

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G01N 33/00 (2006.01)

G01N 35/00 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200410033634.3

[45] 授权公告日 2006年5月24日

[11] 授权公告号 CN 1257407C

[22] 申请日 2004.4.14

[21] 申请号 200410033634.3

[71] 专利权人 中国科学院力学研究所  
地址 100080 北京市海淀区北四环西路15号

[72] 发明人 高福平 吴应湘 郑之初 杨兵  
周永 李茜

审查员 卫军

[74] 专利代理机构 北京中创阳光知识产权代理有限公司  
代理人 尹振启

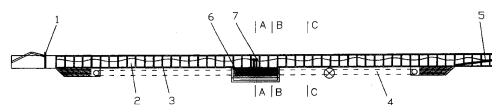
权利要求书1页 说明书3页 附图3页

## [54] 发明名称

‘波流-结构物-海床’动力耦合实验模拟方法及其装置

## [57] 摘要

本发明公开了一种‘波流-结构物-海床’动力耦合实验模拟方法，该方法利用一个模拟实验水槽，将模拟结构物沉放在模拟实验水槽中的模拟海床上，通过传感器对结构物所受的动载、关键部位的动态响应，及其动态位移变化进行检测，设置波高仪、设置PIV粒子图像测速仪、多普勒激光测速仪，对波浪高度、结构物周围流场的速度进行检测，并通过孔隙水压力传感器和土压力盒，对土体的动态响应情况进行检测，最后通过多通道数据采集系统对检测数据进行同步采集和处理，以真实再现结构物的实际受力状况。本发明还公开了一种模拟实验水槽，该模拟实验水槽槽底设置有一海床模拟槽，模拟槽内填充有模拟海床土体。本方法可真实再现结构物实际受力状态。



1. 一种‘波流-结构物-海床’动力耦合实验模拟方法，具体为：
  - ① 利用一个带有海床模拟装置的模拟实验水槽；
  - 5 ② 将模拟结构物沉放在模拟实验水槽中的模拟海床上；
  - ③ 在结构物上安装多分力传感器和位移传感器，对结构物所受的动  
载、关键部位的动态响应，及其动态位移变化进行检测；
  - ④ 设置波高仪，用以测量波浪高度的时程变化；
  - ⑤ 设置 PIV 粒子图像测速仪，对结构物周围平面流场和三维流场的  
10 速度进行测量；
  - ⑥ 设置多普勒激光测速仪，对结构物周围流场中的关键位置进行定  
点流速测量；
  - ⑦ 在模拟海床土体中埋设孔隙水压力传感器和土压力盒，对土体在  
波浪和海流作用下的动态响应情况进行检测；
  - 15 ⑧ 将上述多分力传感器、位移传感器、孔隙水压力传感器及 PIV 粒  
子图像测速仪、多普勒激光测速仪、波高仪和土压力盒所测量的  
数据通过多通道数据采集系统进行同步采集，并将采集到的实验  
数据送入数据处理系统进行处理，并进行‘流体-结构-土体’耦  
合作用分析。
- 20 2. 如权利要求 1 所述的‘波流-结构物-海床’动力耦合实验模拟方法，  
其特征在于，在所述模拟实验水槽上还设置有高清晰度摄象机，对模  
拟海床土体表面形态变化进行记录。
3. 一种实施权利要求 1 或 2 所述实验模拟方法时所用的模拟实验水槽，  
其特征在于，该模拟实验水槽包括模拟海流的循环水系统，其两端分  
25 别设置有波浪发生及波浪吸收装置，水槽槽底设置有一具有适当深度  
及长度的海床模拟槽，模拟槽内填充有模拟海床土体，土体上表面与  
水槽槽底齐平。
4. 如权利要求 3 所述的模拟实验水槽，其特征在于，所述水槽侧壁由框  
架及透明材料制成。
- 30 5. 如权利要求 4 所述的模拟实验水槽，其特征在于，所述海床模拟槽的  
侧壁上还设置有土体观察窗。

## ‘波流-结构物-海床’动力耦合实验模拟方法及其装置

### 5 技术领域

本发明涉及一种对海洋结构物的稳定性进行研究的‘波流-结构物-海床’动力耦合实验模拟方法及其装置。

### 10 背景技术

在海洋石油开采和港口工程建设中，要保证海洋结构物（如海洋平台、海底管道、防波堤等）在波浪和海流作用下的稳定性。每年由于波流载荷作用引起的海洋结构物失稳事故不胜枚举。例如，我国渤海海域由于潮流的冲刷引起管线悬空距海底高达 2 英尺，跨度达 440 英尺的严重情况；去年我国平湖油田发生了输气管线由于淘蚀而发生断裂的严重事故。

自二十世纪五十年代开始，从造船、水利、水电、航运、海洋工程、水下武器系统研制的要求出发，国内外高等院校及产业部门建造了各种规格的模拟实验水槽，并通过这些模拟实验水槽对‘波浪-海流’、‘波浪-结构’、‘潮流-结构’以及‘风-浪’等方面的耦合作用问题进行研究。而对于‘结构-海床’之间的相互作用情况，则通常通过沙箱及沙箱上设置的激振器等加载装置来进行。由于建造于海床上的海洋结构在波流载荷作用下的稳定性是‘波流-结构物-海床’三者之间的动力耦合作用问题，其中涉及到流体力学、结构力学和岩土力学等多种学科，仅依靠现有的模拟实验水槽及沙箱等实验装置无法再现海洋结构物的实际受力状况，也就无法为海洋结构物的建造提供准确的实验参考数据。

### 发明内容

30

针对现有技术存在的不足，本发明的目的是提供一种能够较准确地反映‘波流-结构物-海床’三者之间的动力耦合作用情况的实验方法，同时提供一种在该方法中所用的模拟实验水槽。

为达到上述目的，本发明‘波流-结构物-海床’动力耦合实验模拟方法具体为：

35

- ① 利用一个带有海床模拟装置的模拟实验水槽；
- ② 将模拟结构物沉放在模拟实验水槽中的模拟海床上；
- ③ 在结构物上安装多分力传感器和位移传感器，对结构物所受的动

载、关键部位的动态响应，及其动态位移变化进行检测；

- ④ 设置波高仪，用以测量波浪高度的时程变化；
- ⑤ 设置 PIV 粒子图像测速仪，对结构物周围平面流场和三维流场的速度进行测量；
- 5 ⑥ 设置多普勒激光测速仪，对结构物周围流场中的关键位置进行定点流速测量；
- ⑦ 在模拟海床土体中埋设孔隙水压力传感器和土压力盒，对土体在波浪和海流作用下的动态响应情况进行检测；
- 10 ⑧ 将上述多分力传感器、位移传感器、孔隙水压力传感器及 PIV 粒子图像测速仪、多普勒激光测速仪、波高仪和土压力盒所测量的数据通过多通道数据采集系统进行同步采集，并将采集到的实验数据送入数据处理系统进行处理，并进行‘流体-结构-土体’耦合作用分析。

进一步地，在所述模拟实验水槽上还设置有高清晰度摄像机，对模拟海床土体表面形态变化进行记录。

实施上述实验模拟方法时所用的一种模拟实验水槽，该模拟实验水槽包括模拟海流的循环水系统，其两端分别设置有波浪发生及波浪吸收装置，水槽槽底设置有一具有适当深度及长度的海床模拟槽，模拟槽内填充有模拟海床土体，土体上表面与水槽槽底齐平。

进一步地，所述水槽侧壁由框架及透明材料制成。

进一步地，所述海床模拟槽的侧壁上还设置有土体观察窗。

因本实验模拟方法可同时获取波浪、结构物、海床三者的动态数据，依据这些数据可对海洋结构物在‘波流-结构物-海床’三者的动力耦合作用下的稳定性进行分析，因此克服了现有模拟实验存在的实验数据单一、不同实验数据之间无法匹配，不能真实再现结构物实际受力状态的问题，为海洋结构物的设计提供了技术保障。

#### 附图说明

- 30 图 1 为本发明模拟实验水槽结构示意图；
- 图 2 为模拟实验水槽俯视图；
- 图 3 为图 1 中 A-A 剖视图；
- 图 4 为图 1 中 B-B 剖视图；
- 图 5 为图 1 中 C-C 剖视图；
- 35 图 6 为本发明实验模拟方法数据检测系统结构框图。

#### 具体实施方式

图 1 所示为模拟实验水槽，水槽一端设置有波浪发生装置 1，波浪吸收装置 5 设置在水槽另一端，水槽中部设置有与水槽等宽的海床模拟槽 6，模拟槽 6 内填充有海床模拟土体，土体上表面与水槽底齐平，结构物 7 固定在海床模拟土体中，水槽侧壁由框架 3 和玻璃 2 构成，水槽下方设置 5 设置有循环系统 4。

如图 2 所示，海床模拟槽 6 一侧设置有略深的槽 8，海床模拟槽 6 位于槽 8 一侧的侧壁上设置有观察窗 9。

图 3、图 4、图 5 所示为海床模拟槽 6 处及水槽断面示意图，海床模拟槽 6 中土体上表面与水槽底齐平。

10 图 6 所示为数据检测系统构成框图，该框图中的数据处理系统由信号放大器、信号滤波器、A/D 转换器和计算机构成。

使用时，水槽内注满水，将多分力传感器、位移传感器安装在结构物 7 上端，结构物 7 的节点等关键部位粘贴有电阻应变片，水槽上安装有 PIV 粒子图像测速仪、多普勒激光测速仪和波高仪，海床模拟土体中 15 埋设有孔隙水压力传感器和土压力盒，槽 8 中设置有高清晰度摄像机。

启动波浪发生装置，波浪沿水槽传递，并对结构物 7 施加动载荷，结构物在承受波浪动载的同时，不但自身发生变化，而且将力传递到土体中，使土体随之发生变化，在波浪的作用下，土体中的孔隙水压力随之改变，波浪在越过结构物 7 时，因受到阻挡，结构物周围的流场相应 20 改变。开启各仪器对同一时间的波浪浪高、流速、结构物受到的动载荷、结构物的变形、位移、孔隙水压力的变化、土体压力的变化等进行检测，并将检测数据传输给数据处理系统进行处理。

因海洋结构物在海洋中的受力状况极其复杂，单纯模拟波浪-海流、波浪-结构、潮流-结构、海床-结构的耦合作用，不可能准确反映出结构 25 物的真实受力情况，而本方法采集的是在同一时间波浪、结构物、海床三者产生的动态数据，依据这些数据可以再现三者的耦合作用状况，因此，本发明实验模拟方法更接近于结构物的实际受力情况。

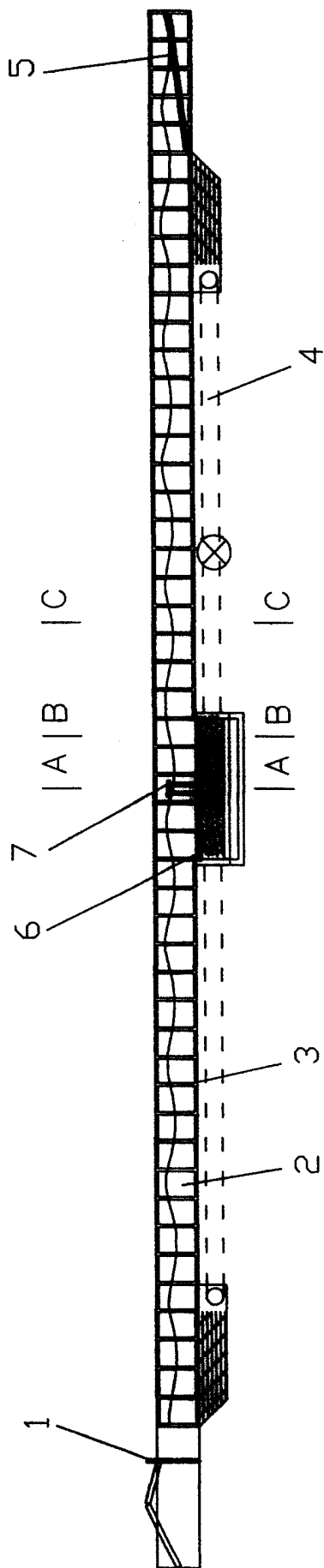


图1

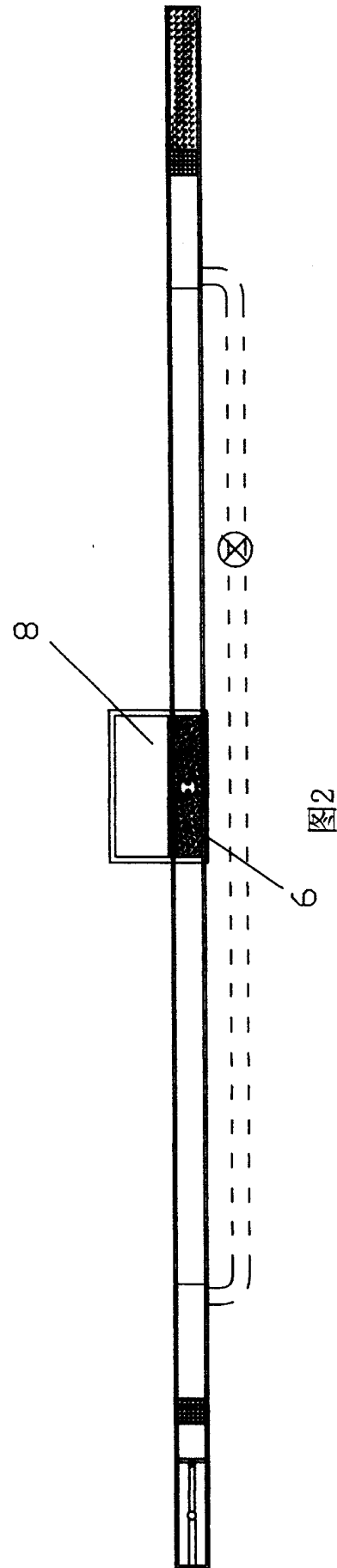


图2

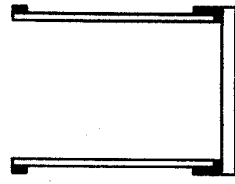


图5

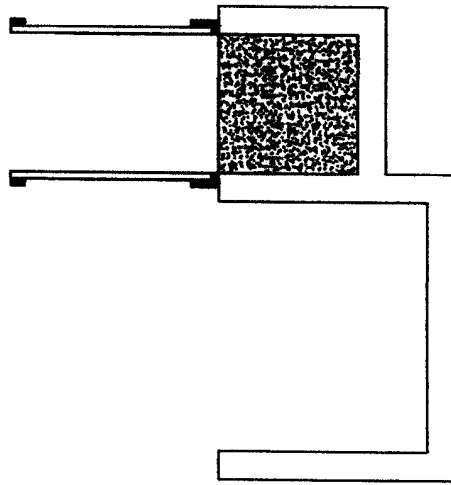


图4

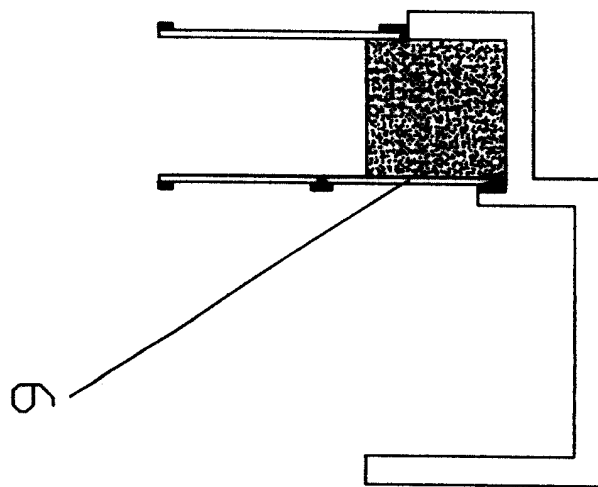


图3

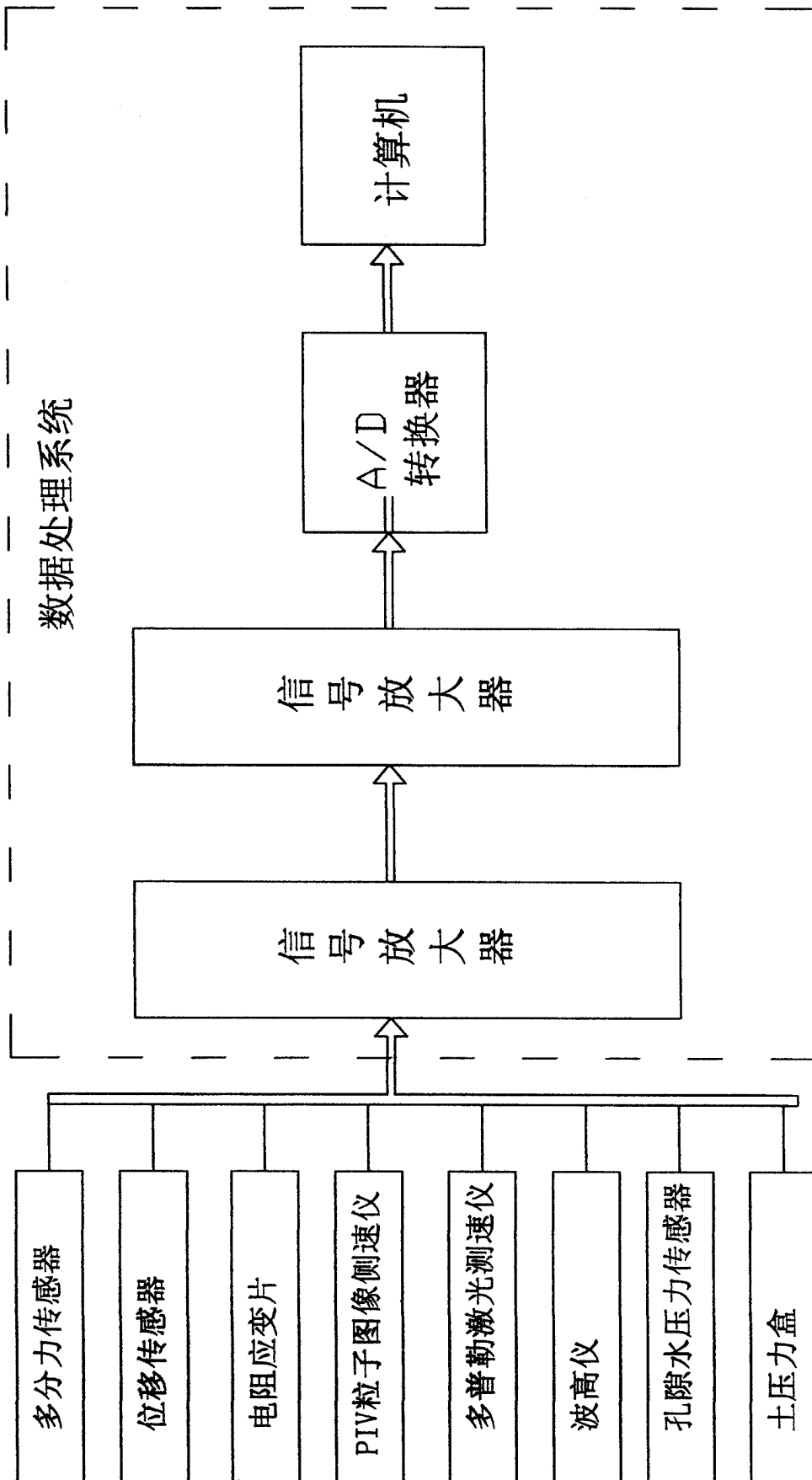


图6