



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113012472 B

(45) 授权公告日 2022.06.14

(21) 申请号 202110285976.8

G06F 30/15 (2020.01)

(22) 申请日 2021.03.17

审查员 双珍珍

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113012472 A

(43) 申请公布日 2021.06.22

(73) 专利权人 武汉理工大学
地址 430070 湖北省武汉市洪山区珞狮路
122号

(72) 发明人 郝国柱 黄立文 张可 张天玉

(74) 专利代理机构 武汉智嘉联合知识产权代理
事务所(普通合伙) 42231
专利代理师 易贤卫

(51) Int. Cl.
G08G 3/00 (2006.01)
G08G 3/02 (2006.01)

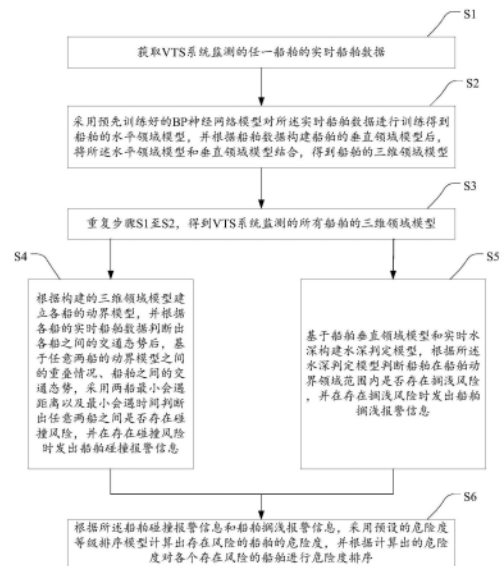
权利要求书2页 说明书13页 附图7页

(54) 发明名称

一种适用于VTS系统的船舶预警方法、设备及存储介质

(57) 摘要

本发明涉及一种适用于VTS系统的船舶预警方法、设备及存储介质,方法包括:采用BP神经网络模型对实时船舶数据进行训练构建船舶水平领域模型,根据船舶数据构建船舶垂直领域模型,进而形成船舶三维领域模型;基于不同船舶水平领域模型之间的重叠情况,利用DCPA和TCPA判断两船之间的碰撞风险,并相应发出船舶碰撞报警信息;根据船舶垂直领域模型和实时水深的对比情况判断船舶的搁浅风险,并相应发出船舶搁浅报警信息;采用模糊数学和层次分析方法建立船舶危险等级排序模型,当同时出现多个报警信息时,根据船舶危险度结算结果对不同船舶的风险等级进行排序。本发明解决了目前VTS系统虚警率较高的问题,可为VTS值班员提供决策支持,提高VTS监管效率与质量。



1. 一种适用于VTS系统的船舶预警方法,其特征在于,包括如下步骤:

S1、获取VTS系统监测的任一船舶的实时船舶数据;

S2、采用预先训练好的BP神经网络模型对所述实时船舶数据进行训练得到船舶的水平领域模型,并根据船舶数据构建船舶的垂直领域模型后,将所述水平领域模型和垂直领域模型结合,得到船舶的三维领域模型;

S3、重复步骤S1至S2,得到VTS系统监测的所有船舶的三维领域模型;

S4、根据构建的三维领域模型建立各船的动界模型,并根据各船的实时船舶数据判断出各船之间的交通态势后,基于任意两船的动界模型之间的重叠情况、船舶之间的交通态势,采用两船最小会遇距离以及最小会遇时间判断出任意两船之间是否存在碰撞风险,并在存在碰撞风险时发出船舶碰撞报警信息;

S5、基于船舶垂直领域模型和实时水深构建水深判定模型,根据所述水深判定模型判断船舶在船舶动界领域范围内是否存在搁浅风险,并在存在搁浅风险时发出船舶搁浅报警信息;

S6、根据所述船舶碰撞报警信息和船舶搁浅报警信息,采用预设的危险度等级排序模型计算出存在风险的船舶的危险度,并根据计算出的危险度对各个存在风险的船舶进行危险度排序;

所述船舶的水平领域模型为椭圆模型,所述BP神经网络模型的输入包括船速、吃水、船舶类型、能见度和风级,所述BP神经网络模型的输出为船舶领域长轴系数和船舶领域短轴系数;

所述船舶的垂直领域模型为矩形模型,所述船舶的垂直领域模型的获取方法为:

根据船舶数据计算出船舶的船体下沉值、船舶航行时龙骨下最小富余水深、波浪富余水深以及纵倾富余水深,根据计算出的船体下沉值、船舶航行时龙骨下最小富余水深、波浪富余水深纵倾富余水深以及船舶实时数据中的吃水计算出船舶领域的水面下深度后,基于所述船舶领域的水面下深度建立船舶的垂直领域模型;

所述步骤S4具体包括:

根据单船的三维领域模型建立单船的动界模型;

根据各船的实时船舶数据判断出各船之间的交通态势;

当任意两船均在航道中正常航行时,根据两船之间的最小会遇距离和最小会遇时间判断两船是否存在碰撞风险,并在存在碰撞风险时发出船舶碰撞报警信息;

当任意两船中有一船舶不在航道中正常航行时,判断两船的三维领域模型或动界模型是否发生重叠,并在发生重叠时,根据两船之间的最小会遇距离、最小会遇时间以及两船之间的交通态势判断两船是否存在碰撞风险,并在存在碰撞风险时发出船舶碰撞报警信息;

所述动界模型为长轴长和短轴长均为船舶领域模型的两倍的椭圆模型;

所述步骤S5具体包括:

根据动界模型确定搜索区域;

根据三维领域模型和所述搜索区域内的海底实际水深确定搜索区域内是否存在碍航区,当不存在碍航区时,判断船舶没有搁浅风险;

当存在碍航区时,根据船舶的航向判断船舶是否行驶在航道中;

当船舶行驶在航道内时,根据航道的水深和船舶领域模型判断船舶是否存在搁浅风

险,并在存在搁浅风险时发出船舶搁浅报警信息;

当船舶行驶在航道外时,判断3倍的三维领域模型与所述碍航区是否有重叠,并在有重叠且重叠时间大于预设时间时,发出船舶搁浅报警信息;

所述危险度等级排序模型为:

$$E_2 = (a+b+c)E_1,$$

其中, E_2 为实时危险度, E_1 为初始危险度, a 为船舶类型权重, b 为周边船舶密度的权重, c 为船舶特性时间的权重。

2. 根据权利要求1所述的适用于VTS系统的船舶预警方法,其特征在于,所述实时船舶数据至少包括船速、吃水、船舶类型、能见度、风级、船长、航速、船舶载重吨、海底地质信息、船舶航行水域的遮蔽程度、船舶经纬度以及航向。

3. 一种适用于VTS系统的船舶预警设备,其特征在于,包括:处理器和存储器;

所述存储器上存储有可被所述处理器执行的计算机可读程序;

所述处理器执行所述计算机可读程序时实现如权利要求1-2任意一项所述的适用于VTS系统的船舶预警方法中的步骤。

4. 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一个或者多个程序,所述一个或者多个程序可被一个或者多个处理器执行,以实现如权利要求1-2任意一项所述的适用于VTS系统的船舶预警方法中的步骤。

一种适用于VTS系统的船舶预警方法、设备及存储介质

技术领域

[0001] 本发明涉及船舶交通管理技术领域,尤其涉及一种适用于VTS系统的船舶预警方法、设备及存储介质。

背景技术

[0002] VTS系统(船舶交通管理系统)通常是由雷达系统、AIS系统(Automatic Identification System,AIS)、船岸通信系统、CCTV(闭路电视监控系统)、交通数据处理系统等组成,可实现对港口及沿海船舶交通的实时监控,并为这些船舶提供航行所需的安全信息。

[0003] 港口水域船舶密度大,发生交通事故等风险也较大。VTS系统在保障船舶航行安全、提高交通效率、保护海洋环境等方面具有重要作用,已成为港口水域内不可或缺的管理和服务手段。目前,VTS监管模式主要以人工监控为主,但在面对日益复杂的船舶交通局面时,VTS值班员(VTSO)可能会顾此失彼。VTS的预警功能可以通过对分别来自AIS和雷达的船舶静态和动态信息的识别与分析,评估船舶交通态势,实现对VTS值班员的及时提醒和决策支持。

[0004] 但目前的VTS的预警功能主要是通过设置DCPA(最小会遇距离)、TCPA(最小会遇时间)的报警阈值(alarm threshold)以及设置浅水报警线(Shallow Depth Alarm Line,SDAL)进行实现,当被监控船舶DCPA和TCPA超过报警阈值或船舶压线(pressing the SDAL)时,系统便自动发出报警。其中报警阈值及浅水报警线通常设置为某一固定的值,需要人工调节,而VTS覆盖范围内船舶类型、尺度、运动状态,以及船舶所处的自然环境和交通条件均具有多样性,报警阈值设置的人工性、单一性和主观性使这些重要因素没有得到充分和全面的考虑,导致VTS报警功能缺乏客观性和科学性,且往往导致较高的虚警率,影响VTS监管效率与质量。因此,传统的VTS监管模式已不能较好的适应港口水域船舶交通迅速发展的需求。

发明内容

[0005] 有鉴于此,有必要提供一种适用于VTS系统的船舶预警方法、设备及存储介质,用以解决目前由于VTS报警功能缺乏客观性和科学性而导致的虚警率较高、影响VTS监管效率与质量的问题。

[0006] 第一方面,本发明提供一种适用于VTS系统的船舶预警方法,包括如下步骤:

[0007] S1、获取VTS系统监测的任一船舶的实时船舶数据;

[0008] S2、采用预先训练好的BP神经网络模型对所述实时船舶数据进行训练得到船舶的水平领域模型,并根据船舶数据构建船舶的垂直领域模型后,将所述水平领域模型和垂直领域模型结合,得到船舶的三维领域模型;

[0009] S3、重复步骤S1至S2,得到VTS系统监测的所有船舶的三维领域模型;

[0010] S4、根据构建的三维领域模型建立各船的动界模型,并根据各船的实时船舶数据

判断出各船之间的交通态势后,基于任意两船的动界模型之间的重叠情况、船舶之间的交通态势,采用两船最小会遇距离以及最小会遇时间判断出任意两船之间是否存在碰撞风险,并在存在碰撞风险时发出船舶碰撞报警信息;

[0011] S5、基于船舶垂直领域模型和实时水深构建水深判定模型,根据所述水深判定模型判断船舶在船舶动界领域范围内是否存在搁浅风险,并在存在搁浅风险时发出船舶搁浅报警信息;

[0012] S6、根据所述船舶碰撞报警信息和船舶搁浅报警信息,采用预设的危险度等级排序模型计算出存在风险的船舶的危险度,并根据计算出的危险度对各个存在风险的船舶进行危险度排序。

[0013] 优选的,所述的适用于VTS系统的船舶预警方法中,所述实时船舶数据至少包括船速、吃水、船舶类型、能见度、风级、船长、航速、船舶载重吨、海底地质信息、船舶航行水域的遮蔽程度、船舶经纬度以及航向。

[0014] 优选的,所述的适用于VTS系统的船舶预警方法中,所述船舶的水平领域模型为椭圆模型,所述BP神经网络模型的输入包括船速、吃水、船舶类型、能见度和风级,所述BP神经网络模型的输出为船舶领域长轴系数和船舶领域短轴系数。

[0015] 优选的,所述的适用于VTS系统的船舶预警方法中,所述船舶的垂直领域模型为矩形模型,所述船舶的垂直领域模型的获取方法为:

[0016] 根据船舶数据计算出船舶的船体下沉值、船舶航行时龙骨下最小富余水深、波浪富余水深以及纵倾富余水深,根据计算出的船体下沉值、船舶航行时龙骨下最小富余水深、波浪富余水深纵倾富余水深以及船舶实时数据中的吃水计算出船舶领域的水面下深度后,基于所述船舶领域的水面下深度建立船舶的垂直领域模型。

[0017] 优选的,所述的适用于VTS系统的船舶预警方法中,所述步骤S4具体包括:

[0018] 根据单船的三维领域模型建立单船的动界模型;

[0019] 根据各船的实时船舶数据判断出各船之间的的交通态势;

[0020] 当任意两船均在航道中正常航行时,根据两船之间的最小会遇距离和最小会遇时间判断两船是否存在碰撞风险,并在存在碰撞风险时发出船舶碰撞报警信息;

[0021] 当任意两船中有一船舶不在航道中正常航行时,判断两船的三维领域模型或动界模型是否发生重叠,并在发生重叠时,根据两船之间的最小会遇距离、最小会遇时间以及两船之间的交通态势判断两船是否存在碰撞风险,并在存在碰撞风险时发出船舶碰撞报警信息。

[0022] 优选的,所述的适用于VTS系统的船舶预警方法中,所述动界模型为长轴长和短轴长均为船舶领域模型的两倍的椭圆模型。

[0023] 优选的,所述的适用于VTS系统的船舶预警方法中,所述步骤S5具体包括:

[0024] 根据动界模型确定搜索区域;

[0025] 根据三维领域模型和所述搜索区域内的海底实际水深确定搜索区域内是否存在碍航区,当不存在碍航区时,判断船舶没有搁浅风险;

[0026] 当存在碍航区时,根据船舶的航向判断船舶是否行驶在航道中;

[0027] 当船舶行驶在航道内时,根据航道的水深和船舶领域模型判断船舶是否存在搁浅风险,并在存在搁浅风险时发出船舶搁浅报警信息;

[0028] 当船舶行驶在航道外时,判断3倍的三维领域模型与所述碍航区是否有重叠,并在有重叠且重叠时间大于预设时间时,发出船舶搁浅报警信息。

[0029] 优选的,所述的适用于VTS系统的船舶预警方法中,所述危险度等级排序模型为:

$$[0030] \quad E_2 = (a+b+c) E_1,$$

[0031] 其中, E_2 为实时危险度, E_1 为初始危险度, a 为船舶类型权重, b 为周边船舶密度的权重, c 为船舶特性时间的权重。

[0032] 第二方面,本发明还提供一种适用于VTS系统的船舶预警设备,包括:处理器和存储器;

[0033] 所述存储器上存储有可被所述处理器执行的计算机可读程序;

[0034] 所述处理器执行所述计算机可读程序时实现如上所述的适用于VTS系统的船舶预警方法中的步骤。

[0035] 第三方面,本发明还提供一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质存储有一个或者多个程序,所述一个或者多个程序可被一个或者多个处理器执行,以实现如上所述的适用于VTS系统的船舶预警方法中的步骤。

[0036] 相较于现有技术,本发明提供的适用于VTS系统的船舶预警方法、设备及存储介质,运用BP神经网络模型构建一种动态自适应的三维领域模型,在考虑最小会遇距离、最小会遇时间等参数的基础上设计并建立了基于三维船舶领域的船舶碰撞风险预警方法和搁浅风险预警方法,而且,引入船舶危险度,从而可在多船同时出现报警情形时辅助VTS值班员判断最紧迫局面,并为其提供决策支持,进而保障港区船舶通航安全,避免了由于VTS报警功能缺乏客观性和科学性而导致的虚警率较高的问题,保证了VTS监管效率与质量。

附图说明

[0037] 图1为本发明提供的适用于VTS系统的船舶预警方法的一较佳实施例的流程图;

[0038] 图2为本发明提供的适用于VTS系统的船舶预警方法中,所述船舶领域模型的一较佳实施例的示意图;

[0039] 图3为本发明提供的适用于VTS系统的船舶预警方法中,所述船舶的水平领域模型的一较佳实施例的示意图;

[0040] 图4为本发明提供的适用于VTS系统的船舶预警方法中,BP神经网络模型的网络层图;

[0041] 图5为本发明提供的适用于VTS系统的船舶预警方法中,所述船舶的垂直领域模型的一较佳实施例的示意图;

[0042] 图6为本发明提供的适用于VTS系统的船舶预警方法中,所述动界模型的一较佳实施例的示意图;

[0043] 图7为本发明提供的适用于VTS系统的船舶预警方法中,船舶间的交通态势图;

[0044] 图8为本发明提供的适用于VTS系统的船舶预警方法中,船舶会遇的一较佳实施例的示意图;

[0045] 图9为本发明提供的适用于VTS系统的船舶预警方法中,船舶动界重叠示意图;

[0046] 图10为本发明提供的适用于VTS系统的船舶预警方法中,船舶航行示意图;

[0047] 图11为本发明提供的适用于VTS系统的船舶预警方法中,船舶搁浅风险预警的示

意图。

具体实施方式

[0048] 下面结合附图来具体描述本发明的优选实施例,其中,附图构成本申请一部分,并与本发明的实施例一起用于阐释本发明的原理,并非用于限定本发明的范围。

[0049] 请参阅图1,本发明实施例提供的适用于VTS系统的船舶预警方法,包括如下步骤:

[0050] S1、获取VTS系统监测的任一船舶的实时船舶数据。

[0051] 本实施例中,所述VTS系统可以实时监测港口水域的各船的实时运行状态,进而获取各船的实时船舶数据,其中,所述实时船舶数据至少包括船速、吃水、船舶类型、能见度、风级、船长、航速、船舶载重吨、海底地质信息、船舶航行水域的遮蔽程度、船舶经纬度以及航向,本发明基于所述实时船舶数据来进行各船的风险预警。

[0052] S2、采用预先训练好的BP神经网络模型对所述实时船舶数据进行训练得到船舶的水平领域模型,并根据船舶数据构建船舶的垂直领域模型后,将所述水平领域模型和垂直领域模型结合,得到船舶的三维领域模型。

[0053] 本实施例中,对船舶领域模型进行简化,将港口水域内船舶领域看成是一个包容在长方体内的椭圆柱模型,如图2所示,其中椭圆柱的长轴长即为船舶领域的长度,椭圆柱的短轴长即为船舶领域的宽度,椭圆柱的高度即为船舶领域水面以下的深度(即航行船舶的最小安全水深)。本发明通过从水平面和水平面以下两个方向来构建三维领域模型。具体的,在进行船舶的水平领域模型建立时,根据上述三维领域模型可知,其水平面切面为一标准椭圆形状,如图3所示,A点是船舶领域与Y轴正方向交点,坐标(0, a);B点是船舶领域与Y轴负方向交点,坐标(0, -a);C点是船舶领域与X轴正方向交点,坐标(b, 0);D点是船舶领域与X轴负方向交点,坐标(-b, 0),Y轴正方向作为船舶的航迹向,每一艘船舶用菱形图形表示,实船大小与图形大小等比例显示,图形长度与船长LOA相同,宽度与船宽相同,并且因为从AIS取得的船位经纬度是船舶驾驶室上GPS天线的位置,实际上由于AIS天线与GPS天线相距很短,可以等同于GPS天线位置,故自椭圆下端B点沿长轴方向向前延伸LOA长度取得的点再向前延伸天线距离船位的距离作为船位点(船位经纬度,也就是GPS天线所在的点),AIS发出的数据中有“天线位置”项:“A”是天线距离船首的距离,“B”是距离船尾的距离,以A、B数值可以作为计算船舶间DCPA、TCPA、船舶图形位置、船首位置等的依据。椭圆方程为:

$$[0054] \quad \frac{y^2}{a^2} + \frac{x^2}{b^2} = 1 (a > b > 0)$$

[0055] 设定基准的船舶领域为:

$$[0056] \quad a = mLOA, b = nLOA,$$

[0057] 其中m为船舶领域长轴系数、n为船舶领域短轴系数,LOA为船长,故为了得到船舶的水平领域模型,在计算时,只需利用BP神经网络模型模型计算出船舶的m值和n值,即可快速构建出船舶的水平领域模型。

[0058] 进一步来说,当船舶在在大风和能见度不良的天气条件下航行时,其船舶领域范围应明显大于正常天气条件下的船舶领域,这样才能保障船舶的航行安全。船舶的冲程主要取决于船舶动量大小,在其他条件保持不变的条件下,船舶总质量的大小可以反应在船舶吃水上,因此,对于船舶动量的大小应主要考虑船舶速度以及船舶吃水两方面的因素。此

外,危险品船舶、客船发生事故后的危害显然要大于普通船舶,为保障船舶的航行安全,危险品船舶和客船的领域范围一般也应大于普通船舶,因此,本发明将船舶类型这一因素考虑到船舶领域的建模当中。

[0059] 故基于此,本发明中在进行船舶的水平领域模型建立时,将所述船舶的水平领域模型设置为椭圆模型,并根据实时船舶数据中的船速、吃水、船舶类型、能见度和风级来进行椭圆模型的建立,其中,所述BP神经网络模型的输入包括船速、吃水、船舶类型、能见度和风级,所述BP神经网络模型的输出为船舶领域长轴系数和船舶领域短轴系数,其具体网络图如图4所示。其中,在进行BP神经网络模型的建立时,选择单隐层的BP神经网络模型建立模型,将船速、吃水、船舶类型、能见度和风级作为输入,船舶领域大小(船舶领域长轴系数 m 、船舶领域短轴系数 n)作为输出的经验数据进行学习,通过将调研获取的样本数据代入网络进行训练,得到航速、吃水、船舶类型、能见度、风级与船舶领域大小之间的映射关系,即所述BP神经网络模型,然后将实时船舶数据代入所述BP神经网络模型中,即可求得船舶领域长轴系数 m 和船舶领域短轴系数 n ,之后即可根据船长和船舶领域长轴系数 m 和船舶领域短轴系数 n 建立椭圆模型。

[0060] 进一步的实施例中,由于船舶航行在港口水域时,不仅要避免碰撞事故的发生,还要防止搁浅事故的发生,因此,还需要建立船舶的垂直领域模型,实现船舶搁浅风险预警。其中,所述垂直领域模型为矩形模型,如图5所示。矩形模型的矩形方程为:

$$[0061] \quad -b \leq x \leq b$$

$$[0062] \quad -c \leq z \leq 0,$$

[0063] 其中, b 表示长方形的宽度,即船舶的水平领域模型中的长轴长度, c 为船舶领域的水面下深度,故为确定水平线以下模型的大小,需得到 c 值的大小,即船舶的最小安全水深,其中最小安全水深的值为船舶吃水和富余水深的和值,吃水可直接通过VTS系统监测的船舶数据获取,富余水深的主要影响因素包括船体下沉值、船舶航行时龙骨下最小富余水深、波浪富余水深以及纵倾富余水深,故基于此,所述船舶的垂直领域模型的获取方法为:

[0064] 根据船舶数据计算出船舶的船体下沉值、船舶航行时龙骨下最小富余水深、波浪富余水深以及纵倾富余水深,根据计算出的船体下沉值、船舶航行时龙骨下最小富余水深、波浪富余水深纵倾富余水深以及船舶实时数据中的吃水计算出船舶领域的水面下深度后,基于所述船舶领域的水面下深度建立船舶的垂直领域模型。

[0065] 具体来说,船舶在水上航行时,由于其航速不同引起船体周围的压力产生变化,由此导致船舶周围水面上升,从而引起吃水的增加,即为船体的下沉值 c_1 。本发明采用采取简化的经验式: $c = Cb \times V^2 / 100$,来计算船体的下沉量,从式中可以看出,航速 V 的影响显然要大于方型系数 C 的影响,因此本发明实施例采用经验式: $c_1 = V^2 / 100$ (速度单位为“节”)来计算得到船舶航行时的下沉量。

[0066] 最小富余水深 c_2 是指除去船舶下沉量后的船舶基线与海底间的最小富余深度,它主要是防止船舶擦底和保障船舶的操纵性能。影响龙骨下最小富余水深的因素包括船舶本身因素、海底土质及障碍物情况等,本发明根据船舶载重吨和VTS系统的海底地质信息并结合《海港总体设计规范(2013)》中关于龙骨下最小富余水深值的相关规定获取船舶航行时龙骨下的最小富余水深。具体实施时,所述最小富余水深 c_2 的计算公式为: $c_2 = f(DWT, \text{土质特征})$,其中, DWT 表示船舶载重吨。

[0067] 进一步来说,船舶在水上航行时会发生横摇、纵摇和垂荡,这些运动会引起船舶吃水的增加即为波浪富余水深 c_3 。它主要与船舶类型、船舶速度、波浪等一些参数有关。本发明根据船舶航行水域的遮蔽程度(全遮蔽、半遮蔽、无遮蔽)来确定波浪富余水深,其具体计算方法为:

$$[0068] \quad c_3 = \begin{cases} 0.0(\text{全遮蔽, 港湾水域}) \\ 0.15(\text{半遮蔽, 垂荡较小}) \\ 0.30(\text{无遮蔽, 港湾水域}) \end{cases}。$$

[0069] 进一步的实施例中,本发明所述船舶纵倾富余水深根据《海港总体设计规范(2013)》关于船舶纵倾富余水深的要求来获取,其主要与船舶类型相关,具体方法为:

$$[0070] \quad c_4 = \begin{cases} 0.30(\text{滚装船, } DWT \leq 1000t, GT \leq 3000t) \\ 0.20(\text{滚装船, } DWT > 1000t, GT > 3000t) \\ 0.15(\text{油船和散货船}) \\ 0(\text{其他船舶}) \end{cases}。$$

[0071] 故换而言之,通过VTS搜集航行船舶的吃水、航速、载重吨、船舶类型、船舶航行水域的遮蔽程度、海底底质特征等信息即可快速实现船舶的垂直领域模型的建立,其具体公式为:

$$[0072] \quad c = c_0 + c_1 + c_2 + c_3 + c_4$$

$$[0073] \quad c_0 = \text{船舶吃水}$$

$$[0074] \quad c_1 = V^2/100$$

$$[0075] \quad c_2 = f(DWT, \text{土质特征})$$

$$[0076] \quad c_3 = \begin{cases} 0.0(\text{全遮蔽, 港湾水域}) \\ 0.15(\text{半遮蔽, 垂荡较小}) \\ 0.30(\text{无遮蔽, 港湾水域}) \end{cases}$$

$$[0077] \quad c_4 = \begin{cases} 0.30(\text{滚装船, } DWT \leq 1000t, GT \leq 3000t) \\ 0.20(\text{滚装船, } DWT > 1000t, GT > 3000t) \\ 0.15(\text{油船和散货船}) \\ 0(\text{其他船舶}) \end{cases}。$$

[0078] 进一步来说,在得到了船舶的水平领域模型和垂直领域模型后,将上述两种模型进行空间合成,即可得到船舶领域模型,具体的,所述船舶领域模型方程为:

$$[0079] \quad \frac{x^2}{b^2} + \frac{y^2}{a^2} = 1 \quad \begin{matrix} a = mLOA \\ b = nLOA \end{matrix}$$

$$[0080] \quad -c \leq z \leq 0, b > a, c = c_0 + c_1 + c_2 + c_3 + c_4,$$

[0081] 其中,LOA为目船长,m、n为船舶领域的长轴系数和短轴系数,通过BP神经网络模型求得;c表示航行船舶的最小安全水深, c_0 表示船舶吃水, c_1 表示船体下沉值, c_2 表示龙骨下最小富余水深, c_3 表示波浪富余水深, c_4 表示纵倾富余水深。

[0082] S3、重复步骤S1至S2,得到VTS系统监测的所有船舶的三维领域模型。

[0083] 换而言之,在得到了一个船舶的三维领域模型后,即可通过重复上述方法得到所有船舶的三维领域模型,然后根据各船的三维领域模型来实现碰撞和搁浅风险的判断。

[0084] S4、根据构建的三维领域模型建立各船的动界模型,并根据各船的实时船舶数据判断出各船之间的交通态势后,基于任意两船的动界模型之间的重叠情况、船舶之间的交通态势,采用两船最小会遇距离以及最小会遇时间判断出任意两船之间是否存在碰撞风险,并在存在碰撞风险时发出船舶碰撞报警信息。

[0085] 具体的,所述步骤S4具体包括:

[0086] 根据单船的三维领域模型建立单船的动界模型;

[0087] 根据各船的实时船舶数据判断出各船之间的的交通态势;

[0088] 当任意两船均在航道中正常航行时,根据两船之间的最小会遇距离和最小会遇时间判断两船是否存在碰撞风险,并在存在碰撞风险时发出船舶碰撞报警信息;

[0089] 当任意两船中有一船舶不在航道中正常航行时,判断两船的三维领域模型或动界模型是否发生重叠,并在发生重叠时,根据两船之间的最小会遇距离、最小会遇时间以及两船之间的交通态势判断两船是否存在碰撞风险,并在存在碰撞风险时发出船舶碰撞报警信息。

[0090] 换而言之,本发明实施例首先针对船舶所在的航行水域,判断船舶是否在进出港航道中正常航行,若两船均在航道中正常航行,根据两船的(最小会遇距离)DCPA和(最小会遇时间)TCPA判断两船是否存在碰撞危险,在其他情况下,判断船舶领域/船舶动界是否重叠,当有重叠时,判断船舶相互间的交通态势,跟踪计算两船的DCPA和TCPA,利用船舶DCPA和TCPA低于预设安全值即预示可能发生碰撞的原理,对船舶间的碰撞风险进行实时预警。其中,所述动界模型为长轴长和短轴长均为船舶领域模型的两倍的椭圆模型,其具体的模型示意图如图6所示。

[0091] 具体来说,动界表示船舶驾驶员开始采取避让行动以避免形成碰撞紧迫局面时与他船的距离范围。换而言之,只有当船舶的动界受到侵犯时,船舶驾驶员才会考虑采取避让行动,其他情况表示船舶行驶在安全水域内。本发明中,动界模型的范围为船舶领域模型的两倍,故可将目标船舶领域变量参数(a和b)自动放大2倍,计算时变成2a、2b,A点和C点的坐标也换成A1(0,2a)和C1(2b,0),此时的模型即为船舶动界领域。故相应的,动界方程为:

$$[0092] \quad \frac{y^2}{4a^2} + \frac{x^2}{4b^2} = 1(a > b > 0)$$

[0093] 其中,A1点是船舶动界与Y轴正方向交点,坐标(0,2a);B1点是船舶动界与Y轴负方向交点,坐标(0,-2a);C1点是船舶动界与X轴正方向交点,坐标(2b,0);D1点是船舶动界与X轴负方向交点,坐标(-2b,0)。

[0094] 进一步的实施例中,在建立了动界模型后,需要得出各船之间的交通态势,以实现后续的碰撞风险判断,具体的,如图7所示,其为船舶间交通态势图,各船之间的交通态势具有三种方式,包括追越局面、对遇局面和交叉对遇局面。本发明实施例以船首向来判断两船间的交通态势,其中,船首向是指船舶航行时船头所在的方向。假设船舶1的船首向为Course₁,船舶2的船首向为Course₂,则两船船首向夹角(船首向差)a计算式:

$$[0095] \quad a = |\text{Course}_1 - \text{Course}_2|。$$

[0096] 通过两船船首向夹角a即可判断出船舶间的交通态势,具体的,当一船从他船的正

横后大于22.5度的方向上驶向他船时,则认为本船是处于追越态势中。即当 $0^\circ \leq a < 67.5^\circ$ 或 $292.5^\circ < a < 360^\circ$ 时,两船处于追越态势;当两艘船舶在相反或接近相反的航向上对遇导致可能发生碰撞危险,说明船舶处于对遇局面。本发明所指的航向通常是指船舶的船首向,而不是船舶的航迹向。航向相反是指两船的航向相差180度,船舶在航行中,由于操舵不稳和外力的作用,船首向会在一定角度范围内摇摆。因此本发明将“航向接近相反”定义为两船船首向的夹角为 6° 左右。即当 $174^\circ \leq a \leq 186^\circ$ 时,两船处于对遇局面;当船首向交叉大于 6° 舷角,但小于 112.5° 舷角,表示两艘船舶处于交叉对遇。即当 $67.5^\circ \leq a < 174^\circ$ 或 $186^\circ < a \leq 292.5^\circ$ 时,两船处于交叉相遇局面。

[0097] 进一步来说,在得到了各船之间的交通态势后,即可通过计算出最小会遇距离和最小会遇时间来判断碰撞风险。其中,船舶最小会遇距离(DCPA)是指两艘船舶均保向保速,两船距离最近时的船间距,从当前位置到距离最近时经过的时间就是最小会遇时间(TCPA)。如果DCPA为0,则表示两船重心将在会遇点重合。故在进行DCPA和TCPA的计算时,如图8所示,其为船舶会遇示意图,设本船位置位于O点,本船航速和航向设为 V_0 和 C_0 ,目标船位于B点,船速和航向分别 V_t 和 C_t ,方位为舷角 q ,两船间距离为D。通过对雷达标绘图进行分析计算,得到目标船相对于本船的速度 V_r 和航向 C_r 为:

$$[0098] \quad V_r = \sqrt{V_0^2 + V_t^2 - 2V_0V_t \cos(C_0 - C_t)}$$

[0099] 在三角形ABC中,运用三角函数的知识得到:

$$[0100] \quad V_r \times \sin C_r = V_t \times \sin(C_0 - C_t)$$

$$[0101] \quad V_r \times \cos C_r = V_0 - V_t \times \cos(C_0 - C_t)$$

[0102] 设船速比 $k = V_t/V_0$, $\Delta H = C_0 - C_t$,得函数:

$$[0103] \quad \tan C_r = \frac{k \times \sin \Delta H}{1 - k \times \cos \Delta H}$$

[0104] 由于 C_r 取值为 $0^\circ - 180^\circ$,因此 C_r 为:

$$[0105] \quad C_r = \cos^{-1} \frac{1 - k \times \cos \Delta H}{\sqrt{1 - 2k \times \cos \Delta H + k^2}} = F(k, \Delta H)$$

[0106] 此时,船舶最小会遇距离和最小会遇时间分别为:

$$[0107] \quad DCPA = D \times \sin(C_r - q)$$

$$[0108] \quad TCPA = D \times \cos(C_r - q) \div V_r$$

[0109] 基于上述交通态势判断方法和船舶最小会遇距离和最小会遇时间计算方法,可根据船舶是否在航道内行驶来进行碰撞风险的预警。具体判断方法如下:

[0110] 一、当船舶航行在航道外时,首先判断两船件的动界模型是否重叠,如图9所示,当两船的动界模型发生重叠时,根据交通态势判断风险,具体如下:

[0111] 第一种情况:两船处于交叉会遇或对遇局面,即 $67.5^\circ \leq a \leq 292.5^\circ$ 。计算两船的DCPA和TCPA,如果其 $DCPA < (LOA_1 + LOA_2)$, $TCPA < 3$ 分钟,则发出报警,否则不发出报警。其中,船舶安全最近会遇距离为两船船长之和,船舶最小安全会遇时间为3min。当船舶动界重叠消失、 $DCPA \geq (LOA_1 + LOA_2)$ 或者 $TCPA \geq 3$ 分钟时,报警消失。

[0112] 第二种情况:当两船处于追越态势时,即 $0^\circ \leq a < 67.5^\circ$ 或 $292.5^\circ < a < 360^\circ$ 。在船舶领域发生重叠之前,系统不报警,也不计算其DCPA和TCPA。当两船船舶领域发生了重叠,

系统自动计算两船的DCPA和TCPA,如果其 $DCPA < (LOA_1 + LOA_2) \times 0.5$,且 $TCPA < 3$ 分钟,则系统发出报警,否则不发出报警。其中,为避免船吸直接产生作用,取0.5倍的两船之和作为船舶最近安全会遇距离。当船舶领域重叠消失、 $DCPA \geq (LOA_1 + LOA_2) \times 0.5$ 或者 $TCPA \geq 3$ min时,报警消失。

[0113] 二、当两船均在航道内正常航行时,根据两船间的DCPA和TCPA判断两船是否存在碰撞危险,DCPA的安全阈值设置为两船船宽之和,TCPA的安全阈值设置为3分钟。

[0114] 其中,船舶是否在航道内正常行驶的判断方式如下:

[0115] 如图10所示,建立水平面的直角坐标系,设航道方程为:
$$\begin{cases} y_1 = k_1x + b_1 \\ y_2 = k_1x + b_2 \end{cases} (b_1 > b_2)$$
,船舶中心位置坐标为 (x_0, y_0) ,船舶航迹向方程为: $y_0 = k_0x + b_0$,则有:

[0116] 当 $k_1x_0 + b_2 < y_0 < k_1x_0 + b_1$ 且 $|\arctan k_0 - \arctan k_1| \leq 10^\circ$ 时,说明船舶正常航行在航道内;

[0117] 当 $y_0 < k_1x_0 + b_2$ 或 $y_0 > k_1x_0 + b_1$ 或 $|\arctan k_0 - \arctan k_1| > 10^\circ$,则说明船舶航行在航道之外,或仅仅只是穿越航道。

[0118] S5、基于船舶垂直领域模型和实时水深构建水深判定模型,根据所述水深判定模型判断船舶在船舶动界领域范围内是否存在搁浅风险,并在存在搁浅风险时发出船舶搁浅报警信息。

[0119] 具体实施时,所述步骤S5具体包括:

[0120] 根据动界模型确定搜索区域;

[0121] 根据三维领域模型和所述搜索区域内的海底实际水深确定搜索区域内是否存在碍航区,当不存在碍航区时,判断船舶没有搁浅风险;

[0122] 当存在碍航区时,根据船舶的航向判断船舶是否行驶在航道中;

[0123] 当船舶行驶在航道内时,根据航道的水深和船舶领域模型判断船舶是否存在搁浅风险,并在存在搁浅风险时发出船舶搁浅报警信息;

[0124] 当船舶行驶在航道外时,判断3倍的三维领域模型与所述碍航区是否有重叠,并在有重叠且重叠时间大于预设时间时,发出船舶搁浅报警信息。

[0125] 具体来说,本发明选取2倍的动界模型作为搁浅预警模型中的搜索区域,以船舶领域模型中的船舶领域的水面下深度作为船舶航行时的最小安全水深 c ,根据电子海图的水深值和潮汐的预报实时计算船舶航行水域的实际水深值 c_m ,通过比较船舶的最小安全水深 c 和海底实际水深 c_m ,来确定是否存在碍航区,具体实施时,若船舶最小安全水深大于实际水深值,则说明搜索区域内存在碍航区。若最小安全水深小于检索区域的所有实际水深,则说明船舶不存在搁浅风险,无需报警。

[0126] 当搜索区域存在碍航区时,首先判断船舶是否正常航行在进出港航道之中,从而将报警模型分为航道内和航道外两种情况;

[0127] 当船舶正常航行在航道之中,若航道水深大于船舶最小安全水深,此时系统不发出报警信息;

[0128] 当船舶航行在航道之外,此时判断3倍船舶领域模型与碍航区是否有重叠:当发生重叠,且重叠时间大于1分钟(为避免误报警),说明船舶存在搁浅危险,系统发出搁浅报警信息;否则系统不发出报警。本发明将重叠时间作为船舶搁浅报警的预设条件,是因为当船

船正在采取正常的转向操纵时,动界范围可能与碍航区发生重叠,此时船舶是不存在搁浅风险的。

[0129] 具体实施时,如图11所示,建立水平直角坐标系,首先判断船舶是否正常行驶在航道内,行驶在航道内的船舶一般不会发生搁浅危险;当船舶行驶在航道外时,再根据水深判定模型判断船舶是否存在潜在的搁浅危险,当 $c > c_{\text{min}}$ 时,说明船舶可能存在搁浅危险。此时在坐标系中根据船舶航行建立船舶动界和碍航区的动态方程:

$$[0130] \quad \frac{y^2}{9a^2} + \frac{x^2}{9b^2} = 1(a > b > 0) \quad (y - y_0)^2 + x^2 = R^2.$$

[0131] 为了方便计算,本发明将碍航区看成近似圆形,当两方程有公共解时,说明船舶动界和碍航区有重叠,此时系统自动计算重叠时间 t ,当 $t > 1\text{min}$ 时,系统发出搁浅报警信息。

[0132] S6、根据所述船舶碰撞报警信息和船舶搁浅报警信息,采用预设的危险度等级排序模型计算出存在风险的船舶的危险度,并根据计算出的危险度对各个存在风险的船舶进行危险度排序。

[0133] 本实施例中,为定量分析船舶的危险度,本发明预设危险度等级排序模型,危险度等级排序模型是运用层次分析法,计算船舶类型、周边船舶密度、船舶操纵性能在船舶危险度中所占的权重,将得到的权重大小和危险度进行加权计算,最后通过得到的量化数据对报警船舶的危险度进行排序的模型。其具体的建立过程如下:

[0134] (1) 建立层次结构模型

[0135] 通过深入分析船舶危险度影响因素,将有关的各个因素不同的属性自上而下的分解为若干层次,最上层为目标层A,中间为准则层B,当准则层过多时,进一步分解出子准则层C,本发明有两个准则层。

[0136] 综合评价指标体系如下表所示:

目标层	一级指标	二级指标
[0137] 船舶危险度	船舶类型 B ₁	危险品船舶 C ₁₁
		客轮 C ₁₂
		其他类型船舶 C ₁₃
	船舶密度 B ₂	低 C ₂₁
		中 C ₂₂
		高 C ₂₃
	船舶特性时间 B ₃	短 C ₃₁
		较短 C ₃₂
		中等 C ₃₃
		较长 C ₃₄
		长 C ₃₅

[0138] (2) 构造成对比较阵

[0139] 从第二层开始,通过专家咨询对船舶危险度影响因素用1—9的比较尺度来构建成对比较矩阵,进行综合评价。

[0140] 对比较矩阵如下:

$$[0141] \quad A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 4 \\ 1/3 & 1 & 2 \\ 1/4 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \quad A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 5 \\ 1/2 & 1 & 2 \\ 1/5 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \quad A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/8 \\ 3 & 1 & 1/3 \\ 8 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[0142] \quad A_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 1/4 & 1/6 & 1/7 \\ 2 & 1 & 1/2 & 1/4 & 1/5 \\ 4 & 2 & 1 & 1/2 & 1/3 \\ 6 & 4 & 2 & 1 & 1/2 \\ 7 & 5 & 3 & 2 & 1 \end{bmatrix}。$$

[0143] (3) 对成对比较矩阵进行一致性检验并求出权向量

[0144] 求出每个成对比较矩阵的最大特征根和对应的特征向量,利用最大特征根进行一致性检验,当检验通过,将特征向量归一化后就是所求得得权向量;当不通过时,说明成对比较矩阵的构建不恰当,需要重新建立新的成对比较矩阵。

[0145] 在一个实施例中,得到的权向量和一致性检验的结果如下:

[0146] 第一个准则层对目标层的权向量如下:

[0147] $w^2 = (0.625, 0.2385, 0.1365)$

[0148] 子准则层对B1、B2和B3的权向量分别为：

[0149] $w^{31} = (0.5954, 0.2764, 0.1283)$

[0150] $w^{32} = (0.0819, 0.2363, 0.6817)$

[0151] $w^{33} = (0.0470, 0.1091, 0.1209, 0.2843, 0.4387)$

[0152] 由于 $n=3$ 时的随机一致性指标 $RI=0.58$ ， $n=5$ 时的随机一致性指标 $RI=1.12$ ，通

$$CR_1 = 0.0176$$

$$CR_2 = 0.0053$$

过一致性比率式 $CR = \frac{CI}{RI}$ ，对成对比较矩阵进行一致性检验，计算得到：

$$CR_3 = 0.0015$$

$$CR_4 = 0.0596$$

[0153] 计算结果均小于0.1，通过了一致性的检验。计算得到子准则层各个因素所占权重为：

[0154] a_1 (危险品船舶) = 0.3721

[0155] a_2 (客船) = 0.1727

[0156] a_3 (其他类型船舶) = 0.0802

[0157] b_1 (低密度) = 0.0195

[0158] b_2 (中密度) = 0.0564

[0159] b_3 (高密度) = 0.1626

[0160] c_1 (短) = 0.0064

[0161] c_2 (较短) = 0.0149

[0162] c_3 (中等) = 0.0165

[0163] c_4 (较长) = 0.0388

[0164] c_5 (长) = 0.1626

[0165] 然后针对于目标船舶的船舶类型、周边船舶密度及船舶特性时间等情况，将它与前面算得的初始危险度进行加权计算，得出每个目标船舶的实时危险度：

[0166] $E_2 = (a+b+c)E_1$ ，

[0167] 其中， E_2 为实时危险度， E_1 为初始危险度， a 为为船舶类型权重， b 为周边船舶密度的权重， c 为船舶特性时间的权重，通过比较各目标船舶实时危险度的量化值，即可判断各危险船舶的风险等级，为VTS值班员优先处置最危险局面提供决策支撑。

[0168] 基于上述适用于VTS系统的船舶预警方法，本发明还相应的提供一种适用于VTS系统的船舶预警设备，包括：处理器和存储器；

[0169] 所述存储器上存储有可被所述处理器执行的计算机可读程序；

[0170] 所述处理器执行所述计算机可读程序时实现如上述各实施例所述的适用于VTS系统的船舶预警方法中的步骤。

[0171] 由于上文已对适用于VTS系统的船舶预警方法进行详细描述，在此不再赘述。

[0172] 基于上述适用于VTS系统的船舶预警方法，本发明还相应的提供一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质存储有一个或者多个程序，所述一个或者多个程序可被一个或者多个处理器执行，以实现如上述各实施例所述的适用于VTS系统的船舶预警方法中的步骤。

[0173] 由于上文已对适用于VTS系统的船舶预警方法进行详细描述，在此不再赘述。

[0174] 综上所述,本发明提供的适用于VTS系统的船舶预警方法、设备及存储介质,运用BP神经网络模型构建一种动态自适应的三维领域模型,在考虑最小会遇距离、最小会遇时间等参数的基础上设计并建立了基于三维船舶领域的船舶碰撞风险预警方法和搁浅风险预警方法,而且,引入船舶危险度排序模型,从而可在多船同时出现报警情形时辅助VTS值班员判断最紧迫局面,并为其提供决策支持,进而保障港区船舶通航安全,避免了由于VTS报警功能缺乏客观性和科学性而导致的虚警率较高的问题,保证了VTS监管效率与质量。

[0175] 以上所述,仅为本发明较佳的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,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,可轻易想到的变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。

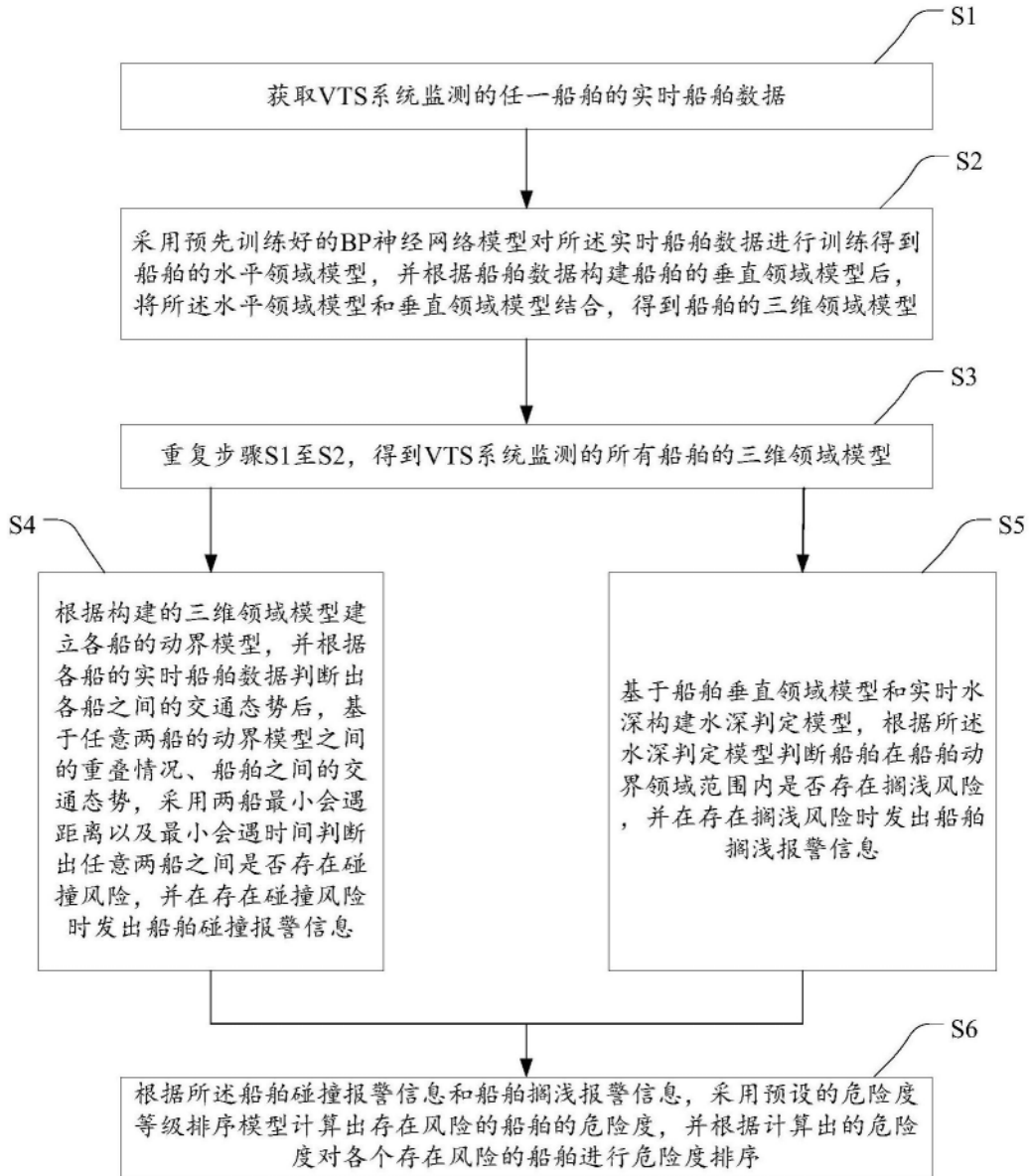


图1

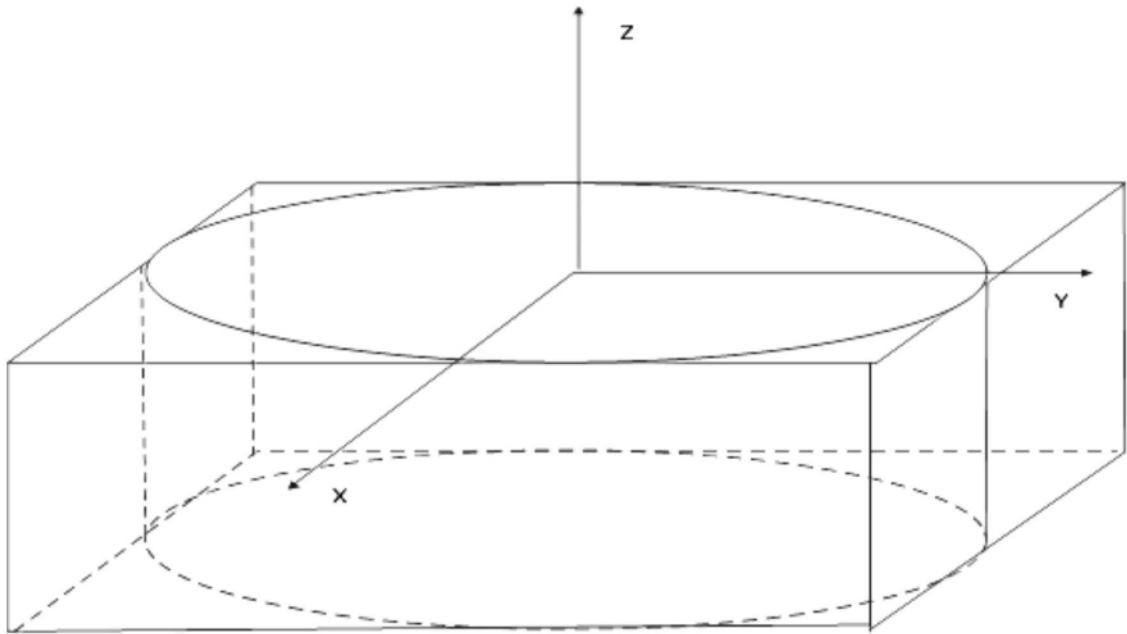


图2

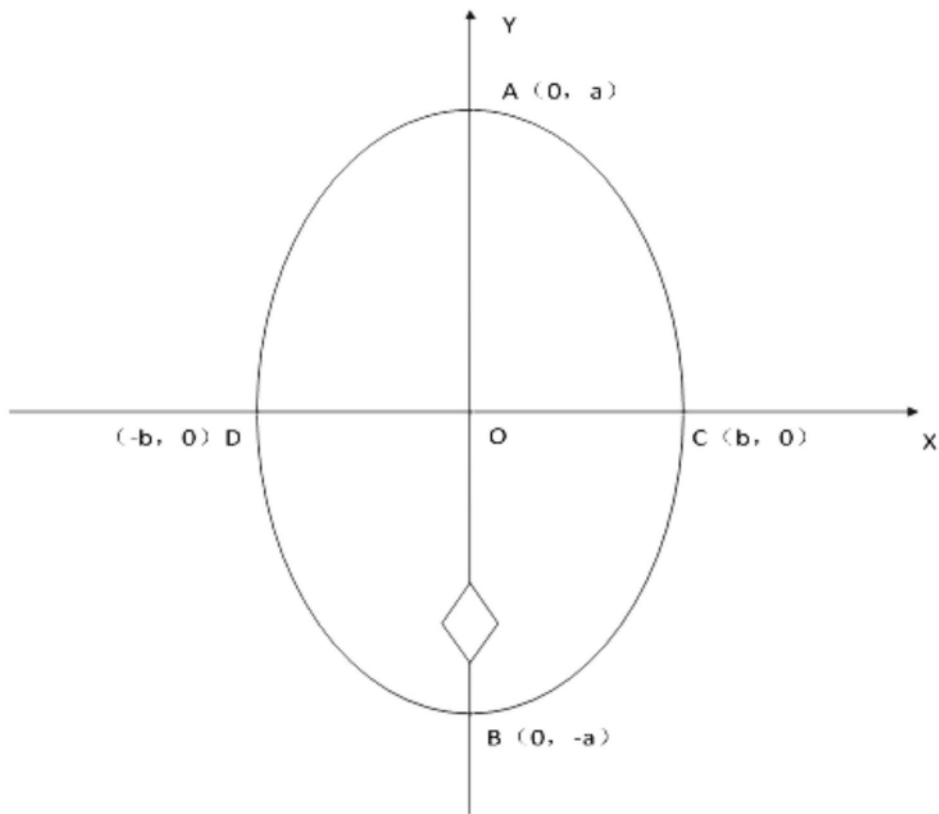


图3

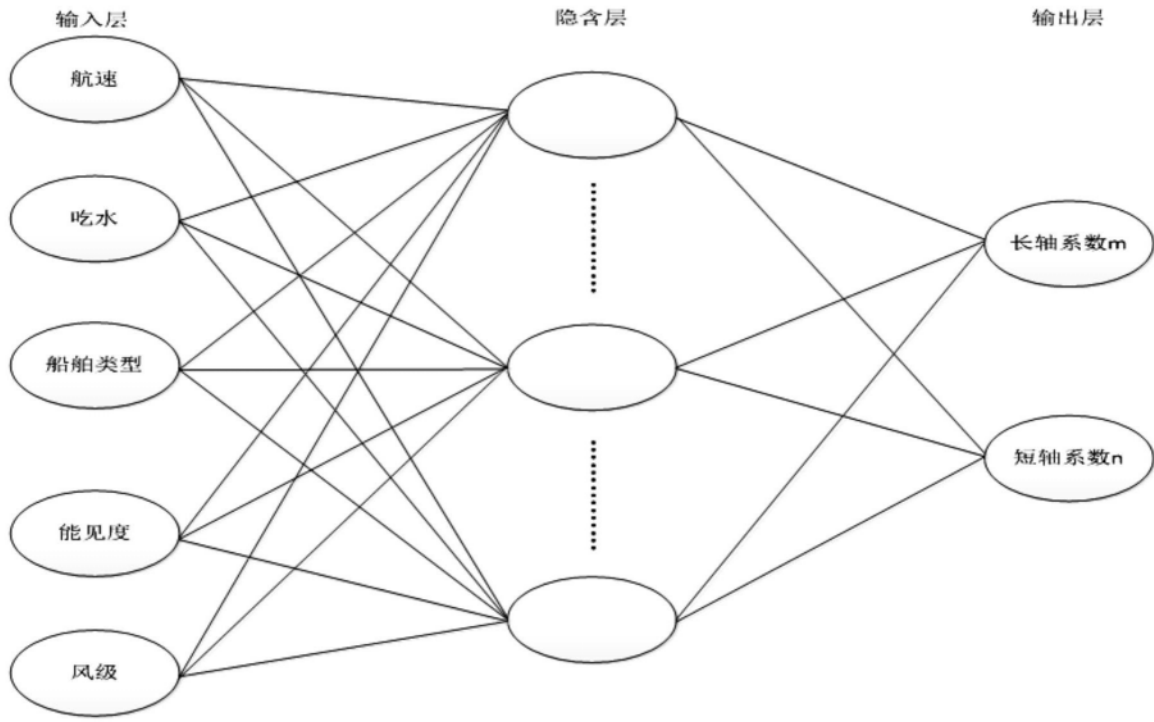


图4

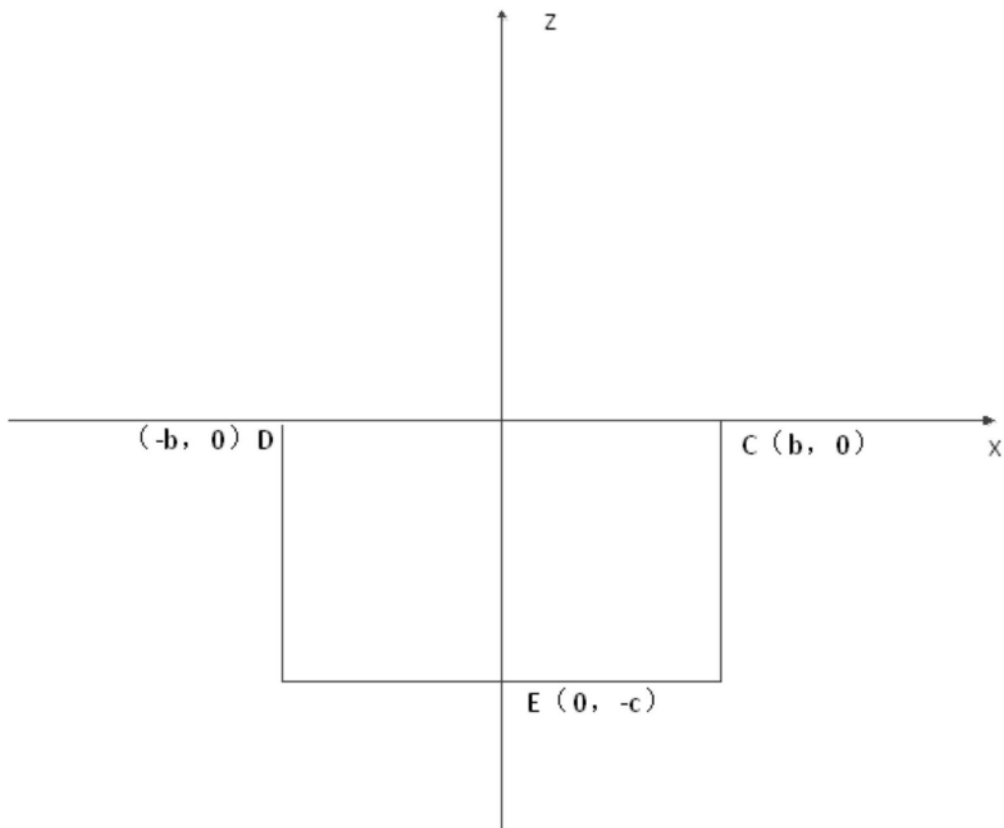


图5

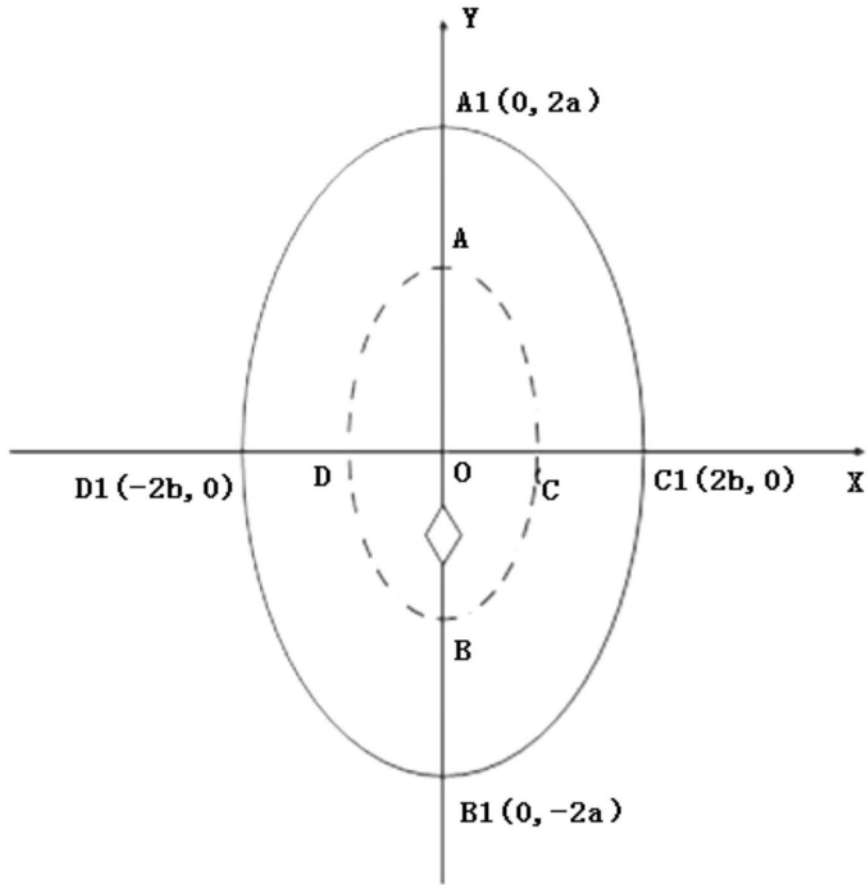


图6

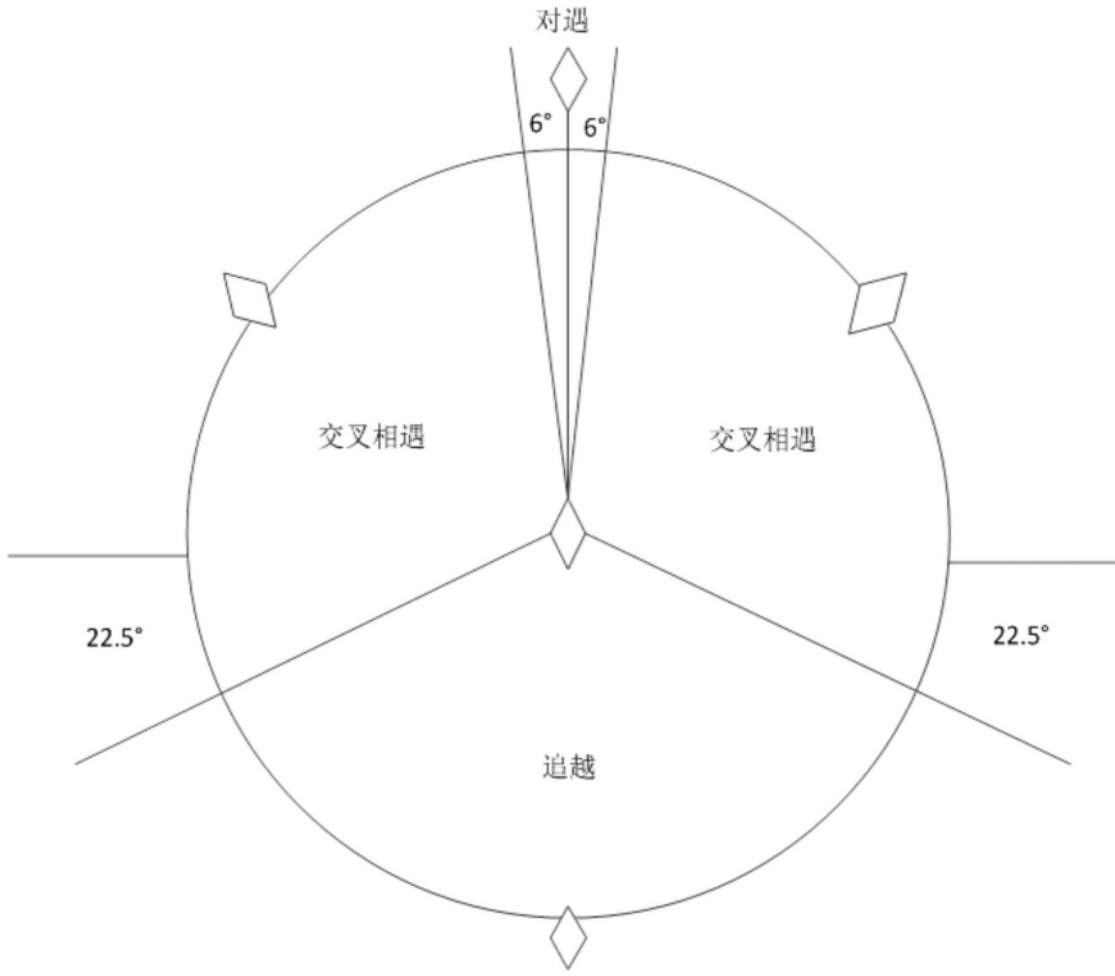


图7

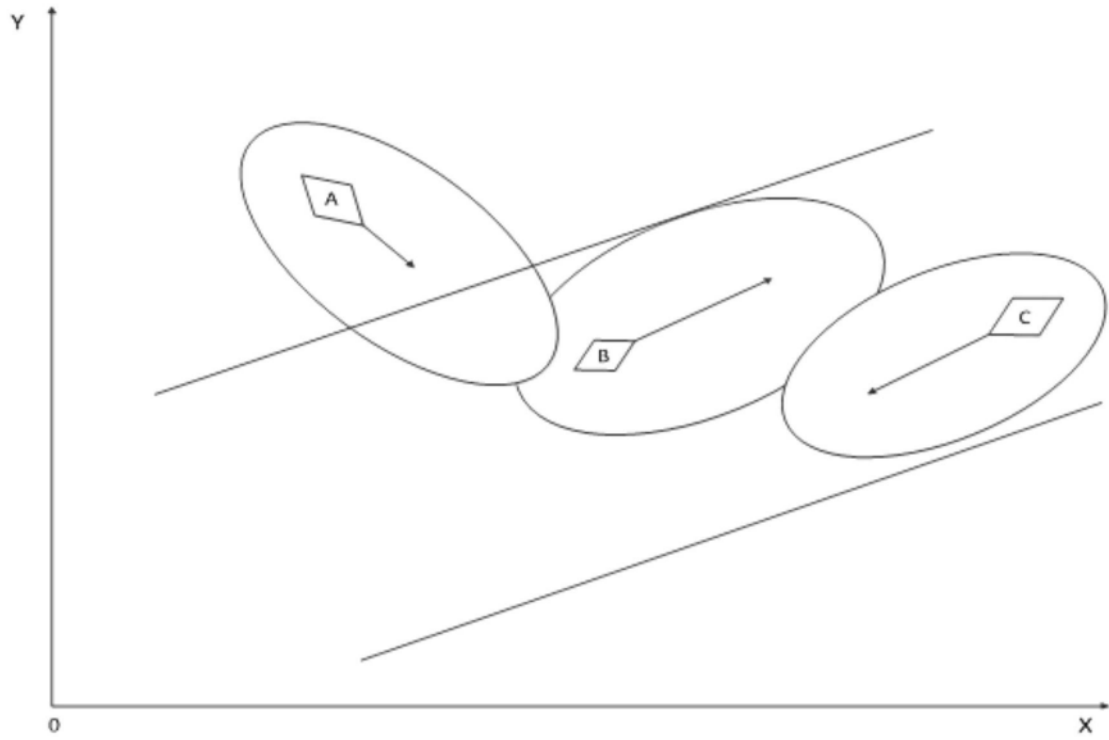


图10

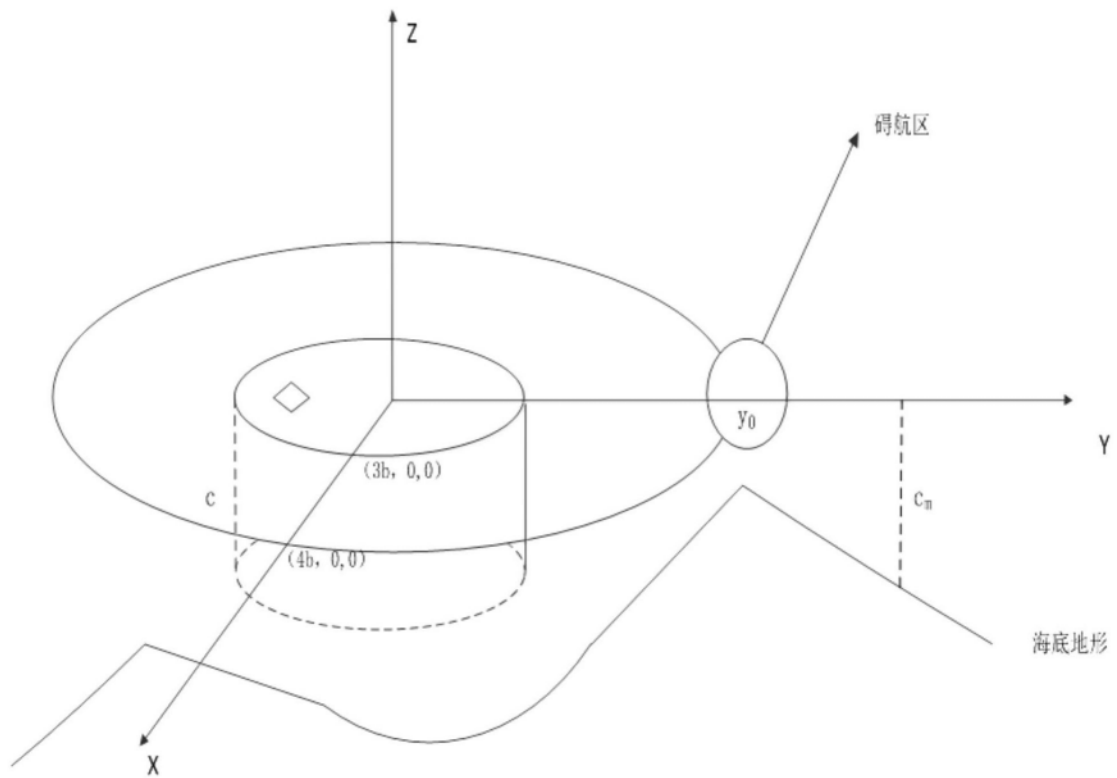


图11