



(10) 授权公告号 CN 115683066 B

(45) 授权公告日 2023. 05. 23

(21) 申请号 202211095342.7

B63B 71/20 (2020.01)

(22) 申请日 2022.09.06

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 107702886 A, 2018.02.16

申请公布号 CN 115683066 A

JP 2009121855 A, 2009.06.04

(43) 申请公布日 2023.02.03

金仲佳, 刘胜, 吴宝山, 邱承昌, 魏纳新. 拖曳水池船模阻力校准技术研究. 中国造船. 2015,

(73) 专利权人 江苏科技大学

(03), 全文.

地址 212008 江苏省镇江市梦溪路2号

审查员 董亚方

(72) 发明人 施奇 林高懂 朱仁庆 谢仪  
陈凯

(74) 专利代理机构 南京正联知识产权代理有限公司 32243

专利代理师 卢霞

(51) Int. Cl.

G01C 15/00 (2006.01)

G01M 10/00 (2006.01)

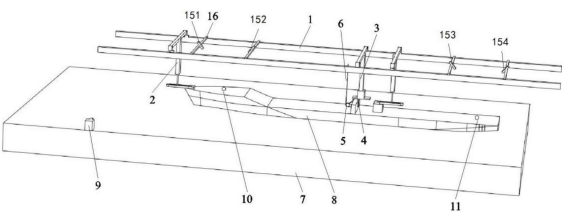
权利要求书2页 说明书8页 附图6页

(54) 发明名称

拖曳船模的非接触式姿态测定装置及方法

(57) 摘要

本发明提供一种拖曳船模的非接触式姿态测定装置及方法, 该装置包括拖曳框架、导航机构和拖曳支架, 还包括非接触式测量机构和试验水池, 试验水池内设有试验模型, 拖曳框架通过柔性钢丝线连接试验模型, 非接触式测量机构包括激光触发器、艏部红外光源发射器、艉部红外光源发射器、第一无线通信模块、第二无线通信模块、控制器和红外相机; 本发明能够通过非接触的方式, 能够实现精确可靠测量, 同时便于布置、测量方便、经济适用, 能够高准确度地实现测量自由模态船模的纵倾和升沉。



1. 一种拖曳船模的非接触式姿态测定方法,其特征在于:

所述的方法采用拖曳船模的非接触式姿态测定装置,所述的装置,包括拖曳框架、导航机构和拖曳支架,拖曳框架分别设有用于导向试验模型的导航机构和用于拖动试验模型的拖曳支架,拖曳支架的端部设有夹紧装置,其特征在于:还包括非接触式测量机构和试验水池,试验水池内设有试验模型,拖曳框架通过柔性钢丝线连接试验模型,非接触式测量机构包括激光触发器、艏部红外光源发射器、艉部红外光源发射器、第一无线通信模块、第二无线通信模块、控制器和红外相机组,激光触发器设于试验水池的侧壁,激光触发器连接第一无线通信模块,艏部红外光源发射器、艉部红外光源发射器分别设于试验模型的艏部和艉部中纵剖面上,第二无线通信模块连接控制器,控制器连接用于获取艏部红外光源发射器与艉部红外光源发射器的图像的红外相机组,红外相机组设于拖曳框架上;

所述的方法包括以下步骤,

步骤一:测量艏部红外光源发射器与艉部红外光源发射器的相对水平距离A、相对垂直距离B;在试验模型正浮且被夹紧装置夹紧时刻,即初始时刻时,测量艏部红外光源发射器分别到艏部第一红外相机、艏部第二红外相机的直线距离 $n_1$ 、 $n_2$ ,直线距离 $n_1$ 、 $n_2$ 与铅垂线的夹角 $j_1$ 、 $j_2$ ;

步骤二:试验模型在正浮且被夹紧的状态下被拖曳支架拖动,在拖曳支架进入匀速运动后夹紧装置打开,此时试验模型仅由绕过定滑轮的柔性钢丝线提供向前的拖曳力,导航机构约束试验模型的艏摇、横荡、横摇三个自由度,实现拖曳船模开放纵倾、纵荡、垂荡三个自由度的自由模态运动,然后试验模型进入其匀速稳态运动阶段;

步骤三:试验模型匀速通过激光触发器时即匀速时刻,激光触发器通过第一无线通信模块、第二无线通信模块发送信号给控制器,控制器控制红外相机组对试验模型进行拍照,记录匀速时刻艏部红外光源发射器在图像上的位置;

步骤四:根据步骤一与步骤三两个纪录时刻红外光点在图像上的位置变化,获得由初始时刻到匀速时刻,艏部红外光源发射器相对艏部第一红外相机、艏部第二红外相机的角位移 $i_1$ 、 $i_2$ ,进而计算出艏部红外光源发射器的横向、垂向位置变化 $dx_1$ 、 $dy_1$ ;

步骤五:通过步骤一至步骤四,同理对艉部第一红外相机和艉部第二红外相机执行同样的操作,得到艉部红外光源发射器的横向、垂向位置变化 $dx_2$ 、 $dy_2$ ;

步骤六:根据步骤四与步骤五得到的艏部红外光源发射器的横向、垂向位置变化 $dx_1$ 、 $dy_1$ ,以及艉部红外光源发射器的横向、垂向位置变化 $dx_2$ 、 $dy_2$ ,计算出试验模型的纵倾角 $\theta$ 、艏部升沉值 $\delta_1$ 、艉部升沉值 $\delta_2$ 、总体升沉值 $\delta_0$ 。

2. 根据权利要求1所述的拖曳船模的非接触式姿态测定方法,其特征在于:所述拖曳船模的非接触式姿态测定装置中,激光触发器设于试验模型的前进方向且匀速运动段对应的试验水池的侧壁上。

3. 根据权利要求1所述的拖曳船模的非接触式姿态测定方法,其特征在于:所述拖曳船模的非接触式姿态测定装置中,在试验模型通过激光触发器时,激光触发器通过第一无线通信模块、第二无线通信模块发送信号给控制器,控制器控制红外相机组对试验模型进行拍照获得,获取艏部红外光源发射器、艉部红外光源发射器在图像中位置信息。

4. 根据权利要求1所述的拖曳船模的非接触式姿态测定方法,其特征在于:所述拖曳船模的非接触式姿态测定装置中,红外相机组包括艏部第一红外相机、艏部第二红外相机、艉

部第一红外相机和艏部第二红外相机,艏部第一红外相机、艏部第二红外相机、艏部第一红外相机和艏部第二红外相机分别依次间隔设于试验模型的中纵剖面上。

5. 根据权利要求1所述的拖曳船模的非接触式姿态测定方法,其特征在于:所述拖曳船模的非接触式姿态测定装置中,还包括转向件,转向件包括定滑轮和用于调节定滑轮垂向高度的丝杆升降机构,定滑轮通过丝杆升降机构连接夹紧装置,柔性钢丝线的一端连接拖曳框架,柔性钢丝线的另一端绕过定滑轮且水平连接试验模型中纵剖面一点上。

6. 根据权利要求1所述的拖曳船模的非接触式姿态测定方法,其特征在于:所述拖曳船模的非接触式姿态测定装置中,试验模型的艏部和中部分别设有导航机构,导航机构包括导航支架、导航杆、导航用丝杆升降机构和导航板,拖曳框架设有导航支架,导航杆通过导航用丝杆升降机构连接导航支架的端部,导航板设有用于导航杆穿入的导航孔,导航板连接试验模型的艏部或中部,且导航板连接试验模型的中纵剖面上。

7. 根据权利要求1所述的拖曳船模的非接触式姿态测定方法,其特征在于:步骤四中,计算出艏部红外光源发射器的横向、垂向位置变化 $dx_1$ 、 $dy_1$ ,是通过求解如下方程得到:

$$dy_1 - n_1 \cos j_1 = \tan(90^\circ - j_1 - i_1) (dx_1 - n_1 \sin j_1)$$

$$dy_1 - n_2 \cos j_2 = \tan(90^\circ - j_2 + i_2) (dx_1 - n_2 \sin j_2)$$

其中, $n_1$ 、 $n_2$ 分别为初始时刻船艏红外光源发射器到艏部第一红外相机、艏部第二红外相机的直线距离, $j_1$ 、 $j_2$ 分别为初始时刻船艏红外光源发射器到艏部第一红外相机的连线、艏部第二红外相机的连线与铅垂线的夹角, $i_1$ 、 $i_2$ 分别为初始时刻到匀速时刻艏部红外光源发射器相对艏部第一红外相机、艏部第二红外相机的角位移。

8. 根据权利要求1所述的拖曳船模的非接触式姿态测定方法,其特征在于:步骤六中,计算出试验模型的纵倾角 $\theta$ ,具体为,

$$\theta = \tan^{-1} \frac{B}{A} - \tan^{-1} \frac{B + dy_1 - dy_2}{A + dx_1 - dx_2}$$

其中,A为初始时刻艏部红外光源发射器与艏部红外光源发射器的相对水平距离,B为初始时刻艏部红外光源发射器与艏部红外光源发射器的相对垂直距离, $dx_1$ 、 $dy_1$ 分别为艏部红外光源发射器的横向、垂向位置变化, $dx_2$ 、 $dy_2$ 分别为艏部红外光源发射器的横向、垂向位置变化。

9. 如权利要求根据权利要求1或8所述的拖曳船模的非接触式姿态测定方法,其特征在于:步骤六中,以试验模型的艏柱和水线面的交点为基准,计算艏部升沉值 $\delta_1$ 、艏部升沉值 $\delta_2$ 、总体升沉值 $\delta_0$ ,具体为,

$$\delta_1 = L_1 \cos k_1 - L_1 \cos(k_1 - \theta) + dy_1$$

$$\delta_2 = L_2 \cos k_2 - L_2 \cos(k_2 + \theta) + dy_2$$

$$\delta_0 = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2}$$

其中, $\theta$ 为试验模型的纵倾角, $L_1$ 为艏部红外光源发射器到艏柱点的距离, $k_1$ 为艏部红外光源发射器到艏柱点连线与铅垂线的夹角, $L_2$ 为艏部红外光源发射器到艏柱点的距离, $k_2$ 为艏部红外光源发射器到艏柱点连线与铅垂线的夹角, $dy_1$ 、 $dy_2$ 分别为试验模型的艏部、艏部红外光源垂向位置变化。

## 拖曳船模的非接触式姿态测定装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种拖曳船模的非接触式姿态测定装置及方法,属于船模试验技术领域。

### 背景技术

[0002] 在拖曳水池开展的船模拖曳试验是船舶试验技术领域中研究船舶航行性能的一种常规方法。目前在拖曳水池测量船模航行姿态的设备主要有以下几种:

[0003] 第一种是专用设备四自由度适航仪,由于其拖带船模的方式与传统拖车不同,所以仅适用于高速、航态变化较大的船型,除价格昂贵外,对原有拖车加装此设备也需要考量其空间容量和电器布置。

[0004] 第二种是无接触的六自由度测量系统,其接收设备安装不便,对震动敏感,要求空间无遮挡不适合拖车环境,且价格过于昂贵。

[0005] 第三种传统的杆式位移传感器,其自重较大约束了船模的升沉运动,且无法克服船模自由模态运动时测点在空间上呈一弧线运动的问题,其测量杆也会因为其自重较大导致摩擦力较大,进而使杆体弯曲,故无法精确地测量位移。

[0006] 第四种,中国专利CN201610528811.8,公开了一种船模阻力及姿态测量装置及测量方法,通过使用带电位计的拉线式装置来测量船模的升沉和纵倾角。但该方案存在如下问题:(1)其拉线的一段需要固定在模型上,另一端在拖曳架上,本质上是一种接触式方法,会对船模的航行姿态产生影响。(2)其拉线方法是一种测量船模固定点对拖曳架固定点距离的方法,而船模在初始状态和自由模态匀速运动状态时其相对拖曳架的纵向位置会发生变化。造成此方法存在和传统的杆式位移传感器同样的局限性,即测点在前后测量时刻的空间位置不在同一垂线上,存在系统误差。

[0007] 因此,亟需一种便于布置、精确可靠、测量方便、经济适用的拖曳船模姿态测定系统。上述问题是在船模的姿态测定过程中应当予以考虑并解决的问题。

### 发明内容

[0008] 本发明的目的是提供一种拖曳船模的非接触式姿态测定装置及方法解决现有技术中存在的测量精确度较低、误差较大、安装不便的问题。

[0009] 本发明的技术解决方案是:

[0010] 一种拖曳船模的非接触式姿态测定装置,包括拖曳框架、导航机构和拖曳支架,拖曳框架分别设有用于导向试验模型的导航机构和用于拖动试验模型的拖曳支架,拖曳支架的端部设有夹紧装置,还包括非接触式测量机构和试验水池,试验水池内设有试验模型,拖曳框架通过柔性钢丝线连接试验模型,非接触式测量机构包括激光触发器、艏部红外光源发射器、艉部红外光源发射器、第一无线通信模块、第二无线通信模块、控制器和红外相机组,激光触发器设于试验水池的侧壁,激光触发器连接第一无线通信模块,艏部红外光源发射器、艉部红外光源发射器分别设于试验模型的艏部和艉部中纵剖面上,第二无线通信模

块连接控制器,控制器连接红外相机组,控制器连接用于获取艏部红外光源发射器与艉部红外光源发射器的图像的红外相机组,红外相机组设于拖曳框架上。

[0011] 进一步地,激光触发器设于试验模型的前进方向且匀速运动段对应的试验水池的侧壁上。

[0012] 进一步地,在试验模型通过激光触发器时,激光触发器通过第一无线通信模块、第二无线通信模块发送信号给控制器,控制器控制红外相机组对试验模型进行拍照,获取艏部红外光源发射器、艉部红外光源发射器在图像中位置信息。

[0013] 进一步地,红外相机组包括艏部第一红外相机、艏部第二红外相机、艉部第一红外相机和艉部第二红外相机,艏部第一红外相机、艏部第二红外相机、艉部第一红外相机和艉部第二红外相机分别依次间隔设于试验模型的中纵剖面上。

[0014] 进一步地,还包括转向件,转向件包括定滑轮和用于调节定滑轮垂向高度的丝杆升降机构,定滑轮通过丝杆升降机构连接夹紧装置,柔性钢丝线的一端连接拖曳框架,柔性钢丝线的另一端绕过定滑轮且水平连接试验模型中纵剖面一点上。

[0015] 进一步地,试验模型的艏部和中部分别设有导航机构,导航机构包括导航支架、导航杆、导航用丝杆升降机构和导航板,拖曳框架设有导航支架,导航杆通过导航用丝杆升降机构连接导航支架的端部,导航板设有用于导航杆穿入的导航孔,导航板连接试验模型的艏部或中部,且导航板连接试验模型的中纵剖面上。

[0016] 一种采用上述任一项所述的拖曳船模的非接触式姿态测定装置的拖曳船模的非接触式姿态测定方法,包括以下步骤,

[0017] 步骤一:测量艏部红外光源发射器与艉部红外光源发射器的相对水平距离 $A$ 、相对垂直距离 $B$ ;在试验模型正浮且被夹紧装置夹紧时刻,即初始时刻时,测量艏部红外光源发射器分别到艏部第一红外相机、艏部第二红外相机的直线距离 $n_1$ 、 $n_2$ ,直线距离 $n_1$ 、 $n_2$ 与铅垂线的夹角 $j_1$ 、 $j_2$ ;

[0018] 步骤二:试验模型在正浮且被夹紧的状态下被拖曳支架拖动,在拖曳支架进入匀速运动后夹紧装置打开,此时试验模型仅由绕过定滑轮的柔性钢丝线提供向前的拖曳力,导航机构约束试验模型的艏摇、横荡、横摇三个自由度,实现拖曳船模开放纵倾、纵荡、垂荡三个自由度的自由模态运动,然后试验模型进入其匀速稳态运动阶段;

[0019] 步骤三:试验模型匀速通过激光触发器时即匀速时刻,激光触发器通过第一无线通信模块、第二无线通信模块发送信号给控制器,控制器控制红外相机组对试验模型进行拍照,记录匀速时刻艏部红外光源发射器在图像上的位置;

[0020] 步骤四:根据步骤一与步骤三两个纪录时刻红外光点在图像上的位置变化,获得由初始时刻到匀速时刻,艏部红外光源发射器相对艏部第一红外相机、艏部第二红外相机的角位移 $i_1$ 、 $i_2$ ,进而计算出艏部红外光源发射器的横向、垂向位置变化 $dx_1$ 、 $dy_1$ ;

[0021] 步骤五:通过步骤一至步骤四,同理对艉部第一红外相机和艉部第二红外相机执行同样的操作,得到艉部红外光源发射器的横向、垂向位置变化 $dx_2$ 、 $dy_2$ ;

[0022] 步骤六:根据步骤四与步骤五得到的艏部红外光源发射器的横向、垂向位置变化 $dx_1$ 、 $dy_1$ ,以及艉部红外光源发射器的横向、垂向位置变化 $dx_2$ 、 $dy_2$ ,计算出试验模型的纵倾角 $\theta$ 、艏部升沉值 $\delta_1$ 、艉部升沉值 $\delta_2$ 、总体升沉值 $\delta_0$ 。

[0023] 进一步地,步骤四中,计算出艏部红外光源发射器的横向、垂向位置变化 $dx_1$ 、 $dy_1$ ,

是通过求解如下方程得到：

$$[0024] \quad dy_1 - n_1 \cos j_1 = \tan(90^\circ - j_1 - i_1) (dx_1 - n_1 \sin j_1)$$

$$[0025] \quad dy_1 - n_2 \cos j_2 = \tan(90^\circ - j_2 + i_2) (dx_1 - n_2 \sin j_2)$$

[0026] 其中,  $n_1$ 、 $n_2$  分别为初始时刻船舶红外光源发射器到艏部第一红外相机、艏部第二红外相机的直线距离,  $j_1$ 、 $j_2$  分别为初始时刻船舶红外光源发射器到艏部第一红外相机的连线、艏部第二红外相机的连线与铅垂线的夹角,  $i_1$ 、 $i_2$  分别为初始时刻到匀速时刻艏部红外光源发射器相对艏部第一红外相机、艏部第二红外相机的角位移。

[0027] 进一步地, 步骤六中, 计算出试验模型的纵倾角  $\theta$ , 具体为,

$$[0028] \quad \theta = \tan^{-1} \frac{B}{A} - \tan^{-1} \frac{B + dy_1 - dy_2}{A + dx_1 - dx_2}$$

[0029] 其中,  $A$  为初始时刻艏部红外光源发射器与艉部红外光源发射器的相对水平距离,  $B$  为初始时刻艏部红外光源发射器与艉部红外光源发射器的相对垂直距离,  $dx_1$ 、 $dy_1$  分别为艏部红外光源发射器的横向、垂向位置变化,  $dx_2$ 、 $dy_2$  分别为艉部红外光源发射器的横向、垂向位置变化。

[0030] 进一步地, 步骤六中, 以试验模型的艏艉柱和水线面的交点为基准, 计算艏部升沉值  $\delta_1$ 、艉部升沉值  $\delta_2$ 、总体升沉值  $\delta_0$ , 具体为,

$$[0031] \quad \delta_1 = L_1 \cos k_1 - L_1 \cos(k_1 - \theta) + dy_1$$

$$[0032] \quad \delta_2 = L_2 \cos k_2 - L_2 \cos(k_2 + \theta) + dy_2$$

$$[0033] \quad \delta_0 = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2}$$

[0034] 其中,  $\theta$  为试验模型的纵倾角,  $L_1$  为艏部红外光源发射器到艏柱点的距离,  $k_1$  为艏部红外光源发射器到艏柱点连线与铅垂线的夹角,  $L_2$  为艉部红外光源发射器到艉柱点的距离,  $k_2$  为艉部红外光源发射器到艉柱点连线与铅垂线的夹角,  $dy_1$ 、 $dy_2$  分别为试验模型的艏部、艉部红外光源垂向位置变化。

[0035] 本发明的有益效果是: 该种拖曳船模的非接触式姿态测定装置及方法, 能够通过非接触的方式, 能够实现精确可靠测量, 同时便于布置、测量方便、经济适用, 能够高准确度地实现测量自由模态船模的纵倾和升沉, 克服了传统方法的理论误差。且整个流程信号的传递和数据的计算易于通过计算机实现自动化结果输出。

## 附图说明

[0036] 图1是本发明实施例拖曳船模的非接触式姿态测定装置的结构示意图;

[0037] 图2是实施例中可调节垂向高度定滑轮的结构示意图;

[0038] 图3是实施例中导航机构的结构示意图;

[0039] 图4是实施例中试验模型艉部红外光源发射器和对应红外相机组的结构示意图;

[0040] 图5是实施例中第一红外相机、定位件与拖曳框架的结构示意图;

[0041] 图6是实施例中非接触式测量机构的说明示意图;

[0042] 图7是实施例中艏部红外光源发射器的横向、垂向位置变化  $dx_1$  和  $dy_1$  的说明示意图;

[0043] 图8是实施例中试验模型中M、S、P、N位置的说明示意图;

- [0044] 图9是实施例中试验模型实际纵倾情况的示意图；
- [0045] 图10是实施例中试验模型经过处理后纵倾角 $\theta$ 的说明示意图；
- [0046] 图11是实施例中试验模型实际艏部升沉值 $\delta_1$ 的示意图；
- [0047] 图12是实施例中试验模型经过处理后艏部升沉值 $\delta_1$ 的说明示意图。
- [0048] 其中：1-拖曳框架，2-导航机构，3-拖曳支架，4-夹紧装置，5-定滑轮，6-柔性钢丝线，7-试验水池，8-试验模型，9-激光触发器，10-艏部红外光源发射器，11-艉部红外光源发射器，12-第一无线通信模块，13-第二无线通信模块，14-控制器，15-红外相机组，16-定位件，17-丝杆升降机构；
- [0049] 21-导航支架，22-导航杆，23-导航板，24-导航孔；
- [0050] 51-手轮，52-丝杆；
- [0051] 151-艏部第一红外相机，152-艏部第二红外相机，153-艉部第一红外相机，154-艉部第二红外相机；
- [0052] 161-L形板，162-定位横杆；
- [0053] S为初始时刻艏部红外光源发射器的位置，S'为试验模型经过激光触发器时艏部红外光源发射器的位置，P为初始时刻艉部红外光源发射器的位置，P'为试验模型经过激光触发器时艉部红外光源发射器的位置，C<sub>1</sub>为艏部第一红外相机的位置，C<sub>2</sub>为艏部第二红外相机的位置，M为初始时刻试验模型的艏柱的位置，M'为试验模型经过激光触发器时刻艏柱的位置，N为初始时刻试验模型的艉柱的位置。

## 具体实施方式

[0054] 下面结合附图详细说明本发明的优选实施例。

[0055] 实施例

[0056] 一种拖曳船模的非接触式姿态测定装置，如图1，包括拖曳框架1、导航机构2和拖曳支架3，拖曳框架1分别设有用于约束试验模型8的导航机构和用于拖动试验模型8的拖曳支架3，拖曳支架3的端部设有夹紧装置4和一定滑轮5，还包括非接触式测量机构和试验水池7，试验水池7内设有试验模型8，拖曳框架1通过柔性钢丝线6连接试验模型8，非接触式测量机构包括激光触发器9、艏部红外光源发射器10、艉部红外光源发射器11、第一无线通信模块12、第二无线通信模块13、控制器14和红外相机组15，激光触发器9设于试验水池7的侧壁，激光触发器9连接第一无线通信模块12，艏部红外光源发射器10、艉部红外光源发射器11分别设于试验模型8的艏部和艉部中纵剖面上，第二无线通信模块13连接控制器14，控制器14连接用于获取艏部红外光源发射器10与艉部红外光源发射器11的图像的红外相机组15，红外相机组15设于拖曳框架1上。

[0057] 该种拖曳船模的非接触式姿态测定装置，能够通过非接触的方式，能够实现精确可靠测量，同时便于布置、测量方便、经济适用，能够高准确度地实现测量自由模态船模的纵倾和升沉。

[0058] 如图1和图2，还包括转向件，转向件包括定滑轮5和用于调节定滑轮垂向高度的丝杆升降机构17，定滑轮5通过丝杆升降机构17连接夹紧装置4，柔性钢丝线6的一端连接拖曳框架1，柔性钢丝线6的另一端绕过定滑轮5且水平连接试验模型8中纵剖面一点上。定滑轮5连接丝杆升降机构17的丝杆，通过丝杆升降机构17的手轮转动实现对定滑轮5的高度调节，

使柔性钢丝线6连接试验模型8的下段保持水平状态,在夹紧装置4打开后继续提供轴向拖曳力。

[0059] 如图1和图6,激光触发器9设于试验模型8的前进方向且匀速运动段对应的试验水池7的侧壁上。在试验模型8通过激光触发器9时,激光触发器9通过第一无线通信模块12、第二无线通信模块13发送信号给控制器14,控制器14控制红外相机组15对试验模型8进行拍照,获取艏部红外光源发射器10、艉部红外光源发射器11在图像中位置信息。

[0060] 如图3,试验模型8的艏部和中部分别设有导航机构2,导航机构2包括导航支架21、导航杆22、导航用丝杆升降机构和导航板23,拖曳框架1设有导航支架21,导航支架21的端部设有导航杆22,导航板23设有用于导航杆22穿入的导航孔24,导航板23连接试验模型8的艏部或中部,且导航板23连接试验模型8的中纵剖面上。导航杆22采用圆柱形刚性光滑杆件,导航杆22通过导航用丝杆升降机构连接导航支架21,从而通过导航用丝杆升降机构调节垂向高度。导航板23中间有一导航孔24,在试验模型8被夹紧后可恰好使导航杆22穿过,且在自由模态运动时在其中无摩擦移动。在试验前应调整导航杆22的初始位置,使其在试验模型8的运动过程中始终处于导航板23的导航孔24的中间位置,不可接触导航孔24的前端或是后端。

[0061] 如图1和图4,红外相机组15包括艏部第一红外相机151、艏部第二红外相机152、艉部第一红外相机153和艉部第二红外相机154,艏部第一红外相机151、艏部第二红外相机152、艉部第一红外相机153和艉部第二红外相机154分别间隔设于试验模型8的中纵剖面上。在试验模型8通过激光触发器9时,艏部第一红外相机151、艏部第二红外相机152分别设于试验模型8的艏部上方,用于获取艏部红外光源发射器10的图像;艉部第一红外相机153和艉部第二红外相机154分别设于试验模型8的艉部上方,用于获取艉部红外光源发射器11的图像。图4为试验模型8的艉部的艉部第一红外相机153和艉部第二红外相机154的布置示意图。试验模型8的艏部的红外测量组15按相同形式设置。

[0062] 如图5,红外相机组15通过定位件16连接拖曳框架1上,定位件16包括L形板161和定位横杆162,红外相机组15通过L形板161连接定位横杆162,定位横杆162设于拖曳框架1上。

[0063] 该种拖曳船模的非接触式姿态测定装置,设置一与拖车相连的拖曳框架1,拖曳框架1上固定导航机构2和拖曳支架3,拖曳支架3下端设置一附带可控制其开闭的夹紧装置4,夹紧装置4包括U形夹头与用于移动U形夹头的气缸,气缸的两端分别连接U形夹头与拖曳支架3。夹紧装置4用于在试验模型8正浮于试验水池7上时夹紧试验模型8,U形夹头用于拖动试验模型8,在试验模型8进入匀速段时夹紧装置4的气缸移开U形夹头,释放船模,由连接在拖曳框架1和试验模型8之间的柔性钢丝线6提供拖曳力。

[0064] 实施例还提供一种采用上述任一项所述的拖曳船模的非接触式姿态测定装置的拖曳船模的非接触式姿态测定方法,包括以下步骤,

[0065] 步骤一:测量艏部红外光源发射器10与艉部红外光源发射器11的相对水平距离A、相对垂直距离B;测量试验模型8正浮且被夹紧装置4夹紧时刻,即初始时刻,艏部红外光源发射器10到艏部第一红外相机151的距离 $n_1$ ,此距离连线与铅垂线的夹角 $j_1$ ;同理测量艏部红外光源发射器10到艏部第二红外相机152的距离 $n_2$ ,此距离连线与铅垂线的夹角 $j_2$ ;如图7;

[0066] 步骤二:试验模型8在正浮且被夹紧的状态下被拖曳支架3拖动,在拖曳支架3进入匀速运动后夹紧装置4打开,此时试验模型8仅由绕过定滑轮5的柔性钢丝线6提供水平向前的拖曳力,前后两组导航机构2的配合约束试验模型8的艏摇、横荡、横摇三个自由度,实现拖曳船模开放纵摇(纵倾)、纵荡、垂荡三个自由度的自由模态运动;然后试验模型8进入其匀速稳态运动阶段;

[0067] 步骤三:试验模型8匀速通过激光触发器9时,激光触发器9通过第一无线通信模块12、第二无线通信模块13发送信号给控制器14,控制器14控制红外相机组15对试验模型8进行拍照,记录匀速时刻艏部红外光源发射器10、艉部红外光源发射器11在图像上的位置;

[0068] 步骤四:根据步骤一与步骤三两个纪录时刻红外光点在图像上的位置变化换算出艏部红外光源发射器10相对艏部第一红外相机151的角位移 $i_1$ ,其相对艏部第二红外相机152的角位移 $i_2$ ,根据以上数据即可计算出艏部红外光源发射器10的横向、垂向位置变化 $dx_1, dy_1$ (保留其正负号);

[0069] 如图7,以试验模型8的中纵剖面为基准面,初始时刻艏部红外光源发射器的位置S为原点建立笛卡尔坐标系,此时可以得到第一红外相机 $C_1$ 点坐标 $(n_1 \cos j_1, n_1 \sin j_1)$ , $C_1 S^{\sim}$ 的倾斜角 $90^\circ - j_1 - i_1$ ,于是可以建立直线 $C_1 S^{\sim}$ 的点斜式方程,具体为,

$$[0070] \quad dy_1 - n_1 \cos j_1 = \tan(90^\circ - j_1 - i_1) (dx_1 - n_1 \sin j_1)$$

[0071] 同理,可以得到第二红外相机 $C_2$ 点坐标 $(n_2 \cos j_2, n_2 \sin j_2)$ ,可以建立直线 $C_2 S^{\sim}$ 的点斜式方程,具体为,

$$[0072] \quad dy_1 - n_2 \cos j_2 = \tan(90^\circ - j_2 + i_2) (dx_1 - n_2 \sin j_2)$$

[0073] 其中: $n_1$ 为初始时刻艏部红外光源发射器10即图7中S到艏部第一红外相机151即图7中 $C_1$ 的距离, $j_1$ 为初始时刻艏部红外光源发射器S到艏部第一红外相机151即图7中 $C_1$ 连线与铅垂线的夹角, $n_2$ 为初始时刻艏部红外光源发射器S到艏部第二红外相机152即图7中 $C_2$ 的距离, $j_2$ 为初始时刻艏部红外光源发射器10即图7中S到艏部第二红外相机152即图7中 $C_2$ 连线与铅垂线的夹角, $i_1$ 为初始时刻与匀速时刻两个时刻间艏部第一红外相机151即图7中 $C_1$ 测得艏部红外光源发射器10即图7中S的角位移即 $\angle SC_1 S^{\sim}$ , $i_2$ 为两个时刻间艏部第二红外相机152即图7中 $C_2$ 测得艏部红外光源发射器10即图7中S的角位移即 $\angle SC_2 S^{\sim}$ 。

[0074] 将以上两直线方程联立,即可计算出艏部红外光源发射器10的横向、垂向位置变化 $dx_1, dy_1$ ,即解出试验模型经过激光触发器时艏部红外光源发射器的位置 $S^{\sim}$ 坐标。

[0075] 步骤五:同样地,同时对艉部第一红外相机153和艉部第二红外相机154执行同样的操作可同时得到艉部红外光源发射器11的横向、垂向位置变化 $dx_2, dy_2$ (保留其正负号);

[0076] 步骤六:根据步骤四和步骤五得到的数据,即可计算出试验模型8的纵倾角 $\theta$ 、艏部升沉值 $\delta_1$ 、艉部升沉值 $\delta_2$ 、总体升沉值 $\delta_0$ 。

[0077] 如图8和图9,直线SP代表初始时刻试验模型8的位置, $S^{\sim}P^{\sim}$ 代表经过激光触发器时试验模型8的位置。为便于求解和说明问题,将 $S^{\sim}P^{\sim}$ 平移到如图10所示位置,将S与 $S^{\sim}$ 重合, $\angle PSP^{\sim}$ 即为纵倾角 $\theta$ ,通过两个位置的倾斜角相减得到步骤六中试验模型的纵倾角 $\theta$ ,具体为,

$$[0078] \quad \theta = \theta_1 - \theta_2 = \tan^{-1} \frac{B}{A} - \tan^{-1} \frac{B + dy_1 - dy_2}{A + dx_1 - dx_2}$$

[0079] 其中,A为初始时刻艏部红外光源发射器10与艉部红外光源发射器11的相对水平

距离,  $B$  为初始时刻艏部红外光源发射器 10 与艉部红外光源发射器 11 的相对垂直距离,  $dx_1$ 、 $dy_1$  为艏部红外光源发射器 10 从初始时刻到匀速运动时刻的横向、垂向位置变化 (保留其正负号) 即图 9 中  $S$  到  $S'$  的横向、垂向位置变化,  $dx_2$ 、 $dy_2$  为艉部红外光源发射器 11 初始时刻到匀速运动时刻的横向、垂向位置变化 (保留其正负号) 即图 9 中  $P$  到  $P'$  的横向、垂向位置变化。

[0080] 如图 8 和图 11, 以计算艏部升沉值  $\delta_1$  为例, 两个不同时刻艏柱位置  $M$  和  $M'$  的垂向距离即为艏部升沉值  $\delta_1$ 。为便于求解和说明问题, 将  $S'$ 、 $M'$  平移到如图 12 所示位置, 将  $S$  与  $S'$  重合, 此时两个时刻艏柱点的垂向距离为  $\delta_1 - dy_1$  可通过三角函数计算得到,

$$[0081] \quad \delta_1 - dy_1 = L_1 \cos k_1 - L_1 \cos (k_1 - \theta)$$

[0082] 由此可计算得到步骤六中, 以试验模型 8 的艏柱和水线面的交点为基准, 艏部升沉值  $\delta_1$  具体为,

$$[0083] \quad \delta_1 = L_1 \cos k_1 - L_1 \cos (k_1 - \theta) + dy_1$$

[0084] 同理可计算得到艉部升沉值  $\delta_2$  具体为,

$$[0085] \quad \delta_2 = L_2 \cos k_2 - L_2 \cos (k_2 + \theta) + dy_2$$

[0086] 综上可计算得到总体升沉值  $\delta_0$ , 具体为,

$$[0087] \quad \delta_0 = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2}$$

[0088] 其中,  $\theta$  为纵倾角 (保留其正负号),  $L_1$  为艏部红外光源发射器 10 到艏柱点的距离,  $k_1$  为艏部红外光源发射器 10 到艏柱点连线与铅垂线的夹角,  $L_2$  为艉部红外光源发射器 11 到艉柱点的距离,  $k_2$  为艉部红外光源发射器 11 到艉柱点连线与铅垂线的夹角,  $dy_1$ 、 $dy_2$  分别为艏部红外光源发射器 10、艉部红外光源发射器 11 的垂向位置变化 (保留其正负号)。

[0089] 该种拖曳船模的非接触式姿态测定方法, 通过试验模型 8 上方的红外相机组 15 捕捉初始时刻和激光触发时刻对应的艏部红外光源发射器 10 和艉部红外光源发射器 11 相对于各红外相机的夹角, 结合初始时刻的相对位置, 即可测算出红外光源在中纵剖面的位移变化值, 进而计算出试验模型 8 的纵倾角和升沉值, 计算出的升沉值以船艏艉柱和水线交点为基点, 克服了传统方法的局限性。

[0090] 该种拖曳船模的非接触式姿态测定装置及方法, 能够在开放垂荡、纵荡、纵摇三自由度的自由模态下, 实现非接触式姿态的准确测定。通过使试验模型 8 在特定距离内实现自由模态下的匀速稳态运动, 激光触发器 9 位于试验模型 8 的匀速运动位置, 通过控制器 14 控制红外相机组 15, 红外相机组 15 布置于试验模型 8 的中纵剖面上, 艏部红外光源发射器 10、艉部红外光源发射器 11 分别固定在模型艏部、艉部的位置, 红外相机组 15 位于拖曳框架 1 上, 前后布置。通过红外相机组 15 分别捕捉初始时刻和激光触发时刻, 艏部红外光源发射器 10、艉部红外光源发射器 11 相对于红外相机组 15 的夹角, 红外相机组 15 捕捉的数据即可测算出艏、艉两个红外光源在中纵剖面的各自的位移变化值。进而计算出试验模型 8 的纵倾角和升沉值, 测量精确可靠、布置测量方便、经济适用。

[0091] 需要说明的是, 通过红外相机画面上红外光点位置变化换算出其角度变化的过程与选用的红外相机本身的参数有关, 需要进行预先校准。测量相对距离时, 红外相机的基点应是其光学焦点位置, 红外光源发射器的基点应是其光源中心。激光触发器触发红外相机快门的信号传输方式不止实施例 1 中提到的这一种, 应根据实验室实际情况进行配置。

[0092] 以上描述是对本发明的解释, 不是对本发明的限定, 本所限定的范围参见权利要求

求,在本发明的精神和原理之内,对本发明做出的同等替换和修改,属于本发明的保护范围之内。

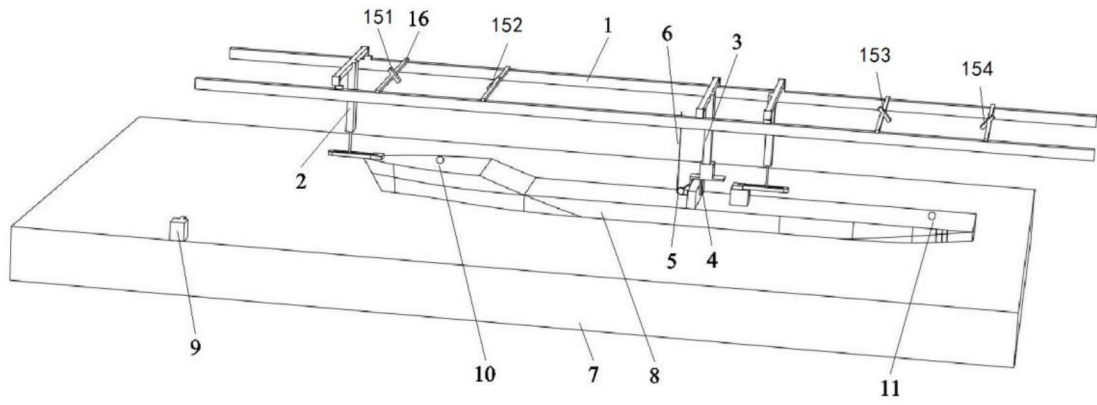


图1

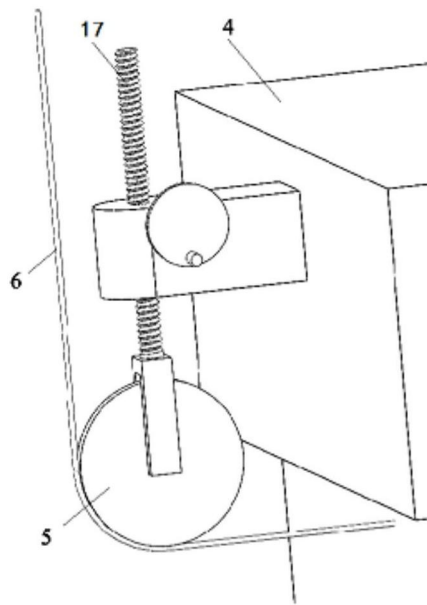


图2

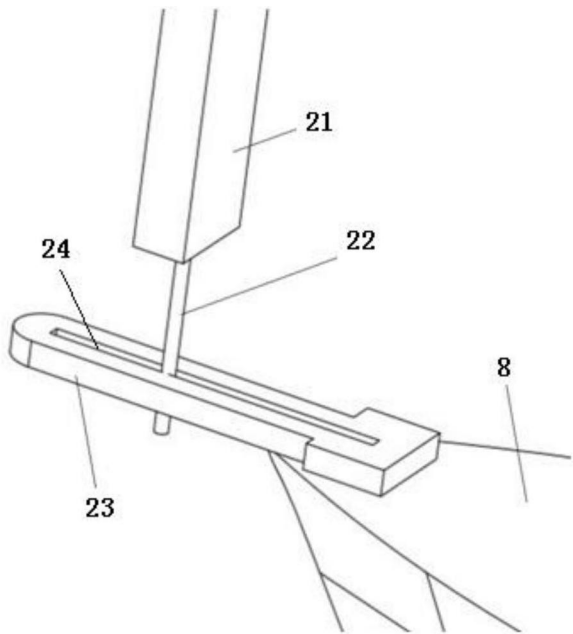


图3

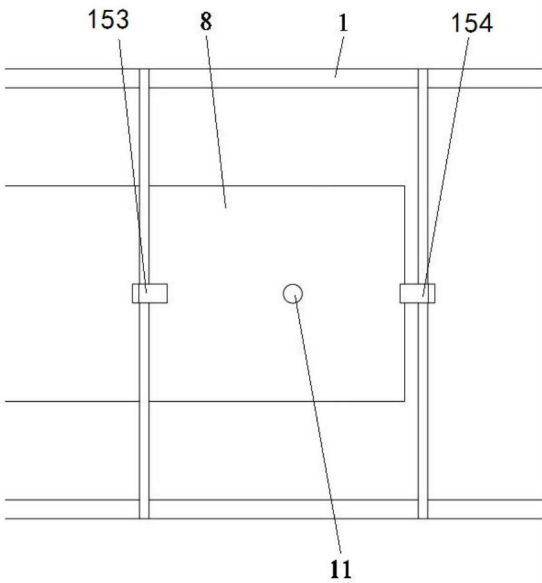


图4

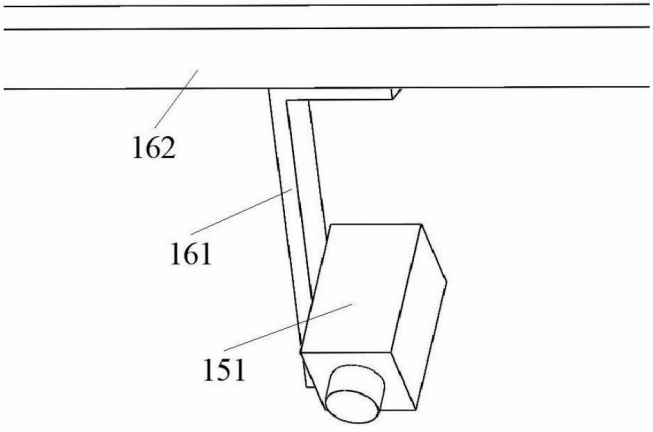


图5

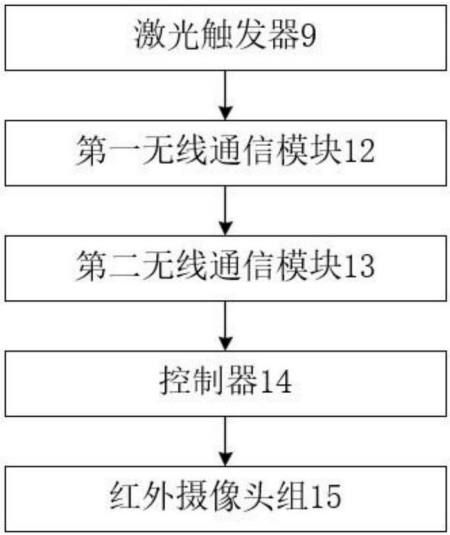


图6

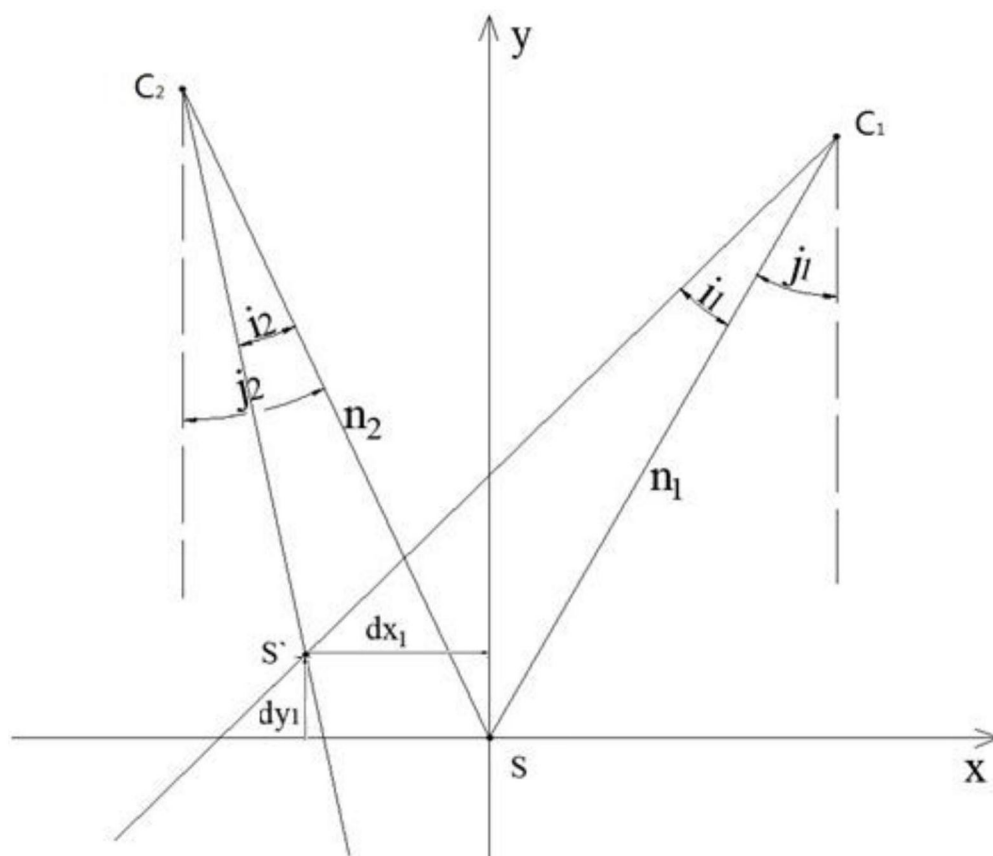


图7

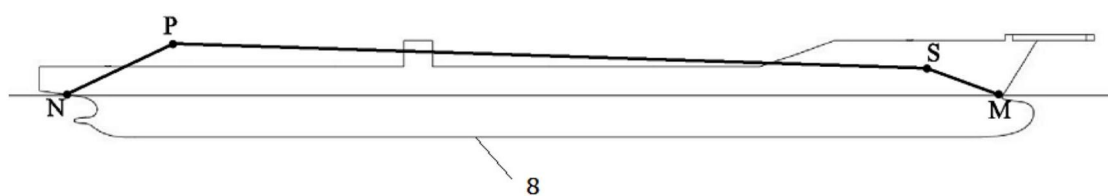


图8

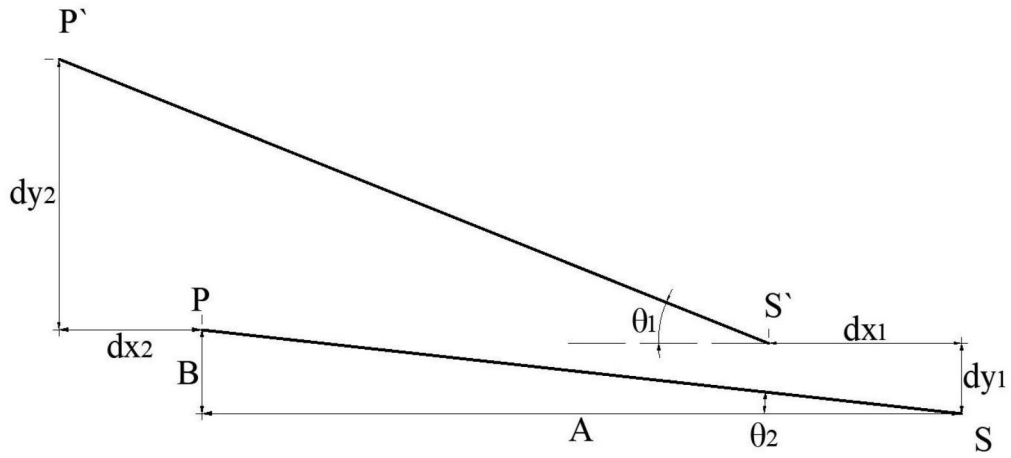


图9

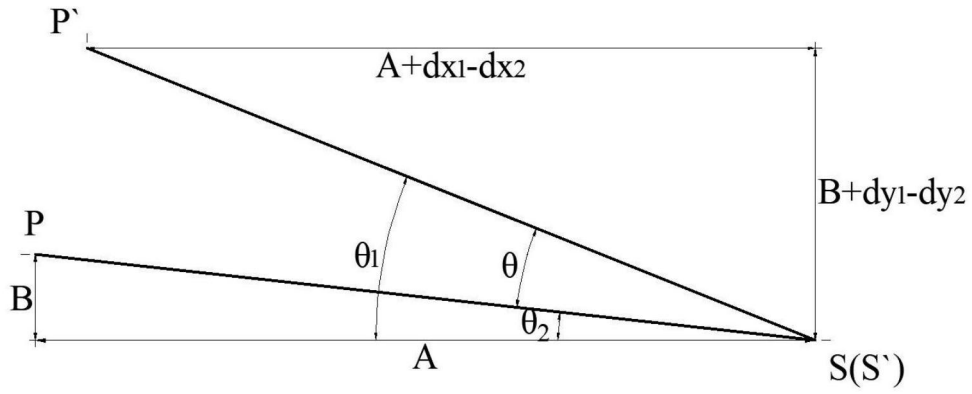


图10

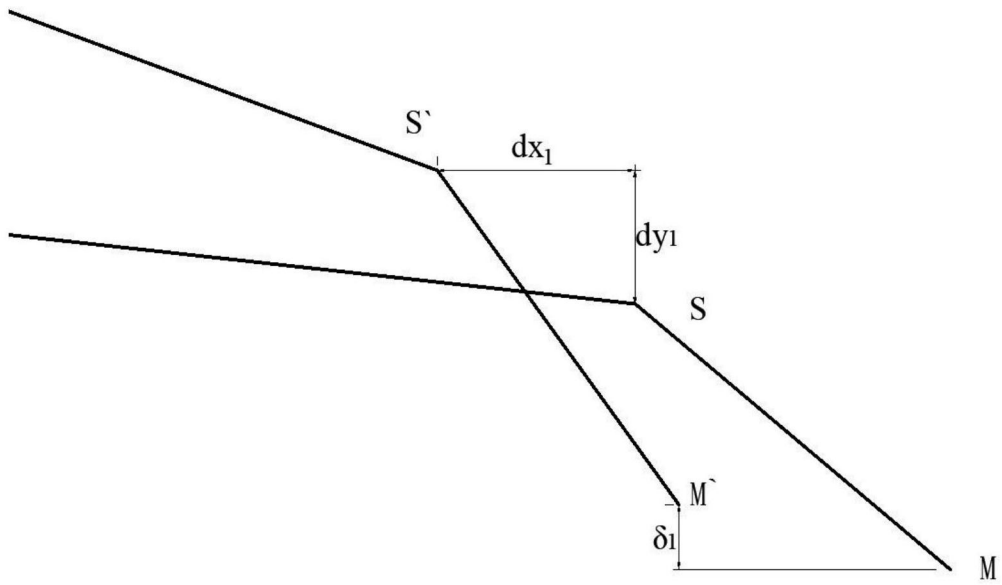


图11

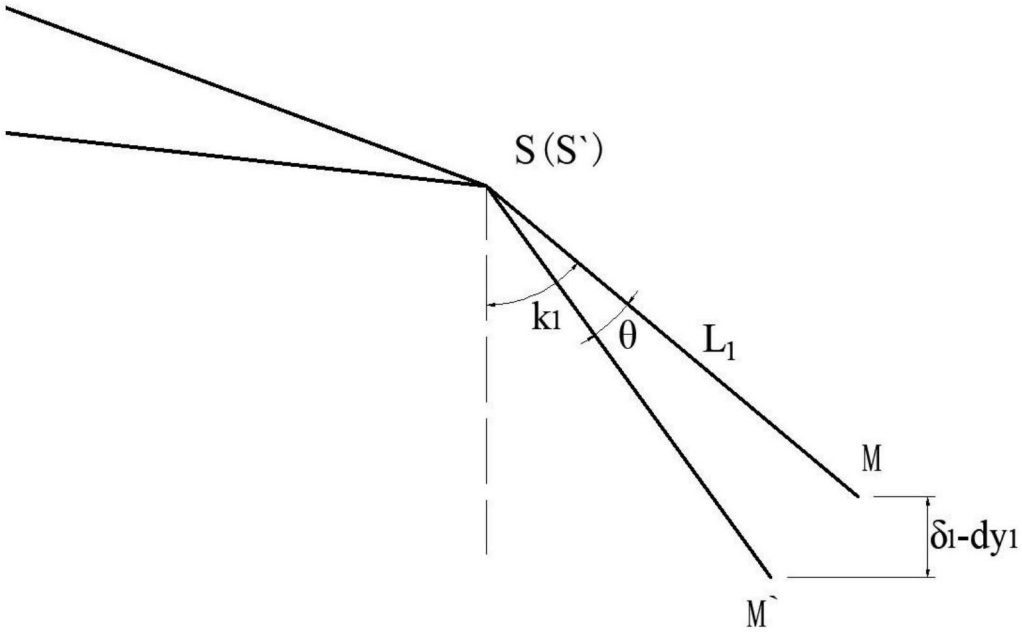


图12