



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103954418 A

(43) 申请公布日 2014. 07. 30

(21) 申请号 201410162672. 2

(22) 申请日 2014. 04. 22

(71) 申请人 太原理工大学

地址 030024 山西省太原市万柏林区迎泽西大街 79 号

(72) 发明人 武晓东 张祺

(74) 专利代理机构 太原市科瑞达专利代理有限公司 14101

代理人 江淑兰

(51) Int. Cl.

G01M 7/02 (2006. 01)

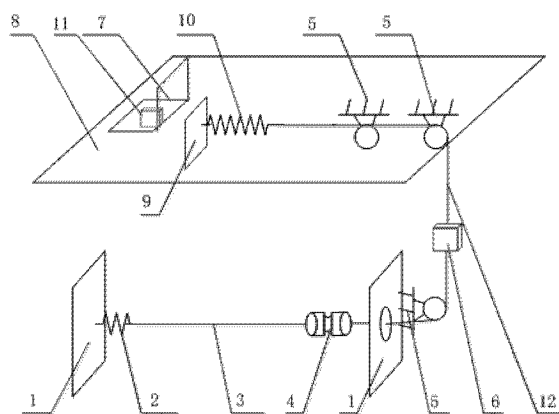
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

大长径比结构物涡激振动行波的测试系统

(57) 摘要

本发明公开了一种大长径比结构物涡激振动行波的测试系统,属于海洋工程技术领域的实验测试系统。包括拖车、实验模型、模型约束装置、张力装置、测量装置;模型左端通过弹簧连接到车厢侧板上,模型右端通过万向节经过三个定滑轮连到安装板的弹簧上;安装板上的弹簧提供模型的初始张力;光栅应变传感器、张力计、加速度传感器分散布置于实验模型、张力装置、以及安装板之中。本发明的模型约束方式有利于结构物模型在拖车拖动下产生涡激振动行波,同时本发明的张力系统可实现模型端部张力的任意控制,从而研究模型在不同张力下的行波传播情况。



1. 大长径比结构物涡激振动行波的测试系统,其特征在于:包括拖车、实验模型、模型约束装置、张力装置、测量装置;实验模型通过模型约束装置连接到拖车侧板上,拖车侧板上设有安装轴;模型约束装置包括弹簧一、万向节,实验模型一端与弹簧一连接,另一端与万向节连接,万向节上设有滚珠轴承,滚珠轴承通过滚珠轴承夹具固定在拖车侧板的安装轴上;张力装置包括钢丝绳、定滑轮、张力计、弹簧二、弹簧二固定板,万向节与钢丝绳连接,钢丝绳依次穿过拖车侧板、绕过三个定滑轮与另一端的弹簧二连接,钢丝绳上设有张力计;弹簧二固定板设置在安装板上,安装板上设有加速度传感器固定板;测量装置包括光栅应变传感器、加速度传感器、数据线、信号放大器、计算机,光栅应变传感器设置在实验模型上,加速度传感器固定在加速度传感器固定板上,光栅应变传感器和加速度传感器将实测到的应变和加速度信号通过数据线、信号放大器传输到计算机内,张力计与计算机连接,将测得的力信号传递给计算机,计算机对采集到的数据信号进行处理。

2. 根据权利要求1所述的大长径比结构物涡激振动行波的测试系统,其特征在于:所述实验模型为直径6mm、长度3.31m的铝管,模型的长径比为551,铝管壁厚为1mm,模型两端设有连接孔,模型通过连接孔连接到模型两端的约束装置上。

3. 根据权利要求1所述的大长径比结构物涡激振动行波的测试系统,其特征在于:所述安装板为长方形钢板。

4. 根据权利要求1所述的大长径比结构物涡激振动行波的测试系统,其特征在于:所述实验模型上布置两列光栅应变传感器,光栅应变传感器沿模型圆周方向间隔90度设置在模型表面,沿模型轴向贴置于模型上。

5. 根据权利要求1所述的大长径比结构物涡激振动行波的测试系统,其特征在于:所述光栅应变传感器在模型上位置由光栅应变传感器位置画线工具确定,位置画线工具由模型固定滑块和划线滑块组成,两个固定滑块设置在模型两端,固定滑块为长方体结构,中心设有通孔一;划线滑块为正方体结构,且在中心设有通孔二,沿通孔二向外设有两个垂直的铅笔孔,铅笔插入铅笔孔中,铅笔尖与实验模型接触。

6. 根据权利要求1所述的大长径比结构物涡激振动行波的测试系统,其特征在于:所述滚珠轴承的滚珠设置在滚珠槽内,滚珠在滚珠槽内滑动,滚珠槽位于滚珠轴承内壁;滚珠轴承为一端加工有卡位台阶的圆筒,圆筒内壁的卡位台阶控制滚珠滑出滚珠槽,圆筒外壁的卡位台阶固定滚珠轴承夹具。

大长径比结构物涡激振动行波的测试系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种海洋工程技术领域的实验测试系统,具体地说,涉及的是一种测试大长径比结构物涡激振动行波特性的测试系统。

背景技术

[0002] 近年来,由于世界各国对油气资源的大量需求,离岸的油气开发已经逐渐从近海迈向深海区域。在深海区域内服役的海洋结构物如海洋立管和输油管面临较为突出的涡激振动问题,这些结构物的长度与直径比达到102到103量级,属于大长径比结构物。同样地,水中悬浮隧道的重要组成部分锚索也是面临涡激振动问题的一类大长径比结构物。涡激振动是由漩涡脱落诱发的流体力激发的结构物振动,是上述大长径比结构物结构物发生疲劳破坏的主要诱因之一,研究此类结构物的涡激振动,对其安全性显得尤为重要。

[0003] 与小长径比结构物相比,大长径比结构物的涡激振动有着鲜明的不同,其中行波振动是其最显著特征之一。研究行波振动有着重要的意义,首先,由于判断行波是否出现是大长径比结构物疲劳寿命预测的前提。以往绝大多数涡激振动预测模型都是基于结构物仅发生驻波振动这一假设,当发生行波振动时,这些预测模型无法预测结构物的疲劳寿命。其次,结构物发生行波振动时,其动力学特征明显不同于驻波,而且这些特征对于结构物安全性的影响不同于驻波。

[0004] 目前,模型试验是研究大长径比结构物涡激振动行波特征最可靠和最主要的研究手段之一。通过模型试验,可以较为全面地观察到涡激振动行波现象及其特征,获得较为可靠的实验结果。同时试验可用来检验理论分析和数值模拟的精度。

[0005] 振动波包括行波和驻波,根据已有的一些结论,响应是由行波和驻波迭加而成,行波传播到模型边界处发生反射,反射波和入射波在模型边界处迭加成驻波,而且随着驻波逐渐靠近模型顶端,驻波的幅值逐渐增加。麻省理工学院 Vandiver 教授等指出,可使用波动参数来预测响应的波动类型,其中是水动力学阻尼,是模态阶数。他们建议,如果这个参数小于0.2,响应就呈清晰的驻波,如果参数大于2,行波就成了典型的特征,当参数值在0.2到2时,响应就是行波和驻波的迭加。根据此结论,涡激振动实验中,行波往往发生在结构物的高阶模态中,结构物模型的长径比,即长度和直径之比很大,需要较为复杂和昂贵的实验设备,这就使得实施这一类型的实验显得较为困难。这些实验中,一般将应变响应作为响应的首要来源,部分原因是由于应变响应直接和结构物疲劳相关。加速度和位移响应一般作为辅助的测量。测量设备需要高测量采样率以及良好的时间同步。另外传感器的空间分布也需要仔细考虑。

[0006] 涡激振动行波实验模型装置的设计目标是,测得的振动响应能够展现模型行波传播的重要特性。为了使模型发生行波振动,需要仔细选择模型材料、模型结构、模型顶端张力、模型端部约束,此外模型周围的流场也需要仔细考虑。

[0007] 目前,国内外不同机构开展了一系列涡激振动实验,但观察到行波振动的实验并不多。由于行波振动需要实验模型的长径比较大,故此类实验一般是在大尺度水池或是实

际海洋中进行,这些实验中长径比可作为关键参数来考量。比如:麻省理工学院 Vandiver 教授课题组在墨西哥湾中进行了大长径比结构物涡激振动的外场实验,实验中观察到了行波振动,模型长径比超过了 3000,模型一端采用万向节连接,并用张力计和倾角计测量张力和倾斜角度,模型另一端连接有重物来施加张力。Trim 等在执行 NDP 项目的过程中,实施了一系列大长径比结构物涡激振动,实验过程中观察到了行波振动,模型长度为 38m,直径为 0.027m,两端采用万向节连接。经分析,以上代表性的实验工作并不是为了系统地观察行波现象,模型端部的约束方式、张力控制方式以及传感器布置没有考虑到观察行波现象的需求,例如,没有采用完全弹簧连接的约束方式,模型张力也不能任意调节。

发明内容

[0008] 针对上述问题,本发明提供了一种系统观察涡激振动行波现象并研究行波振动特性的测试系统。

[0009] 本发明采用如下技术方案:

本发明提供了一种大长径比结构物涡激振动行波的测试系统,包括拖车、实验模型、模型约束装置、张力装置、测量装置;实验模型通过模型约束装置连接到拖车侧板上,拖车侧板上设有安装轴;模型约束装置包括弹簧一、万向节,实验模型一端与弹簧一连接,另一端与万向节连接,万向节上设有滚珠轴承,滚珠轴承通过滚珠轴承夹具固定在拖车侧板的安装轴上;张力装置包括钢丝绳、定滑轮、张力计、弹簧二、弹簧二固定板,万向节与钢丝绳连接,钢丝绳依次穿过拖车侧板、绕过三个定滑轮与另一端的弹簧二连接,钢丝绳上设有张力计;弹簧二固定板设置在安装板上,安装板上设有加速度传感器固定板;测量装置包括光栅应变传感器、加速度传感器、数据线、信号放大器、计算机,光栅应变传感器设置在实验模型上,加速度传感器固定在加速度传感器固定板上,光栅应变传感器和加速度传感器将实测到的应变和加速度信号通过数据线、信号放大器传输到计算机内,张力计与计算机连接,将测得的力信号传递给计算机,然后由计算机对采集到的数据信号进行处理。

[0010] 进一步地,所述实验模型为直径 6mm、长度 3.31m 的铝管,模型的长径比为 551,铝管壁厚为 1mm,模型两端设有连接孔,模型通过连接孔连接到模型两端的约束装置上。

[0011] 进一步地,所述安装板为长方形钢板。

[0012] 进一步地,所述实验模型上布置两列光栅应变传感器,两列光栅应变传感器沿模型圆周方向间隔 90 度设置在模型表面,沿模型轴向贴置于模型上。光栅应变传感器在模型上的位置由光栅应变传感器位置画线工具确定,位置画线工具由模型固定滑块和划线滑块组成,固定滑块为长方体结构,中心设有通孔一;划线滑块为正方体结构,且在中心设有通孔二,沿通孔二向外设有两个垂直的铅笔孔,铅笔插入铅笔孔中,铅笔尖与实验模型接触。本发明中,两个固定滑块设置在模型两端,当划线滑块沿着实验模型滑动时,两只铅笔会沿模型周向间隔 90 度画两条直线,两排光栅应变传感器分别贴于这两条直线上。

[0013] 进一步地,所述滚珠轴承的滚珠设置在滚珠槽内,滚珠可在滚珠槽内滑动,滚珠槽位于滚珠轴承内壁。滚珠轴承为一端加工有卡位台阶的圆筒,圆筒内壁的卡位台阶是为了防止滚珠滑出滚珠槽,圆筒外壁的卡位台阶是为了固定滚珠轴承夹具,本发明中,滚珠可有效减小万向节和滚珠轴承内壁之间的摩擦。

[0014] 实验模型横置于拖曳水池中进行涡激振动实验,实验模型左端通过弹簧一连接到

拖车侧板上,拖车在电机的驱动下在水池轨道上行进,拖车侧板被焊接到拖车上;实验模型右端通过万向节经过三个定滑轮连到弹簧二上;安装板上的弹簧二提供模型的初始张力。

[0015] 本发明自主设计了滚珠轴承,同时设置滚珠轴承夹具用于固定滚珠轴承的径向运动。在实验过程中减小摩擦。

[0016] 本发明的有益效果:

1、由于本发明设置了一端弹簧连接,一端通过万向节连接到弹簧的约束,相对以往模型试验两端均采用万向节连接的约束方式,本发明在模型端部能量衰减减小,更容易形成行波;

2、由于本发明包括万向节、滚珠轴承、滚珠轴承夹具、钢丝绳、三个定滑轮、张力计、弹簧、弹簧固定装置;滚珠轴承能减少摩擦,通过张力计测量张力,滚珠轴承和张力的采用能实现模型张力的精确控制,模型端部张力是实验中重要的控制参数;

3、本发明采用的滚珠轴承为自主设计,滚珠放在轴承槽内,滚珠轴承不仅能固定万向节的周向运动,而且减小万向节轴向运动带来的摩擦,滚珠能有效减小摩擦;

4、由于本发明采用了传感器位置划线工具,光栅应变传感器能精确地贴放在模型的相应位置。

附图说明

[0017] 图1为本发明测试系统的结构示意图。

[0018] 图2为万向节的结构示意图。

[0019] 图3为滚珠轴承的剖视图及其A-A向视图。

[0020] 图4为滚珠轴承夹具的主视图及俯视图。

[0021] 图5为光栅应变传感器贴放示意图。

[0022] 图6为固定滑块的剖视图及右视图。

[0023] 图7为划线滑块的剖视图及右视图。

[0024] 图中1为拖车侧板,2为弹簧一,3为实验模型,4为万向节,5为滑轮,6为张力计,7为加速度传感器安装板,8为安装板,9为弹簧二固定装置,10为弹簧二,11为加速度传感器,12为钢丝绳,13为滚珠槽,14为滚珠轴承安装孔,15为光栅应变传感器,16为固定滑块,17为划线滑块。

具体实施方式

[0025] 下面通过实施例来进一步说明本发明,但不局限于以下实施例。

[0026] 实施例:

图1示出了本发明测试系统的结构,该测试系统包括拖车,实验模型、模型约束装置、张力装置、测量装置;实验模型3横置于拖曳水池中进行涡激振动实验,实验模型3左端通过弹簧一2连接到拖车侧板1上,拖车在电机的驱动下在水池轨道上行进,拖车侧板1被焊接到拖车上。为了显示方便,图1仅画出拖车侧板1位于轨道下方的一部分。实验模型3右端通过万向节4经过三个定滑轮5连到弹簧二10上。安装板上的弹簧二10提供模型的初始张力。

[0027] 实验模型3为直径6mm、长度3.31m的铝管,铝管壁厚1mm,模型两端加工有连接

孔,模型通过连接孔连接到模型端部的约束上,模型的长径比为 551。

[0028] 如图 2-4 所示,模型约束装置包括弹簧一 2、弹簧二 10、万向节 4、滚珠轴承和滚珠轴承夹具。本实施例中,模型左端通过弹簧一 2 连接到模型侧板 1 上,模型右端连接有万向节 4,模型和万向节之间采用螺纹连接。图 2 为万向节,万向节通过左端的螺纹孔连接到模型右端,万向节右端的孔可系钢丝绳。图 3 为滚珠轴承,滚珠轴承套在为万向节 4 上,如图 3 所示,滚珠设置在滚珠槽 13 内,滚珠可在滚珠槽 13 内滑动,滚珠槽 13 位于滚珠轴承内壁;滚珠轴承为一端加工有卡位台阶的圆筒,圆筒内壁的卡位台阶防止滚珠滑出滚珠槽,圆筒外壁的卡位台阶固定滚珠轴承夹具。自主设计的滚珠轴承有以下优点:1、固定万向节的周向运动;2、减小万向节轴向运动带来的摩擦,滚珠能有效减小摩擦;图 4 为滚珠轴承夹具;滚珠轴承夹具用于固定滚珠轴承的径向运动,夹具上设有滚珠轴承安装孔 14。

[0029] 张力装置包括钢丝绳 12、三个定滑轮 5、张力计 6、弹簧二 10、弹簧二固定装置 9。使用钢丝绳将万向节 4 通过三个滑轮 5 连接到弹簧二 10 上,弹簧二 10 通过弹簧固定装置 9 安装到安装板 8 上。弹簧二 10、钢丝绳 12 之间串联有张力计 6。张力计 6 与数据采集系统相连接,张力计 6 将测得的力信号传递给数据采集系统。

[0030] 所述测量装置包括光栅应变传感器 15、加速度传感器 11、数据线、数据采集卡和计算机组成。加速度传感器安装板 7 被螺钉固定到安装板 8 上。加速度传感器安装板 7 可贴放加速度传感器 11 来检测拖车的振动噪声情况。如图 5 所示,布置两列平行于模型轴线的光栅应变传感器 15,两列光栅应变传感器沿模型圆周方向间隔 90 度设置在模型表面。

[0031] 光栅应变传感器位置画线工具包括模型固定滑块 16 和划线滑块 17 组成,两滑块为自主设计的非标准件。固定滑块 16 如图 6 所示,两个固定滑块 16 在模型两端固定住。如图 7 所示,划线滑块 17 正上方和侧面加工有两个圆孔,将铅笔插入圆孔,并且将铅笔尖与实验模型接触。本实施例中,当划线滑块 17 沿着实验模型滑动时,两只铅笔会沿模型周向间隔 90 度画两条直线。两排光栅应变传感器 15 分别贴于这两条直线上。本实验中,要测量模型来流方向和与来流方向成 90 度的横向这两个方向的应变,需要在这两个方向布置应变传感器,准确地将光栅应变传感器 15 贴于这两个方向是测量的关键,光栅应变传感器位置画线工具能保证传感器准确的贴放。

[0032] 下面介绍本发明用于实验的实施过程。拖车在电机的驱动下在水池轨道上行进,可通过拖车操控面板设置拖车的行进速度,从而获得模型在不同流速下的涡激振动行波传播情况。由于滚珠轴承摩擦力很小,张力计 6 受到的张力近似等于模型右端受到的张力。通过调节顶部弹簧 2 的拉伸情况可调节模型右端的初始张力,可得到模型在不同张力下的涡激振动行波传播情况。张力计 6 可实时监控模型右端受到的张力,便于实时监测,有助于实验结果的分析。加速度传感器 11 用来检测拖车的振动噪声情况。两列光栅应变传感器 15 负责测量模型横向以及顺流向的应变情况,然后试验数据分析人员对实验结果进行分析,从而研究不同张力和不同流速下的行波传播情况。

[0033] 安装板 8 用于固定弹簧固定装置 9、加速度传感器安装板 7 以及上方两个滑轮 5,非常方便上述装置的固定,此外安装板可放置常用安装工具,如钳子、改锥等。

[0034] 最后所应说明的是,以上仅用以说明而非本发明的技术方案,尽管上述实施例对本发明进行了详细说明,本领域的普通技术人员应当理解:依然可以对本发明进行修改或者等同交换,而不脱离本发明的精神和范围的任何修改和局部替换,其均应涵盖在本发明

的权利要求范围之内。

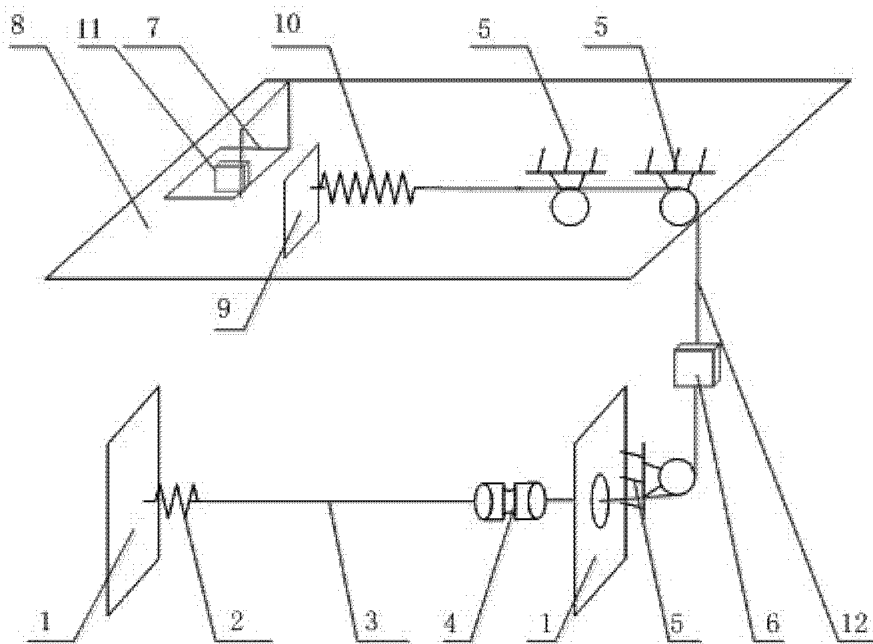


图 1

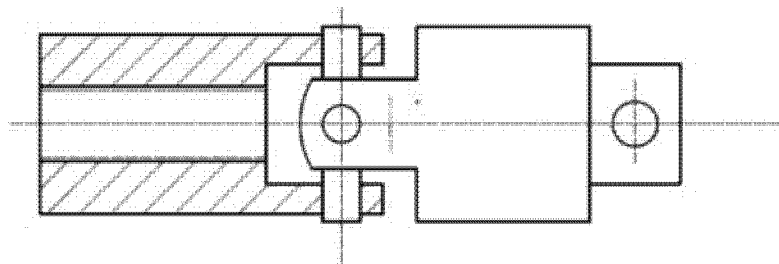


图 2

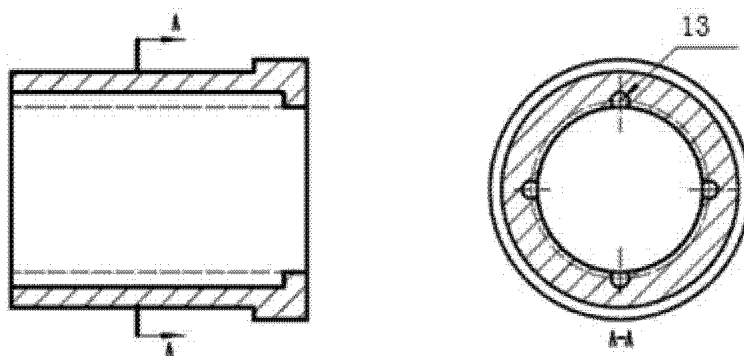


图 3

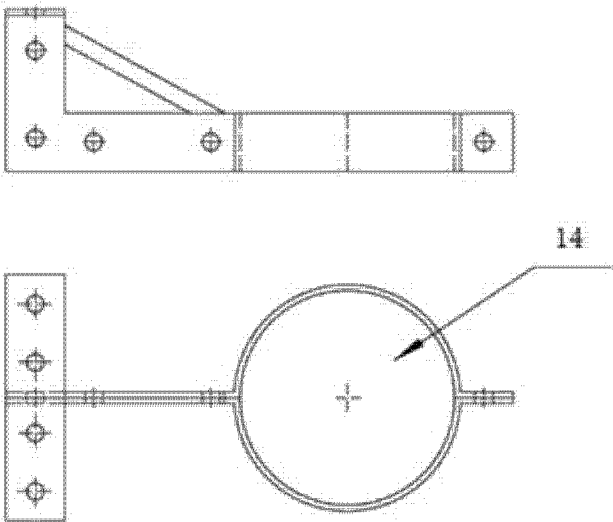


图 4

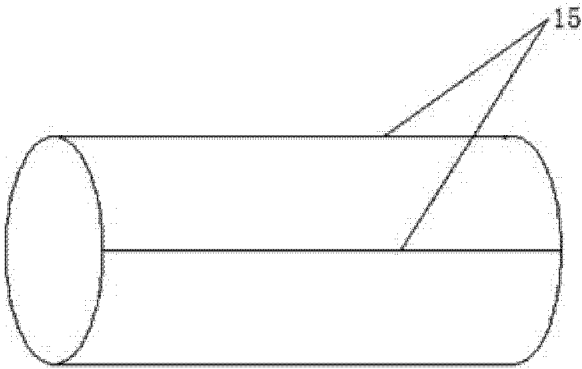


图 5

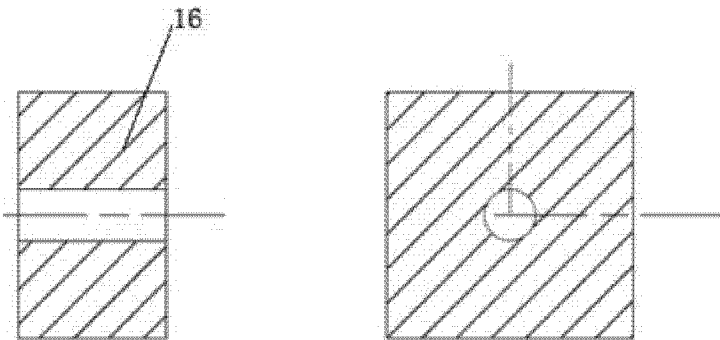


图 6

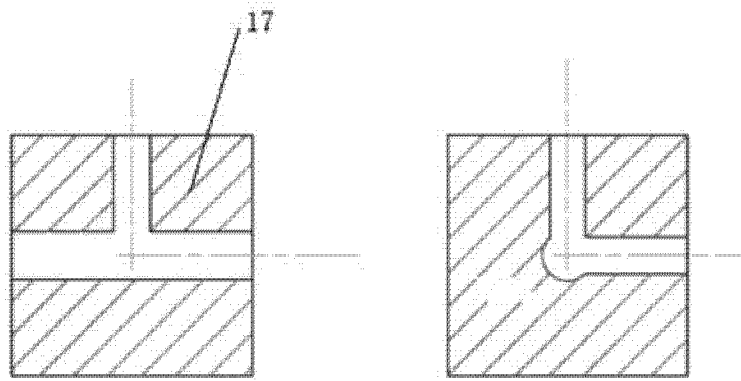


图 7