



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109406096 B

(45)授权公告日 2020.01.14

(21)申请号 201811389436.9

G01M 9/06(2006.01)

(22)申请日 2018.11.21

审查员 张文英

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 109406096 A

(43)申请公布日 2019.03.01

(73)专利权人 大连理工大学

地址 116024 辽宁省大连市高新园区凌工
路2号

(72)发明人 李玉刚 迟凤东 陈景杰 乔东生
翟钢军

(74)专利代理机构 大连星海专利事务所有限公
司 21208

代理人 王树本 徐雪莲

(51)Int.Cl.

G01M 10/00(2006.01)

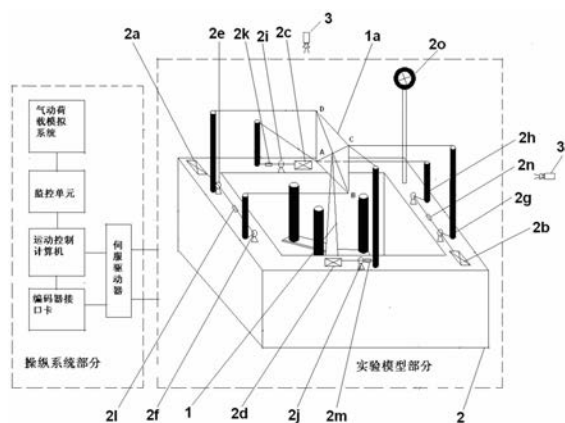
权利要求书3页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种浮式海上风电机组测量装置及其方法

(57)摘要

本发明涉及海洋工程技术领域,一种浮式海上风电机组测量装置及其方法,其中测量方法包括以下步骤:(1)实验模型的制作,(2)测量仪器的安装,(3)气动荷载模拟系统与监控单元的搭接,(4)定常风的模拟,(5)波浪的模拟,(6)工作指令的发送,(7)监测信息的反馈,测量装置包括操纵系统部分及实验模型部分。该测量装置能够高精度且可以实时监测模型在实验过程中的运动参数与力学参数,其中各种测量仪器尽可能地避免与实验模型的直接接触,将由于测量仪器本身的因素给测量结果带来的实验误差降至最小。整个测量装置结构简单、易安装、操作方便、安全可靠。



1. 一种浮式海上风电机组测量装置的测量方法,其特征在于包括以下步骤:

步骤1、实验模型的制作,为保证实验模型与实体严格符合几何相似条件,需要在实验模型的制作与模拟过程中,要按照统一的实验模型缩尺比,实验模型在海洋工程水池中试验时,需对这些尺度参数以及外形设计尺寸进行换算,通过公式(1)进行描述,

$$\frac{h_s}{h_m} = \frac{H_s}{H_m} = \frac{\lambda_s}{\lambda_m} \quad (1)$$

式中, h_m 为实验模型在试验时的水深、 H_m 为实验模型在试验时的波高、 λ_m 为实验模型在试验时的波长、 h_s 为实体在海上的实际水深、 H_s 为实体在海上的实际波高、 λ_s 为实体在海上的实际波长;

步骤2、测量仪器的安装,两部高速摄像机分别设置于实验模型的正上方与正前方,这样便于利用立体视觉双摄像机标定算法,提供浮体运动的面内及面外位移时程曲线,以实现浮体运动三维变形的非接触快速全程测量,无线拉力传感器安放在风荷载等效装置中,用以测量牵引绳中的拉力,风速仪安装在水池边缘,根据需要进行安装与拆卸;浪高仪与流速仪置于水池中,用于监测实验模型所处环境的参数,即浪高、周期及流速;

步骤3、气动荷载模拟系统与监控单元的搭接,将气动荷载模拟系统与监控单元进行有效的搭接,便于实时监控浮式风机的工作状态,从而调整气动荷载模拟系统中的参数,进而更好地模拟实际工程中的工作状态;

步骤4、定常风的模拟,实验模型中需要模拟的风速通过公式(2)进行描述,

$$V_{wm} = \frac{V_{ws}}{\sqrt{\lambda}} \quad (2)$$

式中, V_{wm} 为实验模型中需要模拟的风速、 V_{ws} 为实体平均风速、 λ 为实验模型的缩尺比;

步骤5、波浪的模拟,包括规则波的模拟和不规则波的模拟,其中规则波的模拟思路包括以下子步骤:

(a) 根据造波机能产生规则波的频率上限,即短周期的短波和频率下限,即长周期的长波,在此范围内等距分成10-12个造波的频率;

(b) 计算各频率相应的规则波周期和波长;

(c) 根据合适的波高与波长之比,确定各频率相应的规则波的波高;

(d) 对造波机的控制系统确定相应于各频率的摇板运动周期和振幅;

(e) 在水池中对10-12个造波频率逐一模拟相应的规则波,即总共需要模拟10-12个规则波,并用浪高仪测量所模拟规则波的时历曲线;

不规则波的模拟思路包括以下子步骤:

(A) 根据给定的条件,应用计算机控制程序,产生造波机控制信号的时间序列,以此控制造波板的振幅与频率,从而在水池中产生不规则的波浪;

(B) 采用浪高仪在试验持续时间内测量水池中不规则波的数据,进行谱分析后便得到模拟的波谱,如果模拟的波谱与给定的目标波谱差别较大,则应修正控制信号的时间序列,重新造波;

(C) 谱的迭代修正,在不规则波的模拟过程中,第一次是以给定的目标波谱作为驱动谱生成驱动信号,由此在水池中产生不规则波的实测波谱,如果实测波谱与给定的目标波谱

有差异,需对驱动谱通过公式(3)进行修正,

$$\frac{S_{d1}}{S_{m1}} = \frac{S_{d2}}{S_T} \quad (3)$$

式中, S_{d1} 为驱动谱、 S_{m1} 为实测波谱、 S_{d2} 为修正后的驱动谱、 S_T 为目标波谱;采用修正后的驱动谱 S_{d2} 生成驱动信号,在水池中第二次模拟不规则波浪,测量分析得到的实测波谱是 S_{m2} ,如果 S_{m2} 能够满足目标波谱 S_T 的要求,便完成了给定条件不规则波浪的模拟工作,否则要重新修正,再次在水池中模拟不规则波浪,如此反复迭代修正,直到满意为止;

步骤6、工作指令的发送、通过运动控制计算机向测量仪器发送工作指令,操控高速摄像机的工作状态,将观察到的画面进行放大与缩小,以适应监测系统的需要;

步骤7、监测信息的反馈,浮式风机模型通过编码器信号的形式将测量仪器测得的数据传递给伺服驱动器,接下来,伺服驱动器将编码器信号传递给编码器接口卡,编码器接口卡通过ISA总线与运动控制计算机相连,从而使实验模型的监测信息得以传送给运动控制计算机,以实现监测信息实时有效的反馈。

2. 根据权利要求1所述测量方法中的测量装置,包括操纵系统部分及实验模型部分,其特征在于:所述操纵系统部分,包括气动荷载模拟系统、监控单元、运动控制计算机、编码器接口卡和伺服驱动器,所述气动荷载模拟系统与监控单元相连,监控单元与运动控制计算机之间通过以太网相连,运动控制计算机与编码器接口卡之间通过ISA总线相连,所述伺服驱动器还分别与运动控制计算机、编码器接口卡及实验模型部分相连;由运动控制计算机对伺服驱动器发送控制信号,伺服驱动器会通过伺服驱动来控制实验模型部分,同时,实验模型部分会将编码器信号通过伺服驱动器反馈给编码器接口卡,最终传给气动荷载模拟系统,实现气动荷载模拟系统与实验模型部分之间的信息传递;所述实验模型部分,包括水池及置于水池中的风机模型,水池内侧四周边缘凸台上安装有第一、二、三、四电动缸,第一、二、三、四、五、六滑轮道组,第一、二、三、四无线拉力传感器及风速仪,所述第一电动缸通过第一滑轮道组及牵引线与风机模型叶片端点D连接,第一电动缸还通过第二无线拉力传感器、第二滑轮道组及牵引线与风机模型叶片端点B连接,当第一电动缸工作时,带动与其相连的第一、二滑轮道组及第二无线拉力传感器工作,通过牵引线将力传递给与其相连的风机模型叶片上,进而来模拟风机模型的推力;所述第二电动缸通过第三滑轮道组及牵引线与风机模型叶片端点C连接,第二电动缸还通过第四无线拉力传感器、第四滑轮道组及牵引线与风机模型叶片端点A连接,当第二电动缸工作时,带动与其相连的第三、四滑轮道组及第四无线拉力传感器工作,通过牵引线将力传递给与其相连的风机模型叶片上,进而来模拟风机模型的恢复力;所述第三电动缸通过第五滑轮道组、第一无线拉力传感器及牵引线与风机模型叶片端点A连接,所述第四电动缸通过第六滑轮道组、第三无线拉力传感器及牵引线与风机模型叶片端点C连接,当第三电动缸和第四电动缸工作时,分别带动与其相连的第五、六滑轮道组,第一、三无线拉力传感器工作,通过牵引线将力传递给与其相连的风机模型叶片上,进而来模拟风机模型的扭矩,所述伺服驱动器分别与第一、二、三、四电动缸相连;所述实验模型的上方及前方分别设置有第一、二高速摄像机用于对整个测量装置的非接触快速全程测量,所述水池内壁上分别安装有造波板和消波面板,水池底部安装有流速仪,水池中的水面上悬置有浪高仪,实验过程中,造波板推动水池中的水作往复运动,浪高仪实时监测通过其所在位置的浪高与周期,流速仪实时监测通过其所在位置的水流速度及

方向,浪高仪与流速仪将其所测到的参数通过数据线传递给伺服驱动器,消波面板起到了消减波浪的作用,用以防止波浪碰到水池内壁反射后所形成的反射波浪与造波板所造的波浪相互干扰,影响实验效果。

一种浮式海上风电机组测量装置及其方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种浮式海上风电机组测量装置及其方法,属于海洋工程技术领域。

背景技术

[0002] 在海洋开发中,海洋平台等结构物必须要经受恶劣环境的考验,包括风、浪、流等复杂环境因素的综合作用,而与此相对应,深海工程作为一门新兴的前沿学科领域,海洋环境复杂多变以及海洋工程技术经验的匮乏,使得海洋工程研究需要更多地依赖模型实验,进行分析、获取数据,没有对应的试验装备和测试系统,无法进行有效的物理模型实验,目前,对于海洋平台等浮式结构模型的测量需要在模型上安装辅助传感器,通过传感器的数据来分析模型在水池中的运动姿态。这种传统的运动测量方式严重地受到来自传感器自重、信号线、安装及固定等束缚因素的影响,降低了测量精度,严重的会引起“科学误判”。因此,需要在原接触式运动测量的基础上,拟自行研制浮体运动非接触测量系统。

发明内容

[0003] 为了克服现有技术中存在的不足,本发明目的是提供一种浮式海上风电机组测量装置及其方法。该测量装置能够高精度且可以实时监测模型在实验过程中的运动参数与力学参数,其中各种测量仪器尽可能地避免与实验模型的直接接触,将由于测量仪器本身的因素给测量结果带来的实验误差降至最小。

[0004] 为了实现上述发明目的,解决已有技术中所存在的问题,本发明采取的技术方案是:一种浮式海上风电机组测量装置的测量方法,包括以下步骤:

[0005] 步骤1、实验模型的制作,为保证实验模型与实体严格符合几何相似条件,需要在实验模型的制作与模拟过程中,要按照统一的实验模型缩尺比,实验模型在海洋工程水池中试验时,需对这些尺度参数以及外形设计尺寸进行换算,通过公式(1)进行描述,

$$[0006] \quad \frac{h_s}{h_m} = \frac{H_s}{H_m} = \frac{\lambda_s}{\lambda_m} \quad (1)$$

[0007] 式中, h_m 为实验模型在试验时的水深、 H_m 为实验模型在试验时的波高、 λ_m 为实验模型在试验时的波长、 h_s 为实体在海上的实际水深、 H_s 为实体在海上的实际波高、 λ_s 为实体在海上的实际波长;

[0008] 步骤2、测量仪器的安装,两部高速摄像机分别设置于实验模型的正上方与正前方,这样便于利用立体视觉双摄像机标定算法,提供浮体运动的面内及面外位移时程曲线,以实现浮体运动三维变形的非接触快速全程测量,无线拉力传感器安放在风荷载等效装置中,用以测量牵引绳中的拉力,风速仪安装在水池边缘,根据需要进行安装与拆卸;浪高仪与流速仪置于水池中,用于监测实验模型所处环境的参数,即浪高、周期及流速;

[0009] 步骤3、气动荷载模拟系统与监控单元的搭接,将气动荷载模拟系统与监控单元进行有效的搭接,便于实时监控浮式风机的工作状态,从而调整气动荷载模拟系统中的参数,进而更好地模拟实际工程中的工作状态;

[0010] 步骤4、定常风的模拟,实验模型中需要模拟的风速通过公式(2)进行描述,

$$[0011] \quad V_{wm} = \frac{V_{ws}}{\sqrt{\lambda}} \quad (2)$$

[0012] 式中, V_{wm} 为实验模型中需要模拟的风速、 V_{ws} 为实体平均风速、 λ 为实验模型的缩尺比;

[0013] 步骤5、波浪的模拟,包括规则波的模拟和不规则波的模拟,其中规则波的模拟思路包括以下子步骤:

[0014] (a) 根据造波机能产生规则波的频率上限,即短周期的短波和频率下限,即长周期的长波,在此范围内等距分成10-12个造波的频率;

[0015] (b) 计算各频率相应的规则波周期和波长;

[0016] (c) 根据合适的波高与波长之比,确定各频率相应的规则波的波高;

[0017] (d) 对造波机的控制系统确定相应于各频率的摇板运动周期和振幅;

[0018] (e) 在水池中对10-12个造波频率逐一模拟相应的规则波,即总共需要模拟10-12个规则波,并用浪高仪测量所模拟规则波的时历曲线;

[0019] 不规则波的模拟思路包括以下子步骤:

[0020] (A) 根据给定的条件,应用计算机控制程序,产生造波机控制信号的时间序列,以此控制造波板的振幅与频率,从而在水池中产生不规则的波浪;

[0021] (B) 采用浪高仪在试验持续时间内测量水池中不规则波的数据,进行谱分析后便得到模拟的波谱,如果模拟的波谱与给定的目标波谱差别较大,则应修正控制信号的时间序列,重新造波;

[0022] (C) 谱的迭代修正,在不规则波的模拟过程中,第一次是以给定的目标波谱作为驱动谱生成驱动信号,由此在水池中产生不规则波的实测波谱,如果实测波谱与给定的目标波谱有差异,需对驱动谱通过公式(3)进行修正,

$$[0023] \quad \frac{S_{d1}}{S_{m1}} = \frac{S_{d2}}{S_T} \quad (3)$$

[0024] 式中, S_{d1} 为驱动谱、 S_{m1} 为实测波谱、 S_{d2} 为修正后的驱动谱、 S_T 为目标波谱;采用修正后的驱动谱 S_{d2} 生成驱动信号,在水池中第二次模拟不规则波浪,测量分析得到的实测波谱是 S_{m2} ,如果 S_{m2} 能够满足目标波谱 S_T 的要求,便完成了给定条件不规则波浪的模拟工作,否则要重新修正,再次在水池中模拟不规则波浪,如此反复迭代修正,直到满意为止;

[0025] 步骤6、工作指令的发送、通过运动控制计算机向测量仪器发送工作指令,操控高速摄像机的工作状态,将观察到的画面进行放大与缩小,以适应监测系统的需要;

[0026] 步骤7、监测信息的反馈,浮式风机模型通过编码器信号的形式将测量仪器测得的数据传递给伺服驱动器,接下来,伺服驱动器将编码器信号传递给编码器接口卡,编码器接口卡通过ISA总线与运动控制计算机相连,从而使实验模型的监测信息得以传送给运动控制计算机,以实现监测信息实时有效的反馈。

[0027] 所述测量方法中的测量装置,包括操纵系统部分及实验模型部分,所述操纵系统部分,包括气动荷载模拟系统、监控单元、运动控制计算机、编码器接口卡和伺服驱动器,所述气动荷载模拟系统与监控单元相连,监控单元与运动控制计算机之间通过以太网相连,运动控制计算机与编码器接口卡之间通过ISA总线相连,所述伺服驱动器还分别与运动控

制计算机、编码器接口卡及实验模型部分相连；由运动控制计算机对伺服驱动器发送控制信号，伺服驱动器会通过伺服驱动来控制实验模型部分，同时，实验模型部分会将编码器信号通过伺服驱动器反馈给编码器接口卡，最终传给气动荷载模拟系统，实现气动荷载模拟系统与实验模型部分之间的信息传递；所述实验模型部分，包括水池及置于水池中的风机模型，水池内侧四周边缘凸台上安装有第一、二、三、四电动缸，第一、二、三、四、五、六滑轮道组，第一、二、三、四无线拉力传感器及风速仪，所述第一电动缸通过第一滑轮道组及牵引线与风机模型叶片端点D连接，第一电动缸还通过第二无线拉力传感器、第二滑轮道组及牵引线与风机模型叶片端点B连接，当第一电动缸工作时，带动与其相连的第一、二滑轮道组及第二无线拉力传感器工作，通过牵引线将力传递给与其相连的风机模型叶片上，进而来模拟风机模型的推力；所述第二电动缸通过第三滑轮道组及牵引线与风机模型叶片端点C连接，第二电动缸还通过第四无线拉力传感器、第四滑轮道组及牵引线与风机模型叶片端点A连接，当第二电动缸工作时，带动与其相连的第三、四滑轮道组及第四无线拉力传感器工作，通过牵引线将力传递给与其相连的风机模型叶片上，进而来模拟风机模型的恢复力；所述第三电动缸通过第五滑轮道组、第一无线拉力传感器及牵引线与风机模型叶片端点A连接，所述第四电动缸通过第六滑轮道组、第三无线拉力传感器及牵引线与风机模型叶片端点C连接，当第三电动缸和第四电动缸工作时，分别带动与其相连的第五、六滑轮道组，第一、三无线拉力传感器工作，通过牵引线将力传递给与其相连的风机模型叶片上，进而来模拟风机模型的扭矩，所述伺服驱动器分别与第一、二、三、四电动缸相连；所述实验模型的上方及前方分别设置有第一、二高速摄像机用于对整个测量装置的非接触快速全程测量，所述水池内壁上分别安装有造波板和消波面板，水池底部安装有流速仪，水池中的水面上悬置有浪高仪，实验过程中，造波板推动水池中的水作往复运动，浪高仪实时监测通过其所在位置的浪高与周期，流速仪实时监测通过其所在位置的水流速度及方向，浪高仪与流速仪将其所测到的参数通过数据线传递给伺服驱动器。消波面板起到了消减波浪的作用，用以防止波浪碰到水池内壁反射后所形成的反射波浪与造波板所造的波浪相互干扰，影响实验效果。

[0028] 本发明有益效果是：一种浮式海上风电机组测量装置及其方法，其中测量方法包括以下步骤：(1) 实验模型的制作，(2) 测量仪器的安装，(3) 气动荷载模拟系统与监控单元的搭接，(4) 定常风的模拟，(5) 波浪的模拟，(6) 工作指令的发送，(7) 监测信息的反馈，测量装置包括操纵系统部分及实验模型部分。该测量装置能够高精度且可以实时监测模型在实验过程中的运动参数与力学参数，其中各种测量仪器尽可能地避免与实验模型的直接接触，将由于测量仪器本身的因素给测量结果带来的实验误差降至最小。整个测量装置结构简单、易安装、操作方便、安全可靠。

附图说明

[0029] 图1是本发明方法步骤流程图。

[0030] 图2是本发明测量装置结构示意图。

[0031] 图3是本发明测量装置中的造波板、消波面板、流速仪及浪高仪在水池中的安装示意图。

[0032] 图4是本发明测量装置中的第一、二、三、四电动缸与伺服驱动器连接示意图。

[0033] 图中:1、风机模型,1a、风机模型叶片,2、水池,2a、第一电动缸,2b、第二电动缸,2c、第三电动缸,2d、第四电动缸,2e、第一滑轮道组,2f、第二滑轮道组,2g、第三滑轮道组,2h、第四滑轮道组,2i、第五滑轮道组,2j、第六滑轮道组,2k、第一无线拉力传感器,2l、第二无线拉力传感器,2m、第三无线拉力传感器,2n、第四无线拉力传感器,2o、风速仪,2p、造波板,2q、消波面板,2r、流速仪,2s、浪高仪,3、第一高速摄像机,3a、第二高速摄像机。

具体实施方式

[0034] 下面结合附图对本发明作进一步说明。

[0035] 如图1所示,一种浮式海上风电机组测量装置的测量方法,包括以下步骤:

[0036] 步骤1、实验模型的制作,为保证实验模型与实体严格符合几何相似条件,需要在实验模型的制作与模拟过程中,要按照统一的实验模型缩尺比,实验模型在海洋工程水池中试验时,需对这些尺度参数以及外形设计尺寸进行换算,通过公式(1)进行描述,

$$[0037] \quad \frac{h_s}{h_m} = \frac{H_s}{H_m} = \frac{\lambda_s}{\lambda_m} \quad (1)$$

[0038] 式中, h_m 为实验模型在试验时的水深、 H_m 为实验模型在试验时的波高、 λ_m 为实验模型在试验时的波长、 h_s 为实体在海上的实际水深、 H_s 为实体在海上的实际波高、 λ_s 为实体在海上的实际波长;

[0039] 步骤2、测量仪器的安装,两部高速摄像机分别设置于实验模型的正上方与正前方,这样便于利用立体视觉双摄像机标定算法,提供浮体运动的面内及面外位移时程曲线,以实现浮体运动三维变形的非接触快速全程测量,无线拉力传感器安放在风荷载等效装置中,用以测量牵引绳中的拉力,风速仪安装在水池边缘,可以根据需要进行安装与拆卸;浪高仪与流速仪置于水池中,用于监测实验模型所处环境的参数,即浪高、周期及流速;

[0040] 步骤3、气动荷载模拟系统与监控单元的搭接,将气动荷载模拟系统与监控单元进行有效的搭接,便于实时监控浮式风机的工作状态,从而调整气动荷载模拟系统中的参数,进而更好地模拟实际工程中的工作状态;

[0041] 步骤4、定常风的模拟,实验模型中需要模拟的风速通过公式(2)进行描述,

$$[0042] \quad V_{wm} = \frac{V_{ws}}{\sqrt{\lambda}} \quad (2)$$

[0043] 式中, V_{wm} 为实验模型中需要模拟的风速、 V_{ws} 为实体平均风速、 λ 为实验模型的缩尺比;

[0044] 步骤5、波浪的模拟,包括规则波的模拟和不规则波的模拟,其中规则波的模拟思路包括以下子步骤:

[0045] (a) 根据造波机能产生规则波的频率上限,即短周期的短波和频率下限,即长周期的长波,在此范围内等距分成10-12个造波的频率;

[0046] (b) 计算各频率相应的规则波周期和波长;

[0047] (c) 根据合适的波高与波长之比,确定各频率相应的规则波的波高;

[0048] (d) 对造波机的控制系统确定相应于各频率的摇板运动周期和振幅;

[0049] (e) 在水池中对10-12个造波频率逐一模拟相应的规则波,即总共需要模拟10-12个规则波,并用浪高仪测量所模拟规则波的时历曲线;

[0050] 不规则波的模拟思路包括以下子步骤:

[0051] (A) 根据给定的条件,应用计算机控制程序,产生造波机控制信号的时间序列,以此控制造波板的振幅与频率,从而在水池中产生不规则的波浪;

[0052] (B) 采用浪高仪在试验持续时间内测量水池中不规则波的数据,进行谱分析后便得到模拟的波谱,如果模拟的波谱与给定的目标波谱差别较大,则应修正控制信号的时间序列,重新造波;

[0053] (C) 谱的迭代修正,在不规则波的模拟过程中,第一次是以给定的目标波谱作为驱动谱生成驱动信号,由此在水池中产生不规则波的实测波谱,如果实测波谱与给定的目标波谱有差异,需对驱动谱通过公式(3)进行修正,

$$[0054] \quad \frac{S_{d1}}{S_{m1}} = \frac{S_{d2}}{S_T} \quad (3)$$

[0055] 式中, S_{d1} 为驱动谱、 S_{m1} 为实测波谱、 S_{d2} 为修正后的驱动谱、 S_T 为目标波谱;采用修正后的驱动谱 S_{d2} 生成驱动信号,在水池中第二次模拟不规则波浪,测量分析得到的实测波谱是 S_{m2} ,如果 S_{m2} 能够满足目标波谱 S_T 的要求,便完成了给定条件不规则波浪的模拟工作,否则要重新修正,再次在水池中模拟不规则波浪,如此反复迭代修正,直到满意为止;

[0056] 步骤6、工作指令的发送、通过运动控制计算机向测量仪器发送工作指令,操控高速摄像机的工作状态,将观察到的画面进行放大与缩小,以适应监测系统的需要。

[0057] 步骤7、监测信息的反馈,浮式风机模型通过编码器信号的形式将测量仪器测得的数据传递给伺服驱动器,接下来,伺服驱动器将编码器信号传递给编码器接口卡,编码器接口卡通过ISA总线与运动控制计算机相连,从而使实验模型的监测信息得以传送给运动控制计算机,以实现监测信息实时有效的反馈。

[0058] 如图2、3、4所示,所述测量方法中的测量装置,包括操纵系统部分及实验模型部分,所述操纵系统部分,包括气动荷载模拟系统、监控单元、运动控制计算机、编码器接口卡和伺服驱动器,所述气动荷载模拟系统与监控单元相连,监控单元与运动控制计算机之间通过以太网相连,运动控制计算机与编码器接口卡之间通过ISA总线相连,所述伺服驱动器还分别与运动控制计算机、编码器接口卡及实验模型部分相连;由运动控制计算机对伺服驱动器发送控制信号,伺服驱动器会通过伺服驱动来控制实验模型部分,同时,实验模型部分会将编码器信号通过伺服驱动器反馈给编码器接口卡,最终传给气动荷载模拟系统,实现气动荷载模拟系统与实验模型部分之间的信息传递;所述实验模型部分,包括水池2及置于水池2中的风机模型1,水池2内侧四周边缘凸台上安装有第一、二、三、四电动缸2a、2b、2c、2d,第一、二、三、四、五、六滑轮道组2e、2f、2g、2h、2i、2j,第一、二、三、四无线拉力传感器2k、2l、2m、2n及风速仪2o,所述第一电动缸2a通过第一滑轮道组2e及牵引线与风机模型叶片1a端点D连接,第一电动缸2a还通过第二无线拉力传感器2l、第二滑轮道组2f及牵引线与风机模型叶片1a端点B连接,当第一电动缸2a工作时,带动与其相连的第一、二滑轮道组2e、2f及第二无线拉力传感器2l工作并通过牵引线将力传递给与其相连的风机模型叶片1a上,进而来模拟风机模型1的推力;所述第二电动缸2b通过第三滑轮道组2g及牵引线与风机模型叶片1a端点C连接,第二电动缸2b还通过第四无线拉力传感器2n、第四滑轮道组2h及牵引线与风机模型叶片1a端点A连接,当第二电动缸2b工作时,带动与其相连的第三、四滑轮道组2g、2h及第四无线拉力传感器2n工作并通过牵引线将力传递给与其相连的风机模型叶

片1a上,进而来模拟风机模型1的恢复力;所述第三电动缸2c通过第五滑轮道组2i、第一无线拉力传感器2k及牵引线与风机模型叶片1a端点A连接,所述第四电动缸2d通过第六滑轮道组2j、第三无线拉力传感器2m及牵引线与风机模型叶片1a端点C连接,当第三电动缸2c和第四电动缸2d工作时,分别带动与其相连的第五、六滑轮道组2i、2j,第一、三无线拉力传感器2k、2m工作并通过牵引线将力传递给与其相连的风机模型叶片1a上,进而来模拟风机模型1的扭矩,所述伺服驱动器分别与第一、二、三、四电动缸2a、2b、2c、2d相连;所述实验模型的上方及前方分别设置有第一、二高速摄像机3、3a用于对整个测量装置的非接触快速全程测量,所述水池2内壁上分别安装有造波板2p和消波面板2q,水池2底部安装有流速仪2r,水池2中的水面上悬置有浪高仪2s,实验过程中,造波板2p推动水池2中的水作往复运动,浪高仪2s实时监测通过其所在位置的浪高与周期,流速仪2r实时监测通过其所在位置的水流速度及方向,浪高仪2s与流速仪2r将其所测到的参数通过数据线传递给伺服驱动器。消波面板2q起到了消减波浪的作用,用以防止波浪碰到水池2内壁反射后所形成的反射波浪与造波板2p造的波浪相互干扰,影响实验效果。

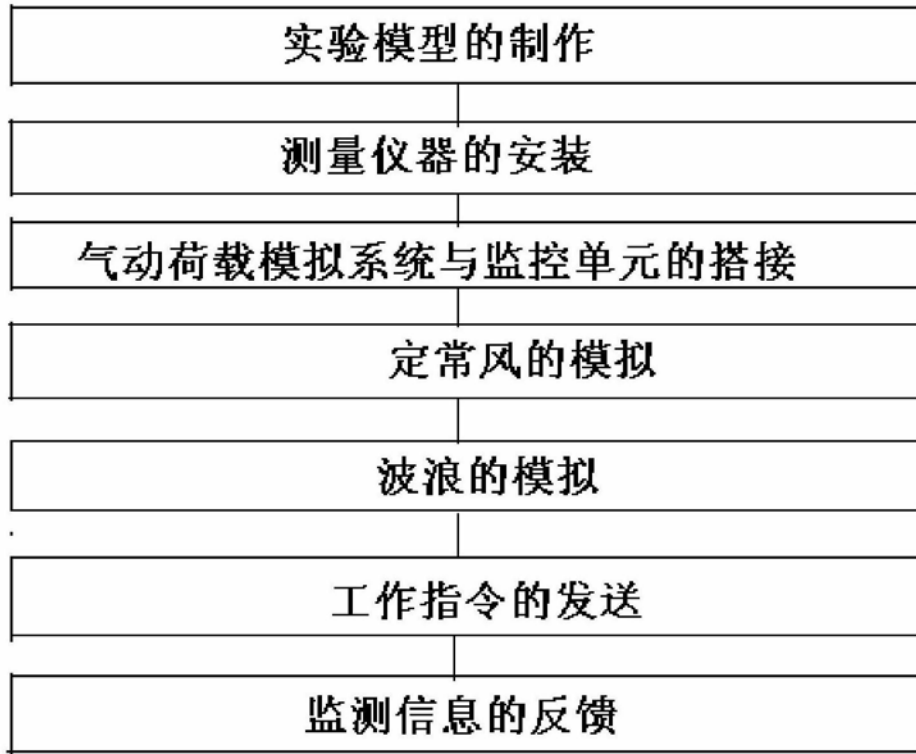


图1

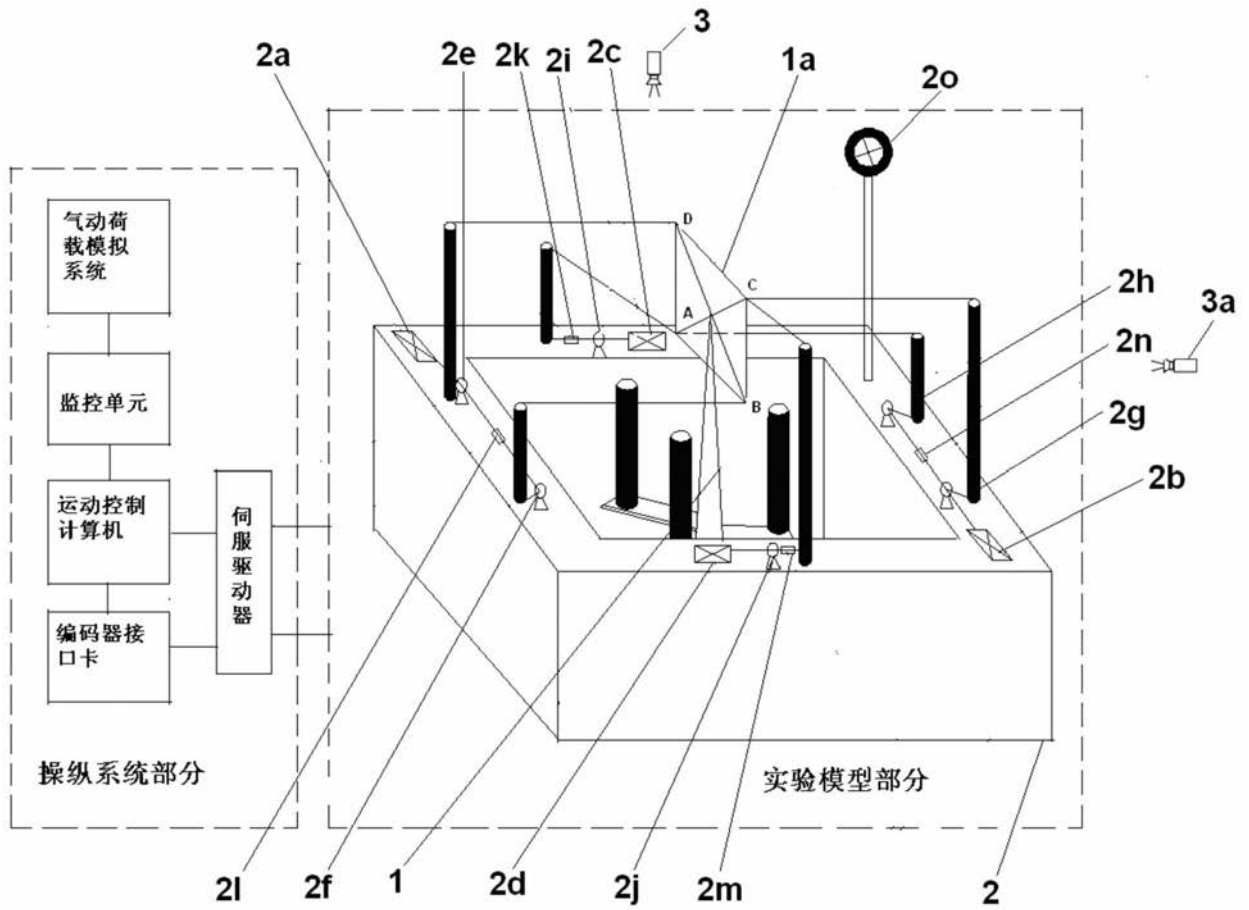


图2

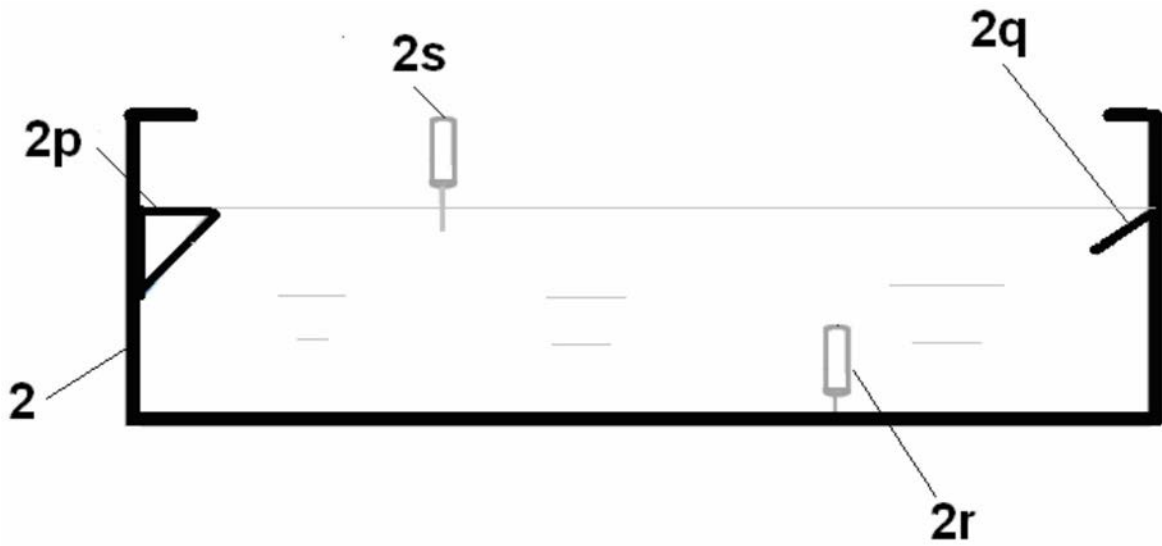


图3



图4