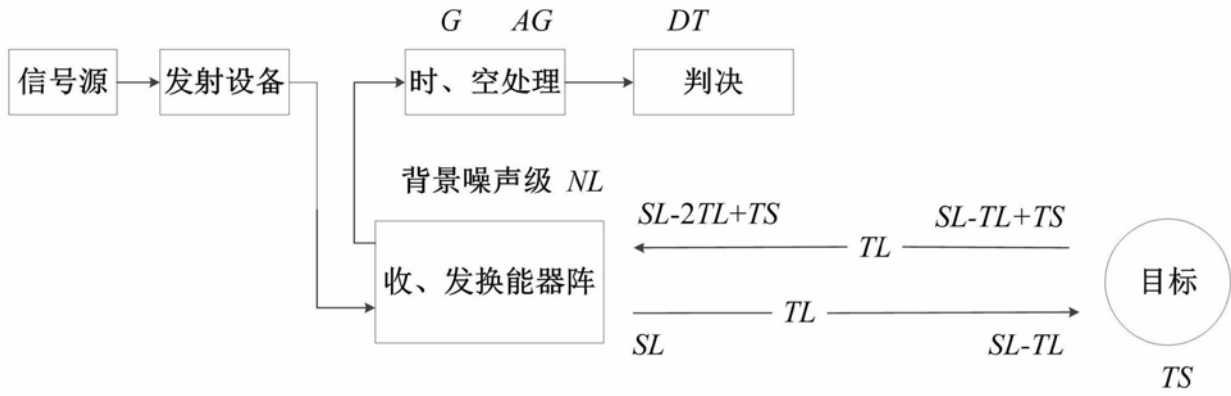


图5

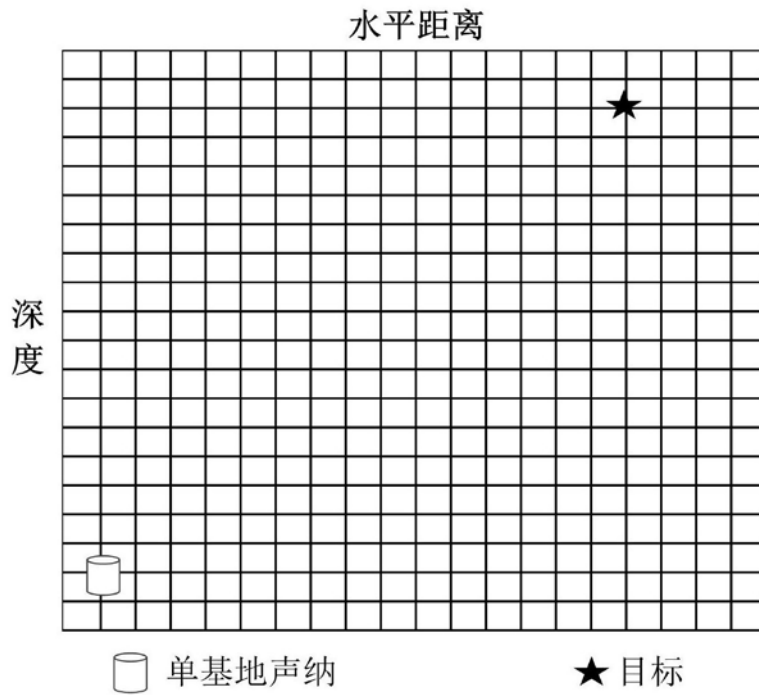


图6



图7

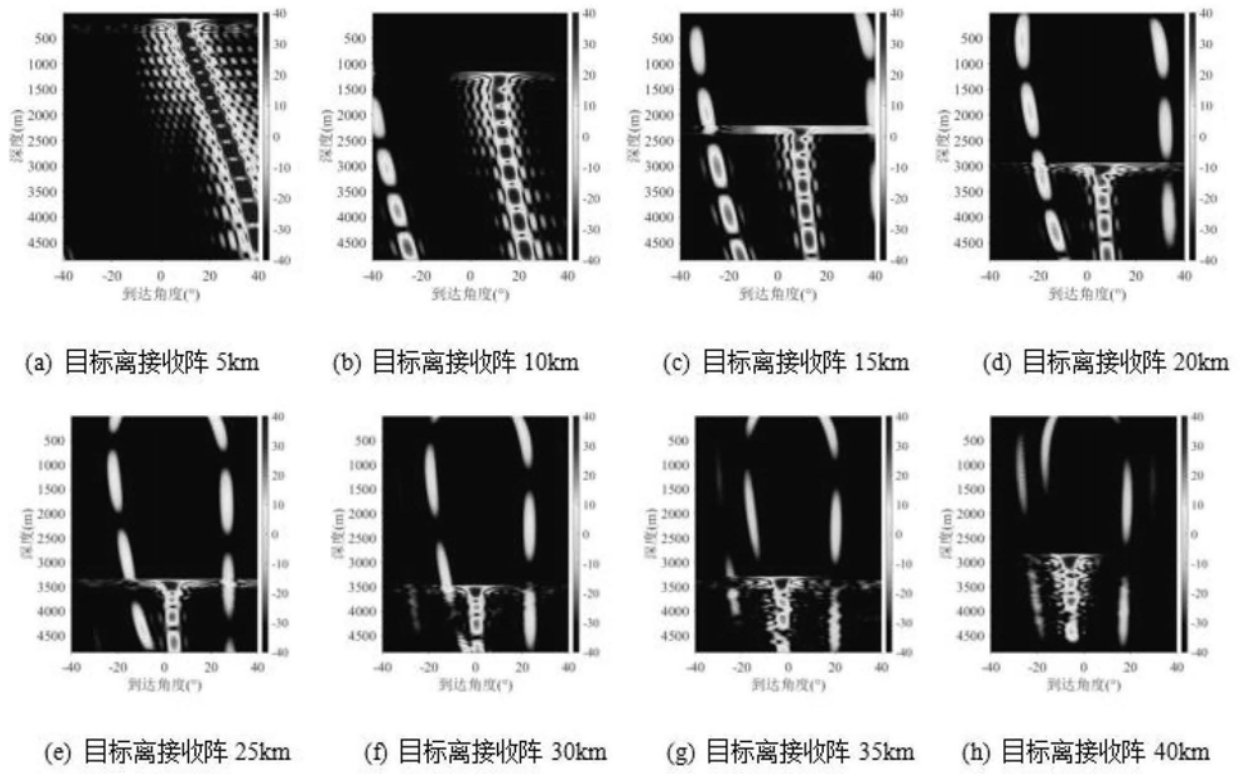


图8

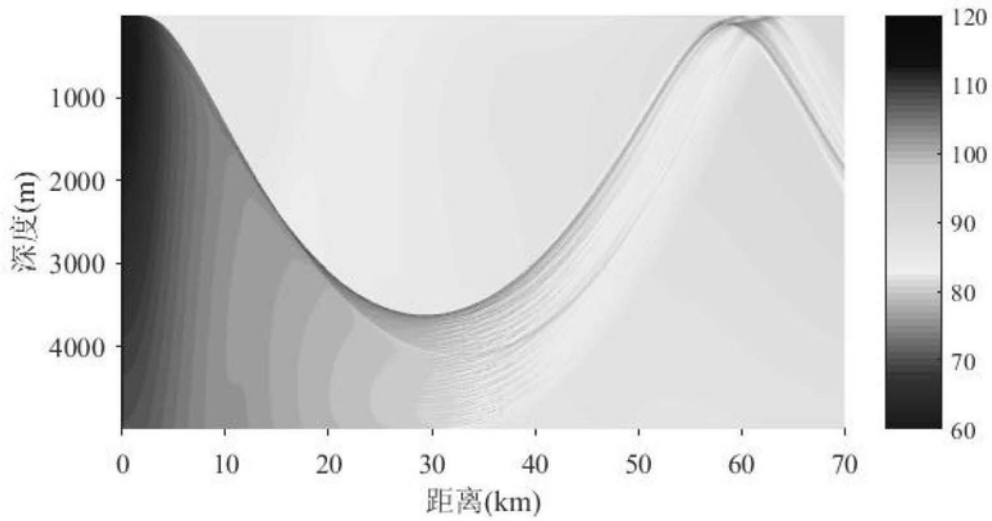


图9

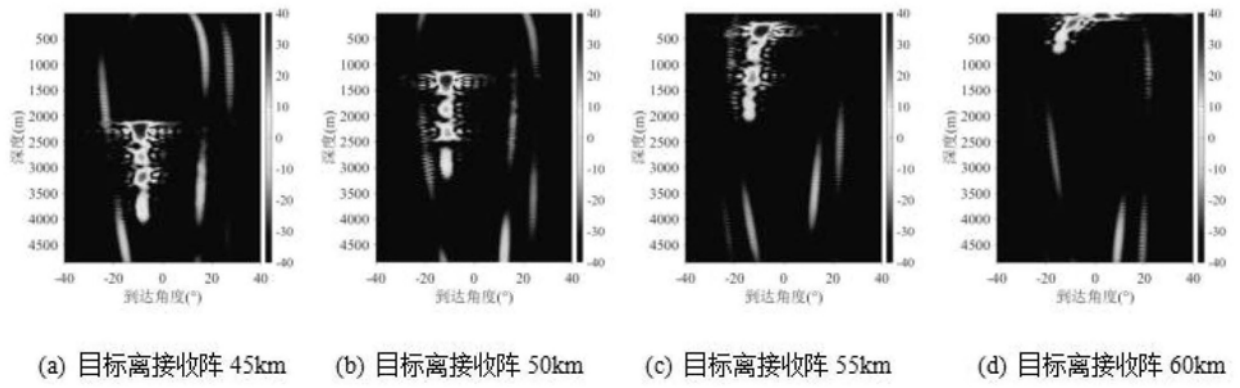


图10

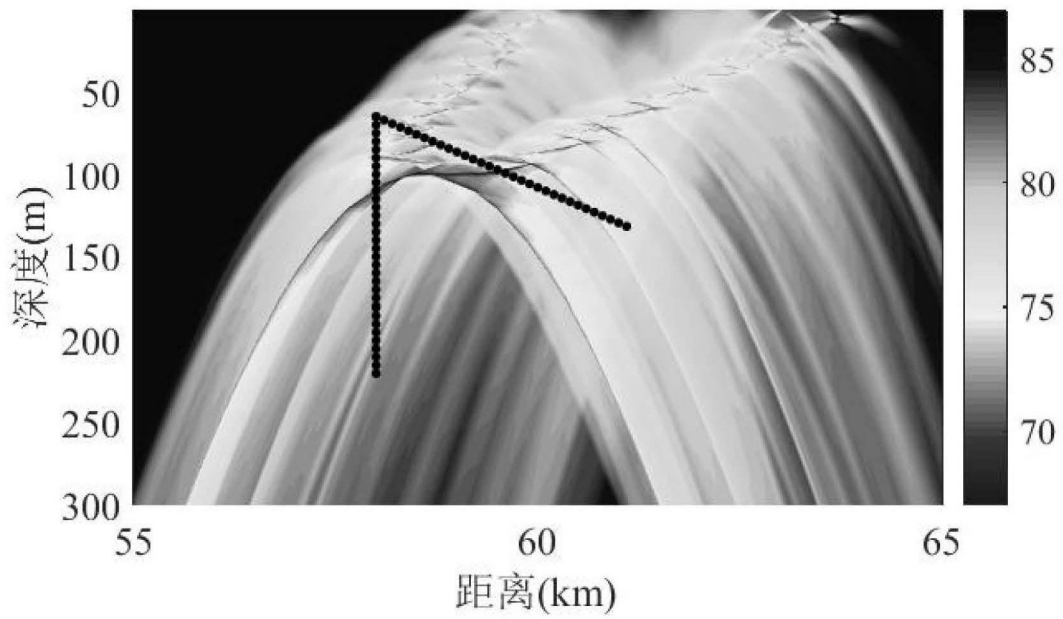


图11

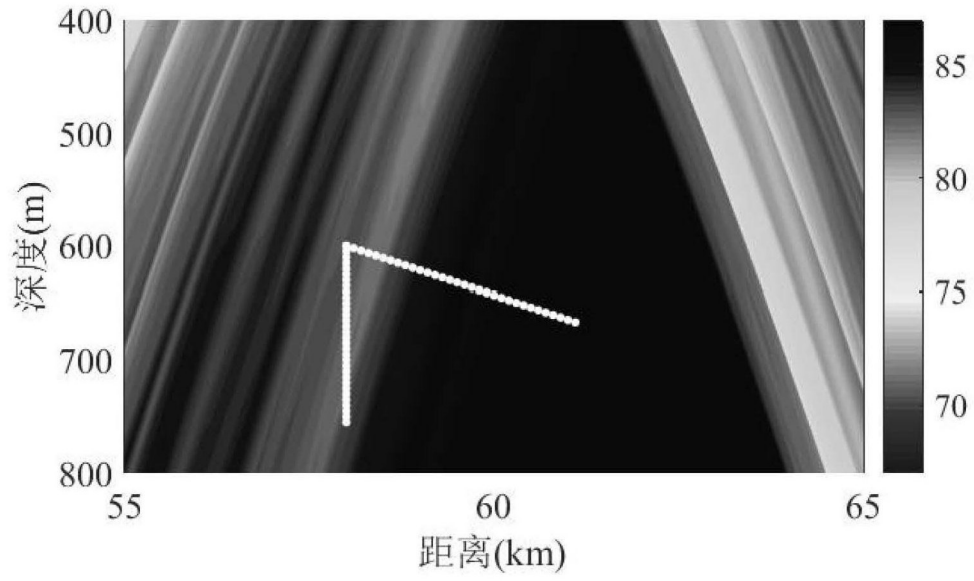


图12

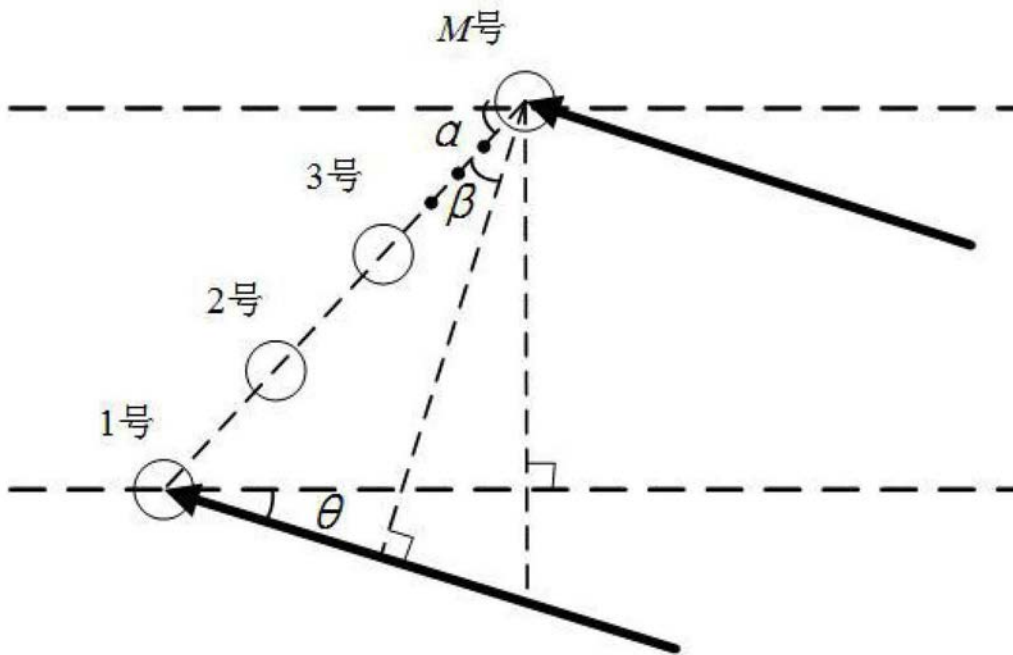


图13

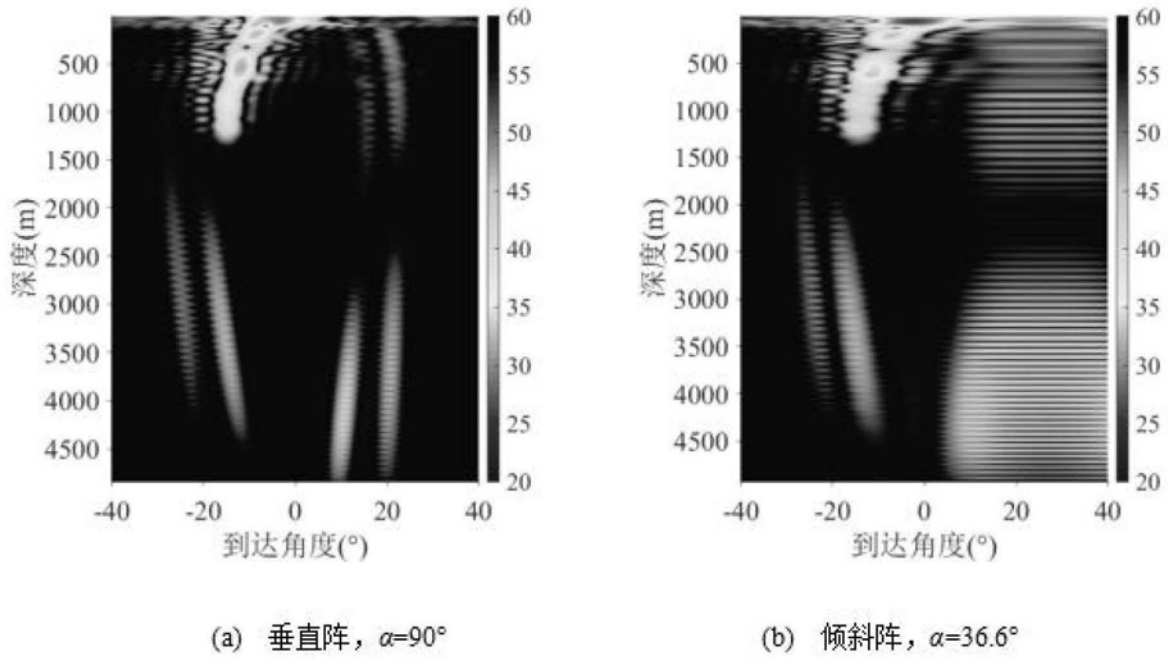


图14

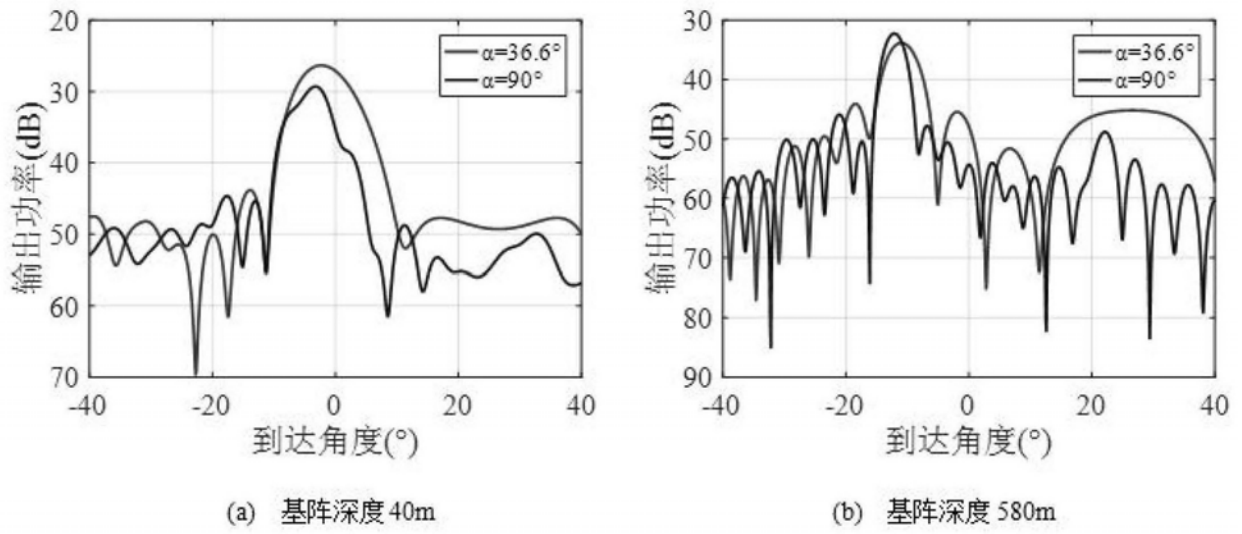


图15

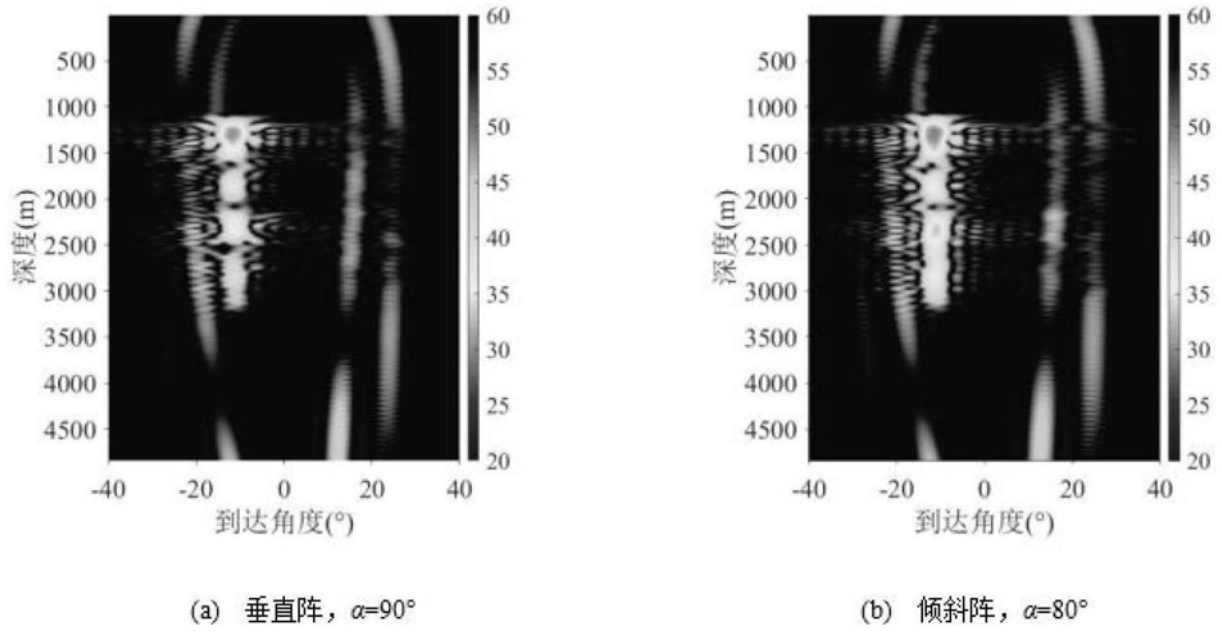


图16

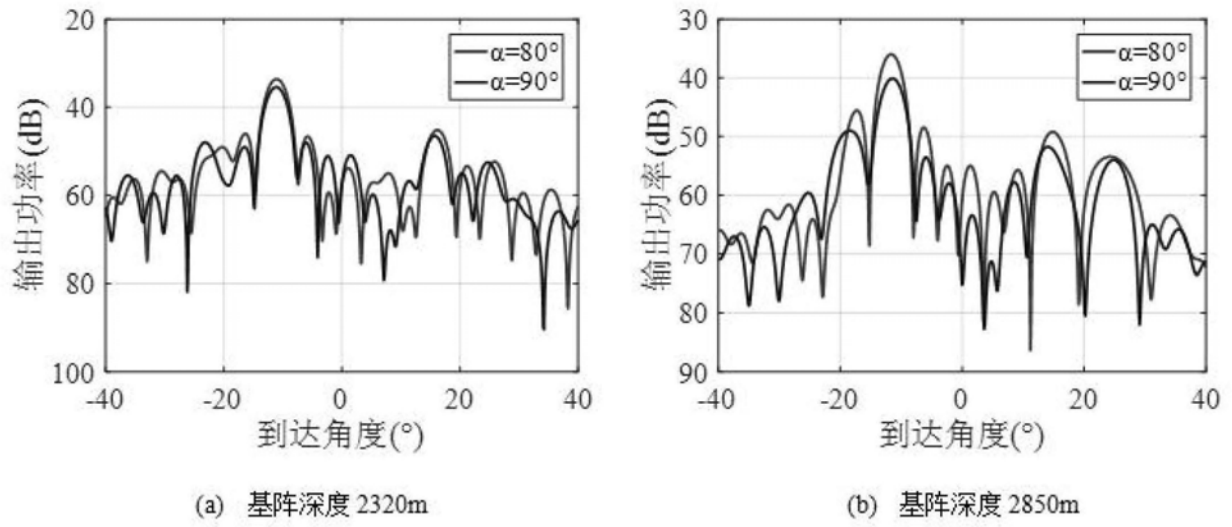


图17