



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110686597 A

(43)申请公布日 2020.01.14

(21)申请号 201911027756.4

G01S 19/41(2010.01)

(22)申请日 2019.10.28

(71)申请人 中交第三航务工程局有限公司

地址 200032 上海市徐汇区平江路139号

申请人 中交第三航务工程局有限公司上海分公司

(72)发明人 杨磊 毛娟龙 吴亚飞 蒋方靖

周骏 李允良

(74)专利代理机构 上海互顺专利代理事务所

(普通合伙) 31332

代理人 成秋丽

(51)Int.Cl.

G01B 11/00(2006.01)

G01B 21/18(2006.01)

G01S 19/14(2010.01)

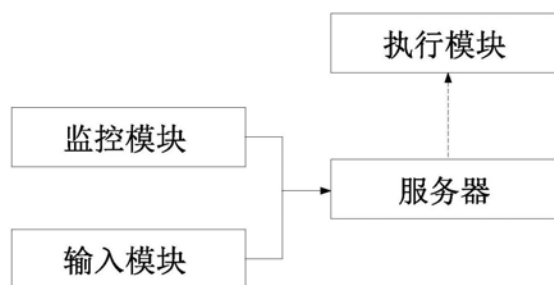
权利要求书3页 说明书12页 附图3页

(54)发明名称

一种斜向溜筒三维定位系统

(57)摘要

本发明提供了一种斜向溜筒三维定位系统,包括监控模块、输入模块、服务器和执行模块,所述监控模块采集溜筒的实时三维定位并发送给服务器;所述输入模块向服务器输入溜筒的理论位置数据;所述服务器对比实时三维定位和理论位置数据,动态显示当前需调节的数据信息,该数据信息包括溜筒俯仰角度和伸缩距离、台车运动距离和方向、转台旋转角度和方向;根据服务器显示屏上显示的数据信息,手动控制执行模块动作,使溜筒三维位置不断变化;监控模块把不断变化的三维数据实时发送给服务器,服务器变更所述数据信息,直至溜筒的实时三维定位与理论位置数据一致后执行模块停止动作。本发明的斜向溜筒三维定位系统具有使用方便的优点。



1. 一种斜向溜筒三维定位系统,其特征在于:包括监控模块、输入模块、服务器和执行模块,所述监控模块采集溜筒的实时三维定位并发送给服务器;所述输入模块向服务器输入溜筒的理论位置数据;

所述服务器对比实时三维定位和理论位置数据,动态显示当前需调节的数据信息,该数据信息包括溜筒俯仰角度和伸缩距离、台车运动距离和方向、转台旋转角度和方向;

根据服务器显示屏上显示的数据信息,手动控制执行模块动作,使溜筒三维位置不断变化;

监控模块把不断变化的三维数据实时发送给服务器,服务器变更所述数据信息,直至溜筒的实时三维定位与理论位置数据一致后执行模块停止动作。

2. 根据权利要求1所述的斜向溜筒三维定位系统,其特征在于,所述监控模块用于溜筒定位,该监控模块包括:

激光测距仪,安装在船体上,用于测量台车的前后移动距离,所述激光测距仪把前后移动距离发送给服务器;

第一拉线仪,安装在台车的转台上,用于测量台车水平转动的角度数据,所述第一拉线仪把角度数据发送给服务器;

第一双向倾斜仪,安装在溜筒上,用于测量溜筒的俯仰角度,所述第一双向倾斜仪把俯仰角度发送给服务器;

第二拉线仪,安装在溜筒上,用于测量溜筒的伸缩量,所述第二拉线仪把伸缩量发送给服务器;

所述服务器接收激光测距仪、第一拉线仪、第一双向倾斜仪、第二拉线仪采集的实时数据。

3. 根据权利要求2所述的斜向溜筒三维定位系统,其特征在于,所述监控模块还用于定位船体,所述监控模块还包括:安装在船体左侧的第一GPS模块、安装在船体右侧的第二GPS模块、安装在船体上的第二双向倾斜仪,所述第二双向倾斜仪的轴向与船体坐标系的轴向对齐;

所述第一GPS模块和第二GPS模块分别接收卫星和地面参考站之间的差分信号,第一GPS模块和第二GPS模块均与服务器连接,服务器接收所述差分信号并把差分信号转换成船体的平面位置和高程;

所述第二双向倾斜仪用于精确获取船体的实时姿态,第二双向倾斜仪与服务器连接,服务器接收第二双向倾斜仪的采集的实时姿态,并用实时姿态对船体的平面位置、船体的高程以及溜筒上点的相对关系进行修正。

4. 根据权利要求1所述的斜向溜筒三维定位系统,其特征在于,所述服务器上安装有数据库,该数据库为PostgreSQL数据库,所述服务器把监控模块发送的所有数据存储在PostgreSQL数据库。

5. 根据权利要求1或4所述的斜向溜筒三维定位系统,其特征在于,所述服务器调取数据库的信息,通过四个坐标系统的转换,得出溜筒最前端圆心的三维数据;

所述四个坐标系统分别为:地方坐标系统、WGS84坐标系统、实时船体坐标系统、和标准船体坐标系统。

6. 根据权利要求5所述的斜向溜筒三维定位系统,其特征在于,所述数据库中存储有大

桥高桩承台和钢管桩的三维数据,该三维数据采用地方坐标系表示;

所述监控模块的第一GPS模块和第二GPS模块实时测量船体的平面位置和高程,该平面位置和高程的三维坐标信息采用WGS84坐标系表示;

所述监控模块的激光测距仪、第一拉线仪、第一双向倾斜仪、第二拉线仪和第二双向倾斜仪的数据信息采用实时船体坐标系和工程坐标系表示,所述实时船体坐标系是建立在船体上的坐标系;

所述服务器还根据船体的俯仰、侧摆和高程将实时船体坐标系转换成标准船体坐标系。

7. 根据权利要求6所述的斜向溜筒三维定位系统,其特征在于,WGS84坐标系与地方坐标系的转换关系为:

$$\begin{bmatrix} X_D \\ Y_D \\ Z_D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_D \\ \Delta Y_D \\ \Delta Z_D \end{bmatrix} + (1 + \rho) \cdot R_{GD} \begin{bmatrix} X_G \\ Y_G \\ Z_G \end{bmatrix}$$

其中转换矩阵:

$$R_{GD} = \begin{bmatrix} 1 & \omega_z & -\omega_y \\ -\omega_z & 1 & \omega_x \\ \omega_y & -\omega_x & 1 \end{bmatrix}$$

其中,  $(\Delta X_D, \Delta Y_D, \Delta Z_D)$  为平移参数,  $(\omega X, \omega Y, \omega Z)$  为旋转参数,  $\rho$  为尺度参数。

8. 根据权利要求6所述的斜向溜筒三维定位系统,其特征在于,实时船体坐标系与标准船体坐标系的转换关系为:

$$\begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \end{bmatrix} = K_{CB} \begin{bmatrix} X_C \\ Y_C \end{bmatrix}$$

其中:

$$K_{CB} = \begin{bmatrix} \cos(\Delta n) & 0 \\ 0 & \cos(\Delta m) \end{bmatrix};$$

实时船体坐标系与标准船体坐标系的X轴夹角为n,并取船体俯倾时为正;两坐标系Y轴的夹角为m,取船体右侧低倾时为正;n与m由双轴倾斜仪实时观测值来获取。

9. 根据权利要求6所述的斜向溜筒三维定位系统,其特征在于,标准船体坐标系与工程坐标系的转换关系为:

$$\begin{bmatrix} X_P \\ Y_P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_P \\ \Delta Y_P \end{bmatrix} + R_{BP} \begin{bmatrix} X_D \\ Y_D \end{bmatrix}$$

其中:

$$R_{BP} = \begin{bmatrix} \cos(\alpha_{BP}) & -\sin(\alpha_{BP}) \\ \sin(\alpha_{BP}) & \cos(\alpha_{BP}) \end{bmatrix}。$$

10. 根据权利要求5所述的斜向溜筒三维定位系统,其特征在于,溜筒最前端圆心的三维数据得出过程为:

步骤一、第一GPS模块和第二GPS模块相对于船体固定, GPS ( $X_1, Y_1, Z_1$ )、GPS ( $X_2, Y_2, Z_2$ ) 通过加上激光测距仪DS得到台车的旋转轴线实时坐标 ( $X_3, Y_3, Z_3$ ) ;

步骤二、溜筒的旋转轴心围绕台车的旋转轴心旋转, 台车的旋转轴线实时坐标 ( $X_3, Y_3, Z_3$ ) 加上旋转角度 $\alpha$ , 得出溜筒旋转铰接点中心坐标 ( $X_4, Y_4, Z_4$ ) ;

其中, 旋转角度;

步骤三、由第一双向倾斜仪直接获得溜筒倾角 $\beta$ , 结合溜筒旋转铰接点中心坐标 ( $X_4, Y_4, Z_4$ ) 计算出溜筒上部圆心坐标 ( $X_5, Y_5, Z_5$ ) ;

步骤四、溜筒上部圆心坐标 ( $X_5, Y_5, Z_5$ ) 加上溜筒伸长的长度 $L_2$ 以及角度 $\beta$ , 最终获得溜筒前端圆心坐标 ( $X_6, Y_6, Z_6$ ) 。

## 一种斜向溜筒三维定位系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及控制系统领域,尤其涉及一种斜向溜筒三维定位系统。

### 背景技术

[0002] 大桥下部基础一般采用高桩承台结构和钢管桩形式,在设计之初考虑到相应冲刷深度的影响,因此设定了冲刷警戒值,超过警戒值之后应进行冲刷防护。为了减小工程投资,冲刷防护层的顶面标高不一定与原设计时实际泥面标高一致,只要使保护后的泥面高于原设计时预留冲刷深度后的极限泥面,并使之不产生进一步大的冲刷,即使再有少量冲刷,能使桥墩处于安全状态即可。

[0003] 一般采用向河床抛填碎石及砼混合料的形式进行防冲刷保护,普通网络抛石法施工工艺在深水条件下抛填精度差,成型断面起伏较大,易局部堆积。并且块石下落过程中容易受到水流的作用漂移流失,流失量大。

[0004] 为了能够把袋装碎石及袋装砼混合料精确地抛填至桥墩桩位之间,专利号为201822007348.X的实用新型专利,公开了一种斜向溜筒抛石船,包括船体、轨道小车、设置在轨道小车上的溜筒,所述轨道小车安装在船体的边上,所述轨道小车上设有通往溜筒的进料斗;所述溜筒与轨道小车通过旋转机构连接,该旋转机构调节溜筒的上下变幅和左右角度。

[0005] 由于上述专利的斜向溜筒抛石船需要精确计算出溜筒最前端的平面位置和高程,因此急需提供一种定位监控系统。

### 发明内容

[0006] 斜向溜筒的三维运动通过以下结构实现:可伸缩的斜向溜筒安装在转台上,斜向溜筒可做俯仰运动;转台安装在台车上,转台连同斜向溜筒可绕转台的轴线做水平旋转运动;台车安装在铺设有导轨的船体上,台车连同转台和斜向溜筒可沿导轨前后移动,通过台车的前后移动、转台的旋转运动和斜向溜筒的俯仰运动,实现溜筒的三维运动。

[0007] 本发明提供了一种斜向溜筒三维定位系统,输入模块输入溜筒的理论坐标,监控模块采集溜筒和船体的三维数据并把该三维数据发送给服务器,服务器计算出溜筒的实时坐标,服务器指导操作人员操作执行模块把溜筒移动到理论坐标。

[0008] 为解决上述技术问题,本发明采用如下技术方案:

[0009] 一种斜向溜筒三维定位系统,包括监控模块、输入模块、服务器和执行模块,所述监控模块采集溜筒的实时三维定位并发送给服务器;所述输入模块向服务器输入溜筒的理论位置数据;

[0010] 所述服务器对比实时三维定位和理论位置数据,动态显示当前需调节的数据信息,该数据信息包括溜筒俯仰角度和伸缩距离、台车运动距离和方向、转台旋转角度和方向;

[0011] 根据服务器显示屏上显示的数据信息,手动控制执行模块动作,使溜筒三维位置

不断变化；

[0012] 监控模块把不断变化的三维数据实时发送给服务器，服务器变更所述数据信息，直至溜筒的实时三维定位与理论位置数据一致后执行模块停止动作。

[0013] 作为本发明的进一步改进，所述监控模块用于溜筒定位，该监控模块包括：

[0014] 激光测距仪，安装在船体上，用于测量台车的前后移动距离，所述激光测距仪把前后移动距离发送给服务器；

[0015] 第一拉线仪，安装在台车的转台上，用于测量台车水平转动的角度数据，所述第一拉线仪把角度数据发送给服务器；

[0016] 第一双向倾斜仪，安装在溜筒上，用于测量溜筒的俯仰角度，所述第一双向倾斜仪把俯仰角度发送给服务器；

[0017] 第二拉线仪，安装在溜筒上，用于测量溜筒的伸缩量，所述第二拉线仪把伸缩量发送给服务器；

[0018] 所述服务器接收激光测距仪、第一拉线仪、第一双向倾斜仪、第二拉线仪采集的实时数据。

[0019] 本发明的激光测距仪安装在导轨的延长线上，测量台车移动变化量，激光测距仪实时准确地测量激光发射点距离，便于服务器计算台车中心的实时位置。

[0020] 作为本发明的进一步改进，所述监控模块还用于定位船体，所述监控模块还包括：安装在船体左侧的第一GPS模块、安装在船体右侧的第二GPS模块、安装在船体上的第二双向倾斜仪，所述第二双向倾斜仪的轴向与船体坐标系的轴向对齐；

[0021] 所述第一GPS模块和第二GPS模块分别接收卫星和地面参考站之间的差分信号，第一GPS模块和第二GPS模块均与服务器连接，服务器接收所述差分信号并把差分信号转换成船体的平面位置和高程；

[0022] 所述第二双向倾斜仪用于精确获取船体的实时姿态，第二双向倾斜仪与服务器连接，服务器接收第二双向倾斜仪的采集的实时姿态，并用实时姿态对船体的平面位置、船体的高程以及溜筒上点的相对关系进行修正。

[0023] 本发明的第二双向倾斜仪的轴向和船体坐标系轴向对齐，才能精确量测到整个定位系统在XY方向上的角度变化量。

[0024] 作为本发明的进一步改进，所述服务器上安装有数据库，该数据库为PostgreSQL数据库，所述服务器把监控模块发送的所有数据存储在PostgreSQL数据库。

[0025] 作为本发明的进一步改进，所述服务器可调取数据库的信息，通过四个坐标系统的转换，得出溜筒最前端圆心的三维数据；

[0026] 所述四个坐标系统分别为：地方坐标系统、WGS84坐标系统、实时船体坐标系统、和标准船体坐标系统。

[0027] 作为本发明的进一步改进，所述数据库中存储有大桥高桩承台和钢管桩的三维数据，该三维数据采用地方坐标系统表示；

[0028] 所述第一GPS模块和第二GPS模块实时测量船体的平面位置和高度，该平面位置和高度三维坐标信息采用WGS84坐标系统表示；

[0029] 所述激光测距仪、第一拉线仪、第一双向倾斜仪、第二拉线仪和第二双向倾斜仪的数据信息采用实时船体坐标系统和工程坐标系统表示，所述实时船体坐标系统是建立在船

体上的坐标系统；

[0030] 所述服务器还根据船体的俯仰、侧摆和高程将实时船体坐标系统转换成标准船体坐标系统。

[0031] 作为本发明的进一步改进,WGS84坐标系统与地方坐标系统的转换关系为：

$$[0032] \begin{bmatrix} X_D \\ Y_D \\ Z_D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_D \\ \Delta Y_D \\ \Delta Z_D \end{bmatrix} + (1 + \rho) \cdot R_{GD} \begin{bmatrix} X_G \\ Y_G \\ Z_G \end{bmatrix}$$

[0033] 其中转换矩阵：

$$[0034] R_{GD} = \begin{bmatrix} 1 & \omega_Z & -\omega_Y \\ -\omega_Z & 1 & \omega_X \\ \omega_Y & -\omega_X & 1 \end{bmatrix}$$

[0035] 其中,  $(\Delta X_D, \Delta Y_D, \Delta Z_D)$  为平移参数,  $(\omega_X, \omega_Y, \omega_Z)$  为旋转参数,  $\rho$  为尺度参数。

[0036] 作为本发明的进一步改进,实时船体坐标系统与标准船体坐标系统的转换关系为：

$$[0037] \begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \end{bmatrix} = K_{CB} \begin{bmatrix} X_C \\ Y_C \end{bmatrix}$$

[0038] 其中：

$$[0039] K_{CB} = \begin{bmatrix} \cos(\Delta n) & 0 \\ 0 & \cos(\Delta m) \end{bmatrix};$$

[0040] 实时船体坐标系统与标准船体坐标系统的X轴夹角为n,并取船体俯倾时为正。两坐标系统Y轴的夹角为m,取船体右侧低倾时为正;n与m由双轴倾斜仪实时观测值来获取。

[0041] 作为本发明的进一步改进,标准船体坐标系统与工程坐标系统的转换关系为：

$$[0042] \begin{bmatrix} X_P \\ Y_P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_P \\ \Delta Y_P \end{bmatrix} + R_{BP} \begin{bmatrix} X_D \\ Y_D \end{bmatrix}$$

[0043] 其中：

$$[0044] R_{BP} = \begin{bmatrix} \cos(\alpha_{BP}) & -\sin(\alpha_{BP}) \\ \sin(\alpha_{BP}) & \cos(\alpha_{BP}) \end{bmatrix}。$$

[0045] 作为本发明的进一步改进,溜筒最前端圆心的三维数据得出过程为：

[0046] 步骤一、第一GPS模块和第二GPS模块相对于船体固定,GPS  $(X_1, Y_1, Z_1)$ 、GPS  $(X_2, Y_2, Z_2)$  通过加上激光测距仪 $D_5$ 得到台车的旋转轴线实时坐标  $(X_3, Y_3, Z_3)$ ；

[0047] 步骤二、溜筒的旋转轴心围绕台车的旋转轴心旋转,台车的旋转轴线实时坐标  $(X_3, Y_3, Z_3)$  加上旋转角度 $\alpha$ ,得出溜筒旋转铰接点中心坐标  $(X_4, Y_4, Z_4)$ ；

[0048] 其中,旋转角度 $\alpha = \text{拉线仪变化长度} L_1 \text{旋转半径} R$ ；

[0049] 步骤三、由第一双向倾斜仪直接获得溜筒倾角 $\beta$ ,结合溜筒旋转铰接点中心坐标  $(X_4, Y_4, Z_4)$  计算出溜筒上部圆心坐标  $(X_5, Y_5, Z_5)$ ；

[0050] 步骤四、溜筒上部圆心坐标  $(X_5, Y_5, Z_5)$  加上溜筒伸长的长度 $L_2$ 以及角度 $\beta$ ,最终获

得溜筒前端圆心坐标  $(X_6, Y_6, Z_6)$ 。

[0051] 其中船体坐标系设定为沿着台车外侧轨道朝向船头, Y轴垂直X轴向右, 台车坐标系设定为以台车停靠在靠近船头的限位处为初始状态; 溜筒坐标系设定以溜筒垂直向下为初始状态, 向上抬高为角度增大。

[0052] 本发明的有益效果是:

[0053] 1、本发明的输入模块输入溜筒的理论坐标, 监控模块采集溜筒和船体的三维数据并把该三维数据发送给服务器, 服务器计算出溜筒的实时坐标, 服务器指导操作人员操作执行模块把溜筒移动到理论坐标, 因此, 本发明的斜向溜筒三维定位系统具有使用方便的优点。

[0054] 2、本发明的服务器还导入有整个施工区域的所有桥墩数据, 服务器还实时计算溜筒和桥墩的最短距离, 进行碰撞预警。

[0055] 3、本发明通过不同坐标系统的转换能够精确计算出溜筒最前端的平面位置和高程。

## 附图说明

[0056] 图1是斜向溜筒三维定位系统的原理框图。

[0057] 图2是监控模块的组成及说明。

[0058] 图3是实时船体坐标系统转换为标准船体坐标系统的原理图。

[0059] 图4是台车坐标系转换的示意图。

[0060] 图5是施工区域钢管桩的坐标示意图;

[0061] 图6为内套筒和外套筒的安装示意图。

[0062] 图中, 1、内套筒; 2、外套筒; a、首端; b、末端; 3、导向滑轮; 11、第二限位组件; 12、第一限位组件; 22、第二阻转管; 21、第一阻转管。

## 具体实施方式

[0063] 本发明在背景技术引用专利公开文献的斜向溜筒抛石船上使用。斜向溜筒的三维运动通过以下结构实现: 可伸缩的斜向溜筒安装在转台上, 斜向溜筒可做俯仰运动; 转台安装在台车上, 转台连同斜向溜筒可绕转台的轴线做水平旋转运动; 台车安装在铺设导轨的船体上, 台车连同转台和斜向溜筒可沿导轨前后移动, 通过台车的前后移动、转台的旋转运动和斜向溜筒的俯仰运动, 从而实现了斜向溜筒的三维运动。

[0064] 如图1所示, 本发明的输入模块输入溜筒的理论坐标, 监控模块采集溜筒和船体的三维数据并把该三维数据发送给服务器, 服务器计算出溜筒的实时坐标, 服务器指导操作人员操作执行模块把溜筒移动到理论坐标。

[0065] 实施方式一:

[0066] 本实施方式提供了一种斜向溜筒三维定位系统, 如图1所示, 包括监控模块、输入模块、服务器和执行模块, 其中:

[0067] 监控模块采集溜筒的实时三维定位并发送给服务器; 输入模块向服务器输入溜筒的理论位置数据;

[0068] 服务器对比实时三维定位和理论位置数据, 动态显示当前需调节的数据信息, 该



数据信息包括溜筒俯仰角度和伸缩距离、台车运动距离和方向、转台旋转角度和方向；

[0069] 根据服务器显示屏上显示的数据信息,手动控制执行模块动作,使溜筒三维位置不断变化;

[0070] 监控模块把不断变化的三维数据实时发送给服务器,服务器变更数据信息,直至溜筒的实时三维定位与理论位置数据一致后执行模块停止动作。

[0071] 如图2所示,本实施方式的监控模块用于溜筒定位、船体定位和水深测量。监控模块包括:激光测距仪、第一拉线仪、第一双向倾斜仪、第二拉线仪、第一GPS模块、第二GPS模块、第二双向倾斜仪以及测深仪,其中,激光测距仪安装在船体上,用于测量台车的前后移动距离,激光测距仪把前后移动距离发送给服务器;第一拉线仪安装在台车的转台上,用于测量台车水平转动的角度数据,第一拉线仪把角度数据发送给服务器;第一双向倾斜仪安装在溜筒上,用于测量溜筒的俯仰角度,第一双向倾斜仪把俯仰角度发送给服务器;第二拉线仪安装在溜筒上,用于测量溜筒的伸缩量,第二拉线仪把伸缩量发送给服务器;服务器接收激光测距仪、第一拉线仪、第一双向倾斜仪、第二拉线仪采集的实时数据。第一GPS模块和第二GPS模块分别接收卫星和地面参考站之间的差分信号,第一GPS模块和第二GPS模块均与服务器连接,服务器接收差分信号并把差分信号转换成船体的平面位置和高程;第二双向倾斜仪用于精确获取船体的实时姿态,第二双向倾斜仪与服务器连接,服务器接收第二双向倾斜仪的采集的实时姿态,并用实时姿态对船体的平面位置、船体的高程以及溜筒上点的相对关系进行修正。

[0072] GPS模块安装位置只是安装的GPS天线。通过专用GPS电缆连接到驾驶室内的GPS主机。GPS主机连接到串口服务器。GPS主机与控制室计算机之间采用有线连接,应用GPS 模块接收卫星和地面参考站的差分信号,监测抛石船的平面位置和高程,平面位置精确度达到2cm、高程精度达到3cm。

[0073] 第二双向倾斜仪安装在抛石船上,可以精确反映抛石船的实时姿态,定位系统使用该数据对GPS船体特征点,特别是溜筒上的点的相对关系进行修正。第二双向倾斜仪的轴向和船体坐标系轴向对齐,才能精确量测到整个定位系统在XY方向上的角度变化量。

[0074] 具体地,服务器接收差分信号并把差分信号转换成船体的平面位置和高程,差分信号得到平面位置和高程的过程是:

[0075] 第一GPS模块、第二GPS模块是采用载波相位差分原理和RTK技术进行精密定位,服务器通过超高频(UHF)数传电台接收差分信号,并与本机GPS载波相位进行差分计算,得到高精度的WGS84坐标再通过七参数坐标转换和高斯投影计算平面位置和高程。

[0076] 载波相位差分方法是将基准站测量的载波相位观测量、伪距观测量、基准站坐标等信息通过无线电台实时地传递给移动站服务器,服务器将移动站和基准站的载波相位观测量与进行差分处理,求得基准站与移动站之间的基线向量 $(\delta_x, \delta_y, \delta_z)$ ,再根据基站控制点坐标求得移动站的坐标,得到的移动站是WGS-84坐标 $(X_k, Y_k, Z_k)$ 。

[0077] 由于基站和移动站上载波相位观测量中含有相同或近似相同的卫星轨道误差、卫星钟差、电离层延迟误差和对流层延迟误差,通过差分计算可完全消除或较大部份削弱这些误差,最后可以得到厘米级的测量结果。

[0078] 载波相位差分计算由三部分组成:

[0079] 
$$\Phi_i^j = N_i^j(t_0) + N_i^j(t - t_0) + \delta\varphi_i^j \quad (1)$$

[0080] 式中  $N_i^j(t_0)$  为起始整周模糊度,  $N_i^j(t-t_0)$  为从起始时刻至观测时刻的整周变化值,  $\delta\varphi_i^j$  为观测相位的小数部分。则星站间距离为载波波长与星站相位差的乘积, 即

$$[0081] \quad \tilde{\rho}_i^j = \lambda(N_i^j(t_0) + N_i^j(t-t_0) + \delta\varphi_i^j) \quad (2)$$

[0082] 若在基准站利用已知坐标和卫星星历可求得星站间的真实距离  $\rho_i^j$ , 星站间伪距观测值则可表示为

$$[0083] \quad \tilde{\rho}_i^j = \rho_i^j + c \cdot (\delta\alpha_i - \delta\alpha^j) + \delta I_i^j + \delta T_i^j + \delta M_i + V_i \quad (3)$$

[0084] 公式中  $\delta M_i$  为多路径效应,  $V_i$  为 GPS 接收机噪声。在基准站可求出伪距改正数:

$$[0085] \quad \delta\rho_i^j = \tilde{\rho}_i^j - \rho_i^j = c \cdot (\delta\alpha_i - \delta\alpha^j) + \delta I_i^j + \delta T_i^j + \delta M_i + V_i \quad (4)$$

[0086] 用此改正数对移动站伪距观测值进行修正, 有:

$$[0087] \quad \begin{aligned} \tilde{\rho}_k^j - \delta\rho_i^j = \rho_k^j + c \cdot (\delta\alpha_k - \delta\alpha_i) + (\delta I_k^j - \delta I_i^j) + (\delta T_k^j - \delta T_i^j) \\ + (\delta M_k - \delta M_i) + (V_k - V_i) \end{aligned} \quad (5)$$

[0088] 当基准站和移动站之间的距离小于 30km, 可认为:

$$[0089] \quad \delta I_k^j = \delta I_i^j, \quad \delta T_k^j = \delta T_i^j$$

[0090] 则:

$$\tilde{\rho}_k^j - \delta\rho_i^j = \rho_k^j + c \cdot (\delta\alpha_k - \delta\alpha_i) + (\delta M_k - \delta M_i) + (V_k - V_i)$$

[0091]

$$= \sqrt{(X^j - X_k)^2 + (Y^j - Y_k)^2 + (Z^j - Z_k)^2} + \Delta\delta\rho \quad (6)$$

[0092] 式中:

$$[0093] \quad \Delta\delta\rho = c \cdot (\delta t_k - \delta t_i) + (\delta M_k - \delta M_i) + (V_k - V_i)。$$

[0094] 将载波相位伪距观测值 (2) 代入上式, 则可得

$$[0095] \quad \begin{aligned} \tilde{\rho}_k^j - \delta\rho_i^j = \tilde{\rho}_i^j - \tilde{\rho}_i^j + \rho_i^j = \rho_i^j + \lambda(N_k^j(t_0) - N_i^j(t_0)) + \lambda(N_k^j(t-t_0) - N_i^j(t-t_0)) \\ + \lambda(\delta\varphi_k^j - \delta\varphi_i^j) \end{aligned}$$

$$[0096] \quad = \sqrt{(X^j - X_k)^2 + (Y^j - Y_k)^2 + (Z^j - Z_k)^2} + \Delta\delta\rho \quad (7)$$

[0097] 上式中令:

$$[0098] \quad N^j(t_0) = N_k^j(t_0) - N_i^j(t_0)$$

[0099] 为起始整周数之差, 在观测过程中若卫星跟踪不失锁,  $N^j(t_0)$  即为常数, 令载波相位测量差值:

$$[0100] \quad \Delta\varphi = \lambda(N_k^j(t-t_0) - N_i^j(t-t_0)) + \lambda(\delta\varphi_k^j - \delta\varphi_i^j)$$

[0101] (7) 式可表示为:

$$[0102] \quad \rho_i^j + \lambda N^j(t_0) + \Delta\varphi = \sqrt{(X^j - X_k)^2 + (Y^j - Y_k)^2 + (Z^j - Z_k)^2} + \Delta\delta\rho$$

[0103] 或:

$$[0104] \quad \rho_i^j + \Delta\varphi = \sqrt{(X^j - X_k)^2 + (Y^j - Y_k)^2 + (Z^j - Z_k)^2} - \lambda N^j(t_0) + \Delta\delta\varphi \quad (8)$$

[0105] 公式中的未知数 $N^j(t_0)$ 、 $X_k$ 、 $Y_k$ 、 $Z_k$ 及 $\Delta\varphi$ 中除 $\Delta\varphi$ 外,其余均为常数。但两接收机钟差之差、噪声之差及两站间多路径效应之差在相邻历元间的变化量均小于cm级动态定位允许的误差,在求解过程中也可将 $\Delta\varphi$ 视作常数。因此,起始整周未知数若能确定,在基准站和移动站同时观测相同的4颗卫星,就可实现对移动站的定位。可见起始整周未知数的快速求解是载波相位差分动态定位的关键。由于每增加一个观测卫星,将相应增加一个整周未知数,因而只能靠延长观测时间,增加观测历元数求解起始整周未知数。

[0106] 通过载波相位差分计算得到的移动站坐标 $(X_k, Y_k, Z_k)$ 属于WGS-84坐标系下的坐标,需要通过7参数转换转换到施工坐标系下,计算公式为:

$$[0107] \quad \begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{bmatrix} + (1+m) \begin{bmatrix} 1 & \varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & 1 & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

[0108] 式中 $(X_1, Y_1, Z_1)$ 、 $(X_2, Y_2, Z_2)$ 分别为WGS-84坐标系和施工坐标系下的坐标, $\Delta X_0$ 、 $\Delta Y_0$ 、 $\Delta Z_0$ 为3个平移参数, $\varepsilon_x$ 、 $\varepsilon_y$ 、 $\varepsilon_z$ 为3个旋转参数, $m$ 为尺度参数。

[0109] 服务器接收第二双向倾斜仪的采集的实时姿态,并用实时姿态对船体的平面位置、船体的高程以及溜筒上点的相对关系进行修正,其修正过程是:

[0110] 接收第二双向倾斜仪的采集的实时姿态数据,并用实时姿态对船体的平面位置、船体的高程以及溜筒上点的相对关系进行修正,对于任意船体上或溜筒上点,其船体坐标系中坐标为 $(X, Y, Z)$ ,第二双向倾斜仪的采集的X轴和Y轴方向倾角为 $p$ 和 $r$ ,进行倾斜改正计算后得到的改正后的坐标为 $(X', Y', Z')$ ,其主要计算过程和公式如下:

[0111] 设:

$$[0112] \quad C_p = \cos(p);$$

$$[0113] \quad S_p = \sin(p);$$

$$[0114] \quad C_r = \cos(r);$$

$$[0115] \quad S_r = \sin(r);$$

$$[0116] \quad S_a = S_r / C_p;$$

$$[0117] \quad C_a = \sqrt{1.0 - S_a * S_a};$$

[0118] 则:

$$[0119] \quad X' = X * C_a - Z * S_a;$$

$$[0120] \quad Y' = -X * S_p * S_a + Y * C_p - Z * S_p * C_a;$$

$$[0121] \quad Z' = X * C_p * S_a + Y * S_p + Z * C_p * C_a。$$

[0122] 具体地,GPS主机应用载波相位差分原理和RTK技术可以进行高精度定位。GPS主机与控制室计算机之间采用有线连接,有专业软件监测抛石船的平面位置和高度,平面位置精确度达到2cm、高程精度达到3cm。

[0123] 具体地,第二双向倾斜仪安装在抛石船上,可以精确反映抛石船的实时姿态,船体和溜筒上的特征点的相对关系可以进行修正,并监测这些特征点的平面位置和高度。第二双向倾斜仪的轴向和船体坐标系轴向应对齐,才能精确量测到整个定位系统在XY方向上的

角度变化量。

[0124] 第一双向倾斜仪安装在溜筒上表面,通过倾斜度表现为溜筒倾斜度。

[0125] 激光测距仪设置在导辊延长线上,安装在船操作室操作台下面柜子里,主要测量行走平车移动变化量,激光测距仪实时准确地测量激光发射点距离,计算台车中心的实时位置。

[0126] 本实施方式的激光测距仪安装在导轨的延长线上,测量台车移动变化量,激光测距仪实时准确地测量激光发射点距离,便于服务器计算台车中心的实时位置。本实施方式的第二双向倾斜仪的轴向和船体坐标系轴向对齐,才能精确量测到整个定位系统在XY方向上的角度变化量。

[0127] 实施方式二:

[0128] 在实施方式一公开方案的基础上,本实施方式的服务器上安装有数据库,该数据库为PostgreSQL数据库,服务器把监控模块发送的所有数据存储在PostgreSQL数据库。服务器可调取数据库的信息,通过四个坐标系统的转换,得出溜筒最前端圆心的三维数据;四个坐标系统分别为:地方坐标系统、WGS84坐标系统、实时船体坐标系统、和标准船体坐标系统。

[0129] 数据库中存储有大桥高桩承台和钢管桩的三维数据,该三维数据采用地方坐标系表示;第一GPS模块和第二GPS模块实时测量船体的平面位置和高度,该平面位置和高度三维坐标信息采用WGS84坐标系表示;激光测距仪、第一拉线仪、第一双向倾斜仪、第二拉线仪和第二双向倾斜仪的数据信息采用实时船体坐标系和工程坐标系表示,实时船体坐标系是建立在船体上的坐标系;服务器还根据船体的俯仰、侧摆和高度将实时船体坐标系转换成标准船体坐标系。

[0130] GPS坐标系(即WGS84坐标系),是原点在地心的空间三维直角坐标系。WGS84坐标系中的点位一般采用直角坐标 $(X_G, Y_G, Z_G)$ 或大地坐标 $(B_G, L_G, H_G)$ 表示,其中B、L、H分别为大地纬度、经度和大地高度。WGS84坐标系的参考椭球其长半径为6378137米,扁率为 $1/298.257223563$ 。在本实施方式中,由GPS实时测量得到的未经转换的GPS天线的位置是以WGS84坐标系的坐标表示的。

[0131] 与WGS84坐标系的定义相同,但原点和坐标轴的方向与WGS84系统不同。地方坐标系中的点位一般采用直角坐标 $(X_D, Y_D, Z_D)$ 或大地坐标 $(B_D, L_D, H_D)$ 表示,其中B、L、H分别为大地纬度、经度和大地高度。本实施方式的地方坐标系,一般采用我国54国家坐标系,即北京54系统。北京54系统与WGS84坐标系之间在一定区域具有固定的关系,可通过严密的数学公式建立两者之间的关系,并可作相互转换。北京54坐标系的参考椭球其长半径为6378245米,扁率为 $1/298.3$ 。

[0132] 工程坐标系一般采用二维平面直角坐标系,工程坐标系中的点位坐标以 $(X_P, Y_P)$ 表示。工程坐标系的原点可根据工程的需要设定。本实施方式中的工程坐标系大多数是直接由地方坐标系的大地坐标投影得到,少数情况下,如工程坐标系为独立的坐标系,则需要进行平面坐标的转换。一般情况下,设计部门会给出工程坐标系与地方坐标系之间的固定联系,可通过严密的数学公式建立两者之间的相互转换关系。工程坐标系的高程系统由设计指定,可以是当地理论水准面,也可以是独立的高程基准面。设高程值为HP,则工程坐标系中的点位还可以采用二维直角坐标加高程 $(X_P, Y_P, H_P)$ 来表示。

但HP一般不参与坐标转换,而直接由观测结果换算。

[0133] 实时船体坐标系统是建立在船体上二维平面直角坐标系统,实时船体坐标系统中的点位采用二维直角坐标  $(X_c, Y_c)$  表示。实时船体坐标系统的X轴,定义为船体的中轴线或者船舷左侧,方向由船尾指向船头,理想情况下,桩的中心点是处于X轴线上的;坐标原点为X轴与两个GPS天线连线在坐标系平面上的的交点C0;Y轴与船平面平行;实时船体坐标系平面的高程,定义在船体的甲板面。实时船体坐标系统是建立在运动的船体之上的“瞬间”坐标系统,与其他几种坐标系统不同,实时船体坐标系平面的位置会随船体位置的变化而变化。决定实时船体坐标系统位置和方向的因素包括船体位置、扭角、船体高度、船体的纵向俯仰及横向摇摆等。所有这些变化因素均可由安装在船上的两台GPS仪器及双轴倾斜仪的观测值来推求。实时船体坐标系统是表达与船体固联的有关点位之间的相互关系的中间坐标系统。固定安装在船体上的GPS天线、倾斜仪,在实时船体坐标系中的坐标可在一定条件下采用普通的测量手段通过事先测定,并可根据船体的倾斜和摇摆量等方便地计算出点位的坐标改正,再将这些点表示在船体坐标系统中,参与后续的坐标转换过程。

[0134] 标准船体坐标系统是实时船体坐标系统的一个特例。即当船体中轴线的高度与设计桩顶标高相同,同时船体处于水平状态时的实时船体坐标系统。因此,标准船体坐标系统也是二维平面直角坐标系统,系统中的点位采用二维直角坐标  $(X_B, Y_B)$  表示。标准船体坐标系统与实时船体坐标系统之间的坐标轴方向相同,标准船体坐标系统的原点处于实时船体坐标系统原点的垂直线上。两坐标系统之间的关系取决于船体的俯仰、侧摆和高程。

[0135] 由于桩体设计位置、GPS实时测量结果、实时测定的桩体位置都是在不同的坐标系统中表达的,因此必须要建立上述各坐标系统之间的相互转换关系。

[0136] 坐标系统之间的转换关系是一组反映两个坐标系统的坐标分量之间换算关系的数学公式。大多数的坐标转换关系可以由转换矩阵来表示。

[0137] (1) GPS坐标系统转换为地方坐标系统的转换关系:

[0138] GPS坐标系统至地方坐标系统的转换,也即通常的WGS84系至北京54系的转换,简称为TRGD转换。TRGD的转换关系可按布尔莎公式进行:

$$[0139] \quad \begin{bmatrix} X_D \\ Y_D \\ Z_D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_D \\ \Delta Y_D \\ \Delta Z_D \end{bmatrix} + (1 + \rho) \cdot R_{GD} \begin{bmatrix} X_G \\ Y_G \\ Z_G \end{bmatrix}$$

[0140] 其中转换矩阵:

$$[0141] \quad R_{GD} = \begin{bmatrix} 1 & \omega_Z & -\omega_Y \\ -\omega_Z & 1 & \omega_X \\ \omega_Y & -\omega_X & 1 \end{bmatrix}$$

[0142] 在TRGD的坐标转换关系式中,共有3个平移参数  $(\Delta X_D, \Delta Y_D, \Delta Z_D)$ 、3个旋转参数  $(\omega X, \omega Y, \omega Z)$ 、1个尺度参数  $\rho$ ,共7个参数,作为“系统”进行TRGD的转换的参数依据。本实施方式中:

[0143] 平移参数  $\Delta X_D=131.908, \Delta Y_D=204.809, \Delta Z_D=87.726,$

[0144] 旋转参数  $\omega X=-1.959986, \omega Y=4.955782, \omega Z=-2.147541$

[0145] 尺度参数  $\rho=-6.05\text{ppm}.$

[0146] (2) 实时船体坐标系转换为标准船体坐标系统的转换关系:

[0147] 根据定义,这两个坐标系统之间的关系取决于船体的俯仰、侧摆和船体的高程。两者之间的关系如图3所示。两坐标系统的X轴夹角为 $n$ ,并取船体俯倾时为正。两坐标系统Y轴的夹角为 $m$ ,取船体右侧低倾时为正,图3中的侧倾角为负。 $n$ 与 $m$ 由双轴倾斜仪实时观测值来获取。实时船体坐标系统中的一点PC ( $X_C, Y_C$ ) 沿垂线方向投影到标准船体坐标系统的PB ( $X_B, Y_B$ ) 上。两坐标系统中的坐标转换关系可表示为:

$$[0148] \quad \begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \end{bmatrix} = K_{CB} \begin{bmatrix} X_C \\ Y_C \end{bmatrix}$$

[0149] 其中:

$$[0150] \quad K_{CB} = \begin{bmatrix} \cos(\Delta n) & 0 \\ 0 & \cos(\Delta m) \end{bmatrix}$$

[0151] (3) 标准船体坐标系统转换为工程坐标系统的转换关系:

[0152] 标准船体坐标系统与工程坐标系统都是平面直角坐标系统,将 ( $X_B, Y_B$ ) 转换为 ( $X_P, Y_P$ ) 的计算公式与TRDP-C转换公式类似:

$$[0153] \quad \begin{bmatrix} X_P \\ Y_P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_P \\ \Delta Y_P \end{bmatrix} + R_{BP} \begin{bmatrix} X_D \\ Y_D \end{bmatrix}$$

[0154] 其中:

$$[0155] \quad R_{BP} = \begin{bmatrix} \cos(\alpha_{BP}) & -\sin(\alpha_{BP}) \\ \sin(\alpha_{BP}) & \cos(\alpha_{BP}) \end{bmatrix}$$

[0156] (4) 行走平车溜筒坐标转换:

[0157] 台车需要通过四个坐标系进行转换,得出斜向溜筒最前端圆心的坐标,具体示意图如图4所示。转换过程:

[0158] (1) 两个GPS接收器相对于船型固定,GPS ( $X_1, Y_1, Z_1$ )、( $X_2, Y_2, Z_2$ ) 通过加上激光测距仪 $D_S$ 可以得到行走平车旋转轴线实时坐标 ( $X_3, Y_3, Z_3$ );

[0159] (2) 溜筒旋转轴心围绕行走平车旋转轴心旋转,其旋转角度为:

[0160]  $\alpha = \text{拉线仪变化长度} L_1 / \text{旋转半径} R$

[0161] 行走平车旋转轴线实时坐标 ( $X_3, Y_3, Z_3$ ) 通过加上旋转角度 $\alpha$ ,得出溜筒旋转铰接点中心坐标 ( $X_4, Y_4, Z_4$ );

[0162] (3) 溜筒前端圆心、溜筒上部圆心及旋转铰接点在同一个平面上,在计算过程中,溜筒倾角由倾斜仪2直接获得角度 $\beta$ ,结合溜筒旋转铰接点中心坐标 ( $X_4, Y_4, Z_4$ ) 可以计算出溜筒上部圆心坐标 ( $X_5, Y_5, Z_5$ )

[0163] (4) 上部圆心坐标 ( $X_5, Y_5, Z_5$ ) 加上溜筒伸长长度为 $L_2$ 以及角度 $\beta$ ,最终获得溜筒前端圆心坐标 ( $X_6, Y_6, Z_6$ )。

[0164] 其中船体坐标系设定为沿着台车外侧轨道朝向船头,Y轴垂直X轴向右。行走平车坐标系设定为以台车停靠在靠近船头的限位处为初始状态。溜筒坐标系设定以溜筒垂直向下为初始状态,向上抬高为角度增大。

[0165] 实施方式三:

[0166] 本实施方式公开了斜向溜筒的三维运动方式。将斜向溜筒与平台铰接,在斜向溜筒和平台之间设置变幅机构,利用变幅机构的运动实现斜向溜筒的俯仰动作;平台的底端与旋转机构连接,旋转机构带动平台绕其轴线 $360^{\circ}$ 旋转,实现斜向溜筒的轴向旋转动作;旋转机构安装在移动小车上,利用移动小车的前后运动实现溜筒的前后移动动作。

[0167] 斜向溜筒包括同轴的多节筒体和进料斗,多节筒体依序套接,最内侧的筒体端部与进料斗连接。同轴的多节筒体依序套接,从内到外套接的不同筒体的直径逐渐减小;相互套接的两个筒体形成外套筒2和内套筒1。

[0168] 如图6所示,内套筒1的末端始终裸露在外套筒2的外部,内套筒1的首端始终位于外套筒2的内部;外套筒2的内壁上设有M个导向滑轮3,所有导向滑轮3同时与内套筒1接触,以引导内套筒1沿设定直线伸长或收缩, $M \geq 2$ ;外套筒2的内壁上设有第一限位组件12,第一限位组件12靠近外套筒2的末端设置;内套筒1的内壁上设有第二限位组件11,第二限位组件11靠近内套筒1的首端设置;第一限位组件12和第二限位组件11接触,以阻止内套筒1进一步伸长。

[0169] 第一限位组件12为 $2N$ 个限位座, $N \geq 1$ , $2N$ 个限位座沿外套筒2的内壁呈 $360^{\circ}$ 均匀分布;第二限位组件11也为 $2N$ 个限位座, $N \geq 1$ , $2N$ 个限位座沿内套筒1的外壁呈 $360^{\circ}$ 均匀分布;外套筒2上的所有限位座与内套筒1上的所有限位座一一对应。优选 $N=2$ ,构成第一限位组件12的两个限位座相对设置,构成第二限位组件11的两个限位座相对设置。在外套筒2的径向投影上,第一限位组件12把M个导向滑轮3隔离成两组。多节筒体通过牵引组件缩回,牵引组件与最小直径的筒体的末端连接。

[0170] 内套筒1和外套筒2之间还设有阻转机构,该阻转机构安装在内套筒1和/或外套筒2上。阻转机构为两对,两对阻转机构相对设置。每对阻转机构位于导向滑轮3和限位座之间。阻转机构由第一阻转管21和第二阻转管22组成,第一阻转管21安装在外套筒2的内壁上,第二阻转管22安装在内套筒1的外壁上;两个第一阻转管21相对设置,两个第二阻转管22也相对设置。在内套筒1和外套筒2之间设置阻转机构,通过阻转机构防止内套筒1伸长或收缩时转动,实现内套筒1沿轴向伸长或收缩时不会发生旋转。本发明的阻转机构也能保证导向滑轮3的正常工作。

[0171] 本实施方式通过导向滑轮3引导内套筒1沿轴向伸长或收缩,第一限位组件12和第二限位组件11接触后阻止内套筒1继续伸长,使内套筒1伸缩过程更稳定。本实施方式在内套筒1和外套筒2之间设置阻转机构,通过阻转机构防止内套筒1伸长或收缩时转动,实现内套筒1沿轴向伸长或收缩时不会发生旋转。本实施方式的阻转机构也能保证导向滑轮3的正常工作。

[0172] 本实施方式选择两个限位座限制内套筒1的最大轴向位移,既能减少每组限位座的数量,又为导向滑轮3提供更多的安装空间。本实施方式通过导向滑轮3引导内套筒1沿轴向伸长或收缩,第一限位组件12和第二限位组件11接触后阻止内套筒1继续伸长,使内套筒1伸缩过程更稳定。

[0173] 在本实施方式中,溜筒结构包括X节筒体, $X \geq 2$ ,第一节筒体的直径最大,第X节筒体的直径最小,第一节筒体与第二节筒体套接,第二节筒体与第三节筒体套接,以此类推,第X-1节筒体与第X节筒体套接,这样第一节筒体和第二节筒体形成外套筒2和内套筒1,第二节筒体和第三节筒体形成外套筒2和内套筒1,第三节筒体和第四节筒体形成外套筒2和

内套筒1,以此类推,第X-1节筒体与第X节筒体形成外套筒2和内套筒 1。



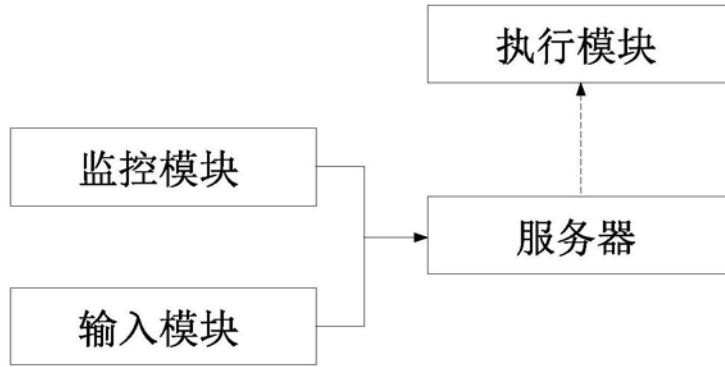


图1

监控模块	设备	说明
船体定位	GPS2 台	左侧的第一 GPS 模块，右侧的第二 GPS 模块
	第二双向倾斜仪	船体倾斜，安装在船操作室操作台下面柜子里。
溜筒定位	激光测距仪	安装在船操作室下面的甲板上，测量台车移动。
	第一拉线仪	安装在台车转盘上，测量台车水平转动角度。
	第一双向倾斜仪	安装在溜筒料口下方，测量溜筒上下转动角度。
	第二拉线仪	测量溜筒伸缩量，由 PLC 采集并发送数据过来。
水深测量	第一测深仪	站在台车上向溜筒左侧的底端测深。
	第二测深仪	站在台车上向溜筒右侧的底端测深。

图2

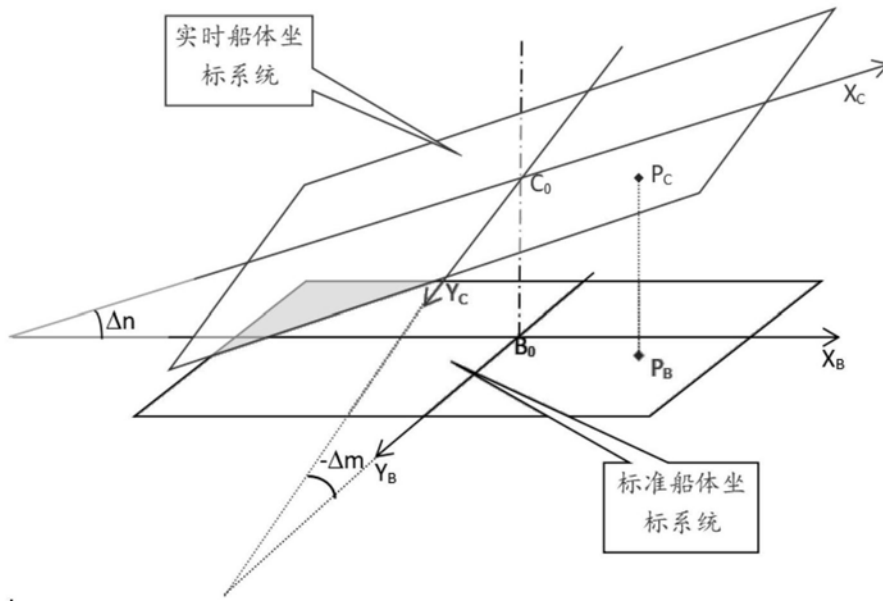


图3

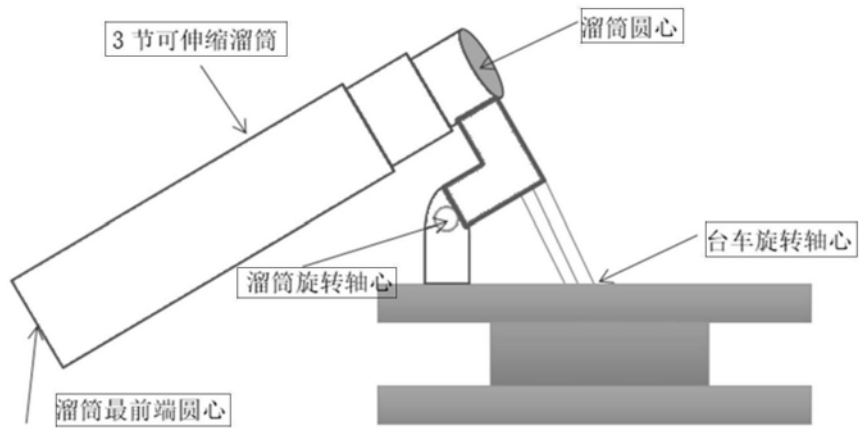


图4

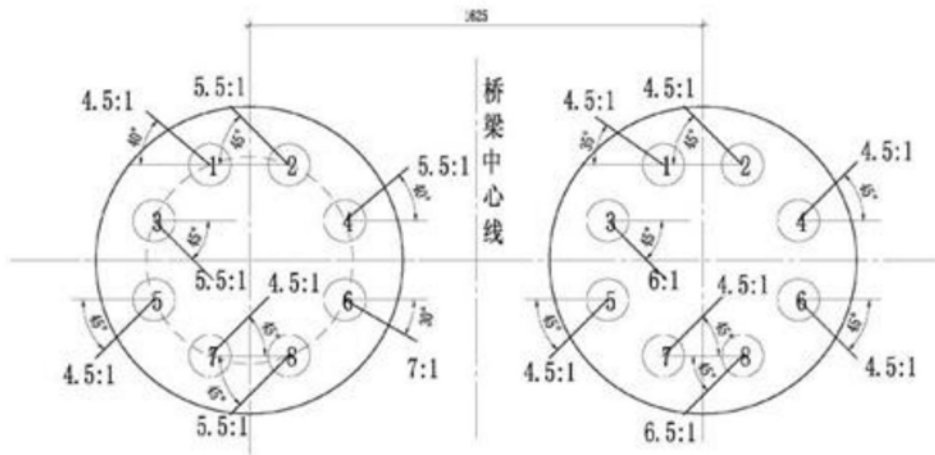


图5

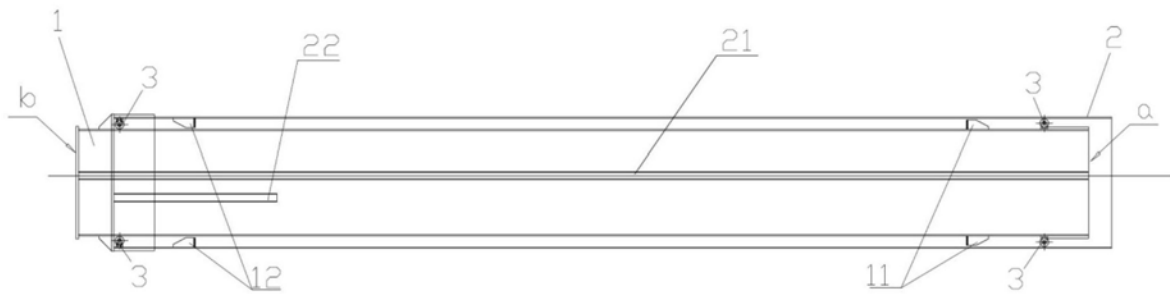


图6