



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114136227 B

(45) 授权公告日 2022.12.23

(21) 申请号 202111433525.0

审查员 刘兵

(22) 申请日 2021.11.29

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 114136227 A

(43) 申请公布日 2022.03.04

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

(72) 发明人 宋吉祥 陈伟民 郭双喜

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理

事务所(普通合伙) 11390

专利代理师 吴迪

(51) Int. Cl.

G01B 11/16 (2006.01)

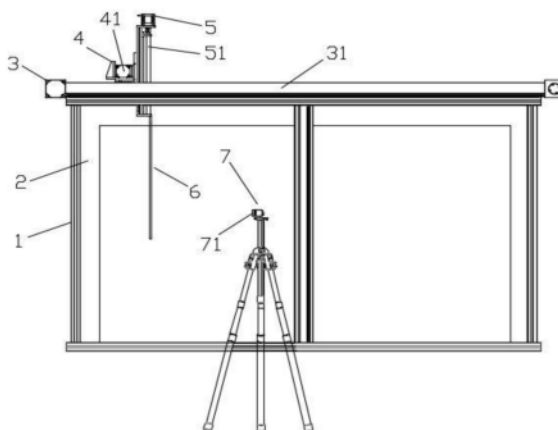
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种柔性构件拖曳实验的测变形装置

(57) 摘要

本发明涉及拖曳实验设备技术领域,提供了一种柔性构件拖曳实验的测变形装置,包括测变形框架,测变形框架上设置有透光的水槽,远离地面侧的测变形框架上分别设置有第一位移机构和第二位移机构及第三位移机构,第三位移机构上连接有用于连接柔性构件的连接机构,水槽外设置有对柔性构件的拖曳过程进行视频记录,并对视频记录的内容进行展示、处理并存储的变形测量系统;水槽、测变形框架上的第一位移机构和第二位移机构及第三位移机构、连接机构、变形测量系统共同实现对柔性构件进行测变形,测量出柔性构件的位移是柔性构件的实际变形,避免出现因为水与空气的密度不同时,光线会发生折射现象;显著减少了柔性构件的变形位移与测量值之间存在的偏差。



1. 一种柔性构件拖曳实验的测变形装置,包括装置本体,其特征在于,  
所述装置本体包括测变形框架,所述测变形框架上设置有用于进行实验的透光的水槽;

远离地面侧的所述测变形框架上分别设置有第一位移机构和第二位移机构及第三位移机构,所述第三位移机构上连接有用于连接柔性构件的连接机构;

所述水槽外设置有对所述柔性构件的拖曳过程进行视频记录,并对所述视频记录的内容进行展示、处理并存储的变形测量系统,

所述第一位移机构包括第一滑轨,所述第一滑轨上滑动连接有第一滑台;

所述第二位移机构包括第二滑轨,所述第二滑轨上滑动连接有第二滑台;

所述第二滑轨连接在所述第一滑台上,

所述第三位移机构包括与地面垂直设置并且连接在所述第二滑台上的第三滑轨,所述第三滑轨上滑动连接有第三滑台,

所述第二滑轨的高度高于所述第一滑轨的高度,并且所述第一滑轨与所述第二滑轨之间垂直设置,

所述连接机构连接在所述第三滑台上,

所述连接机构包括与所述第三滑台相连接并且垂直于地面的第一连接梁,远离所述第三滑台侧的所述第一连接梁上连接有平行于地面的第二连接梁,远离所述第一连接梁侧的所述第二连接梁上连接有用于夹持所述柔性构件的第一夹持件,

所述变形测量系统包括对所述柔性构件的拖曳过程进行视频记录的高速摄像机,所述高速摄像机将视频记录的内容传输至视频编辑软件,所述视频编辑软件提取视频记录内容中的目标图像以及所述目标图像中的关键帧,所述目标图像中的关键帧经图片处理软件提取所述柔性构件的变形形状,并对所述柔性构件的变形形状进行计算,

所述图片处理软件对所述柔性构件的变形形状进行计算的过程,包括:

导入图片步骤,导入所述柔性构件的变形图片;

建立坐标网格步骤,在背景板中选取一个靠近所述柔性构件和变形较小的方格,并设置X轴、Y轴的起和止坐标线;

对比步骤,获取所述变形图片中所述柔性构件的坐标,将所述坐标网格中的坐标与所述变形图片中所述柔性构件的坐标进行绘制对比与修正;

计算相对误差步骤,根据所述柔性构件的坐标计算出所述柔性构件的长度,并与所述柔性构件的实际尺寸进行对比分析,计算出相对误差,

当所述柔性构件的长度与所述柔性构件的实际尺寸的相对误差小于5%,所述变形图片中所述柔性构件的变形坐标数据则获取成功;

当所述柔性构件的长度与所述柔性构件的实际尺寸的相对误差大于5%,则重新确定坐标尺寸比例,并导入建立坐标网格步骤中依次执行。

2. 根据权利要求1所述的柔性构件拖曳实验的测变形装置,其特征在于,

所述测变形框架的自振频率大于所述柔性构件的自振频率的三倍。

## 一种柔性构件拖曳实验的测变形装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及拖曳实验设备技术领域,具体涉及一种柔性构件拖曳实验的测变形装置。

### 背景技术

[0002] 柔性构件在流体的作用下会发生大变形,该现象的研究对工程和生物学有着重要的意义。现有技术中已经开展了柔性构件在流体作用下的实验研究,但是对柔性构件变形通常采用价格昂贵的粒子图像测速仪PIV或者激光测速仪。该相关昂贵的设备虽然可以测量到结构特别微小的位移量,但是也存在如下问题:

[0003] (1) 仪器测量出的位移并不是柔性构件的实际变形,这是因为水与空气的密度不同,光线会发生折射现象。

[0004] (2) 仪器与柔性构件之间存在距离与夹角问题,柔性构件的变形位移与测量值之间存在偏差。

[0005] (3) 仪器设备过于昂贵,操作复杂,维护成本高昂。

[0006] 如何有效地解决上述技术问题,是目前本领域技术人员需解决的问题。

### 发明内容

[0007] 为了解决上述技术问题或者至少部分地解决上述技术问题,本发明提供了一种柔性构件拖曳实验的测变形装置。

[0008] 柔性构件拖曳实验的测变形装置,包括装置本体,所述装置本体包括测变形框架,所述测变形框架上设置有用于进行实验的透光的水槽;

[0009] 远离地面侧的所述测变形框架上分别设置有第一位移机构和第二位移机构及第三位移机构,所述第三位移机构上连接有用于连接柔性构件的连接机构;

[0010] 所述水槽外设置有对所述柔性构件的拖曳过程进行视频记录,并对所述视频记录的内容进行展示、处理并存储的变形测量系统。

[0011] 进一步地,所述第一位移机构包括第一滑轨,所述第一滑轨上滑动连接有第一滑台;

[0012] 所述第二位移机构包括第二滑轨,所述第二滑轨上滑动连接有第二滑台;

[0013] 所述第二滑轨连接在所述第一滑台上。

[0014] 进一步地,所述第三位移机构包括与地面垂直设置并且连接在所述第二滑台上的第三滑轨,所述第三滑轨上滑动连接有第三滑台。

[0015] 进一步地,所述第二滑轨的高度高于所述第一滑轨的高度,并且所述第一滑轨与所述第二滑轨之间垂直设置。

[0016] 进一步地,所述连接机构连接在所述第三滑台上。

[0017] 进一步地,所述连接机构包括与所述第三滑台相连接并且垂直于地面的第一连接梁,远离所述第三滑台侧的所述第一连接梁上连接有平行于地面的第二连接梁,远离所述

第一连接梁侧的所述第二连接梁上连接有用于夹持所述柔性构件的第一夹持件。

[0018] 进一步地,所述测变形框架的自振频率大于所述柔性构件的自振频率的三倍。

[0019] 进一步地,所述变形测量系统包括对所述柔性构件的拖曳过程进行视频记录的高速摄像机,所述高速摄像机将视频记录的内容传输至视频编辑软件,所述视频编辑软件提取视频记录内容中的目标图像以及所述目标图像中的关键帧,所述目标图像中的关键帧经图片处理软件提取所述柔性构件的变形形状,并对所述柔性构件的变形形状进行计算。

[0020] 进一步地,所述图片处理软件对所述柔性构件的变形形状进行计算的过程,包括:

[0021] 导入图片步骤,导入所述柔性构件的变形图片;

[0022] 建立坐标网格步骤,在背景板中选取一个靠近所述柔性构件和变形较小的方格,并设置X轴、Y轴的起和止坐标线;

[0023] 对比步骤,获取所述变形图片中所述柔性构件的坐标,将所述坐标网格中的坐标与所述变形图片中所述柔性构件的坐标进行绘制对比与修正;

[0024] 计算相对误差步骤,根据所述柔性构件的坐标计算出所述柔性构件的长度,并与所述柔性构件的实际尺寸进行对比分析,计算出相对误差。

[0025] 进一步地,当所述柔性构件的长度与所述柔性构件的实际尺寸的相对误差小于5%,所述变形图片中所述柔性构件的变形坐标数据则获取成功;

[0026] 当所述柔性构件的长度与所述柔性构件的实际尺寸的相对误差大于5%,则重新确定坐标尺寸比例,并导入建立坐标网格步骤中依次执行。

[0027] 在本发明中,水槽、测变形框架上的第一位移机构和第二位移机构及第三位移机构、连接机构、变形测量系统共同实现对柔性构件进行测变形,测量出柔性构件的位移是柔性构件的实际变形,避免出现因为水与空气的密度不同时,光线会发生折射现象所带来的影响。

[0028] 变形测量系统显著减少了其与柔性构件之间因距离与夹角而出现的柔性构件的变形位移与测量值之间存在的偏差。

[0029] 装置本体的结构简单易操作,并且降低了生产成本和维护成本。

## 附图说明

[0030] 图1是本发明提供的装置本体的剖视结构示意图;

[0031] 图2是本发明提供的装置本体的侧视剖视结构示意图;

[0032] 图3是本发明提供的当柔性构件为软PVC板,长0.15m,流速0.2m/s时,柔性构件的变形数据图;

[0033] 图4是本发明提供的当柔性构件为软PVC板,长0.20m,流速0.2m/s时,柔性构件的变形数据图;

[0034] 图5是本发明提供的当柔性构件为轻质PVC板,长0.20m,流速0.2m/s时,柔性构件的变形数据图;

[0035] 图6是本发明提供的当柔性构件为塑料薄膜板,长0.15m,流速0.15m/s时,柔性构件的变形数据图;

[0036] 附图标记:

[0037] 1、测变形框架;

- [0038] 2、水槽；  
[0039] 3、第一位移机构；31、第一滑台；  
[0040] 4、第二位移机构；41、第二滑台；  
[0041] 5、第三位移机构；51、第三滑台；  
[0042] 6、连接机构；61、第一连接梁；62、柔性构件；63、第二连接梁；  
[0043] 7、变形测量系统；71、高速摄像机。

### 具体实施方式

[0044] 为了能够更清楚地理解本发明的上述目的、特征和优点，下面结合附图和实施例对本发明作进一步的详细说明。可以理解的是，所描述的实施例是本发明的一部分实施例，而不是全部的实施例。以下实施例仅用于解释本发明，而非对本发明的限定。基于所描述的本发明的实施例，本领域普通技术人员所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范畴。若未特别指明，实施例中所用的技术手段为本领域技术人员所熟知的常规手段。

[0045] 需要说明的是，在本文中，诸如“第一”和“第二”等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来，而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。术语“连接”、“相连”等术语应作广义理解，例如，可以是固定连接，也可以是可拆卸连接，或成一体；可以是机械连接，也可以是电连接；可以是直接连接，也可以是通过中间媒介间接相连。术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含，从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素，而且还包括没有明确列出的其他要素，或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下，由语句“包括……”限定的要素，并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

[0046] 本发明提供的一实施例，结合图1和图2，一种柔性构件拖曳实验的测变形装置，包括装置本体，装置本体包括测变形框架1，测变形框架1上设置有用于进行实验的透光的水槽2；

[0047] 远离地面侧的测变形框架1上分别设置有第一位移机构3和第二位移机构4及第三位移机构5，第三位移机构5上连接有用于连接柔性构件62的连接机构6；

[0048] 水槽2外设置有对柔性构件62的拖曳过程进行视频记录，并对视频记录的内容进行展示、处理并存储的变形测量系统7。

[0049] 在本实施例中，水槽2、测变形框架1上的第一位移机构3和第二位移机构4及第三位移机构5、连接机构6、变形测量系统7共同实现对柔性构件62进行测变形，测量出柔性构件62的位移是柔性构件62的实际变形，避免出现因为水与空气的密度不同时，光线会发生折射现象所带来的影响。

[0050] 变形测量系统7显著减少了其与柔性构件62之间因距离与夹角而出现的柔性构件62的变形位移与测量值之间存在的偏差。

[0051] 装置本体的结构简单易操作，并且降低了生产成本和维护成本。

[0052] 本发明提供的又一实施例，结合图1和图2，第一位移机构3包括第一滑轨，第一滑轨上滑动连接有第一滑台31；

[0053] 第二位移机构4包括第二滑轨，第二滑轨上滑动连接有第二滑台41；

[0054] 第二滑轨连接在第一滑台上。

[0055] 在本实施例中,第一滑轨设置在水槽2的长边,将其设定为X向,第一滑台31沿X向行程2m,速度0~2.0m/s,加速度0~3.0m/s<sup>2</sup>。

[0056] 第二滑轨与第一滑轨的方向垂直,将第二滑轨设定为Y向,第二滑台41沿Y向行程0.7m,速度0~0.4m/s,加速度0~0.8m/s<sup>2</sup>。

[0057] 本发明提供的又一实施例,结合图1和图2,第三位移机构5包括与地面垂直设置并且连接在第二滑台41上的第三滑轨,第三滑轨上滑动连接有第三滑台51。

[0058] 在本实施例中,将第三滑轨设定为Z向,第三滑台51沿Z向行程0.3m,速度0~0.4m/s,加速度0~0.8m/s<sup>2</sup>。

[0059] 在本发明中,第一滑台31、第二滑台41、第三滑台51上分别设置有步进电机,第一滑台31、第二滑台41、第三滑台51均通过步进电机实现牵引柔性构件直线均匀或者加速运动,与静水产生相对运动,使水荷载作用于构件上。

[0060] 与循环水槽相对,对柔性构件62采用牵引方式下的水流的速度控制更加准确,水流在任意平面的速度相等,可以实现水流的层流状态,从而使作用于柔性构件上的流体荷载是均匀准确的。

[0061] 本发明提供的又一实施例,结合图1和图2,第二滑轨的高度高于第一滑轨的高度,并且第一滑轨与第二滑轨之间垂直设置。

[0062] 在本实施例中,第一滑轨与第二滑轨分别实现了不同方向的位移,从而使第二滑台41上的第三滑轨51实现不同方向的位移。

[0063] 为了进一步地说明第二滑轨与第一位移机构3之间的具体连接关系,本发明提供的又一实施例,如结合图1和图2,第二滑轨连接在第一滑台31上。

[0064] 本发明提供的又一实施例,如图2所示,连接机构6包括与第三滑台51相连接并且垂直于地面的第一连接梁61,远离第三滑台51侧的第一连接梁61上连接有平行于地面的第二连接梁63,远离第一连接梁61侧的第二连接梁63上连接有用于夹持柔性构件62的第一夹持件。

[0065] 在本实施例中,第三滑台51的位移带动了第一连接梁61、第二连接梁63和第一夹持件的同步位移,从而使柔性构件62实现同步的位移。

[0066] 为了便于第三滑台51与第一连接梁61之间的连接,可在第三滑台51上设置用于夹持第一连接梁61的第二夹持件。

[0067] 为了避免共振现象,本发明提供的又一实施例,测变形框架1的自振频率大于柔性构件62的自振频率的三倍。

[0068] 本发明提供的又一实施例,变形测量系统7包括对柔性构件62的拖曳过程进行视频记录的高速摄像机71,高速摄像机71将视频记录的内容传输至视频编辑软件,视频编辑软件提取视频记录内容中的目标图像以及目标图像中的关键帧,目标图像中的关键帧经图片处理软件提取柔性构件62的变形形状,并对柔性构件62的变形形状进行计算。

[0069] 在本实施例中,视频编辑软件还可以展示柔性构件62的清晰图像。

[0070] 本实施例中的图片处理软件采用OriginPro软件中图像数字化功能对柔性构件进行识别并获取柔性构件62的变形数据,从而提取出柔性构件62的变形形状。

[0071] 视频编辑软件均采用现有技术中的视频编辑软件。

[0072] 视频编辑软件和图片处理软件均安装在终端设备上。终端设备包括但不限于台式电脑、笔记本电脑、平板电脑、手机、遥控设备。

[0073] 由于在拖曳实现过程中,柔性构件62的位置时时变化,为了获得清晰视频和图片,并且由于高速摄像机71位于水槽的外侧,光线在水中会发生折射,在视频和图片中会放大试件的尺寸,同时由于高速摄像机71、柔性构件62、背景板之间存在物理距离,也会导致柔性构件62在背景板上的尺寸大于实际尺寸,因此本实施例使用了1080p高清高速摄像机录制的柔性构件62的视频。

[0074] 高速摄像机71的画质1080P,200万像素,FPS30帧,速度测量范围0~2.0m/s,空间分辨率为1920\*1080,时间分辨率为0.033s。

[0075] 本发明提供的又一实施例,图片处理软件对柔性构件的变形形状进行计算的过程,包括:

[0076] 导入图片步骤,导入柔性构件的变形图片;

[0077] 建立坐标网格步骤,在背景板中选取一个靠近柔性构件和变形较小的方格,并设置X轴、Y轴的起和止坐标线;

[0078] 对比步骤,获取变形图片中柔性构件的坐标,将坐标网格中的坐标与变形图片中柔性构件的坐标进行绘制对比与修正;

[0079] 计算相对误差步骤,根据柔性构件的坐标计算出柔性构件的长度,并与柔性构件的实际尺寸进行对比分析,计算出相对误差。

[0080] 在本实施例的建立坐标网格步骤中,方格为20×20cm,坐标线的尺寸比例设为20。

[0081] 在对比步骤中,利用鼠标点选试件获取变形图片中柔性构件的坐标,将坐标网格中的坐标与变形图片中柔性构件的坐标进行绘制对比与修正,保证重合。

[0082] 测量出柔性构件的位移是柔性构件的实际变形,避免出现因为水与空气的密度不同时,光线会发生折射现象。此外,还减少了高速摄像机与柔性构件之间因距离与夹角而出现的柔性构件的变形位移与测量值之间存在的偏差。

[0083] 为了进一步地说明柔性构件的坐标计算出柔性构件的长度与柔性构件的实际尺寸的相对误差结果,本发明提供的又一实施例,当柔性构件的长度与柔性构件的实际尺寸的相对误差小于5%,变形图片中柔性构件的变形坐标数据则获取成功;

[0084] 当柔性构件的长度与柔性构件的实际尺寸的相对误差大于5%,则重新确定坐标尺寸比例,并导入建立坐标网格步骤中依次执行建立坐标网格步骤及其后面的步骤。

[0085] 当柔性构件为PVC板,长 $L=0.15\text{m}$ ,流速 $U=0.2\text{m/s}$ 时,柔性构件的变形数据图。

[0086] 以上所述并非是对本发明的限制,最后应说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制。尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明。本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换,在不偏离本发明精神的基础上所做的修改或替换,均属于本发明要求保护的范围。

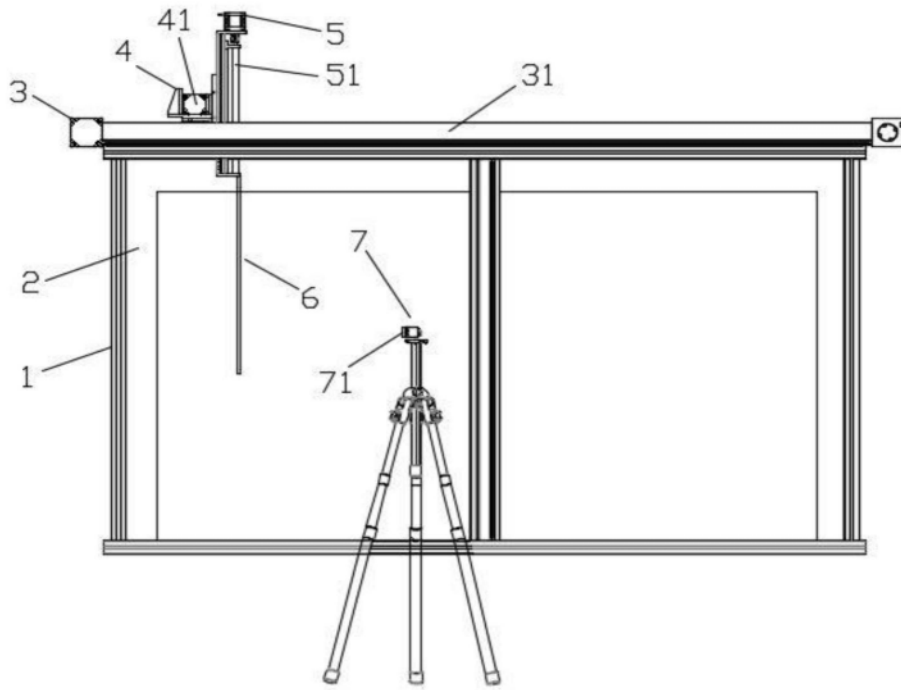


图1

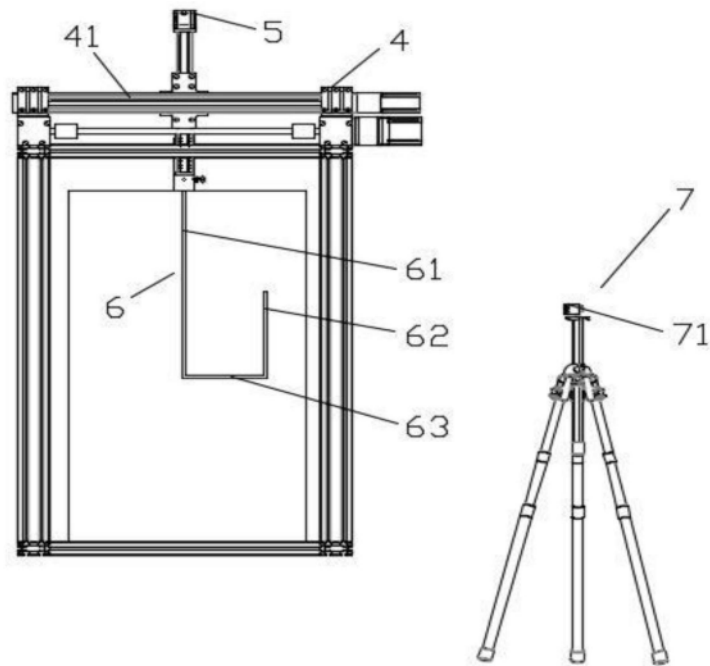


图2



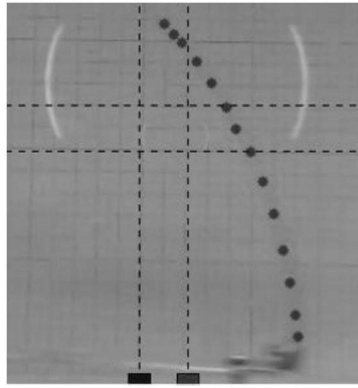


图3

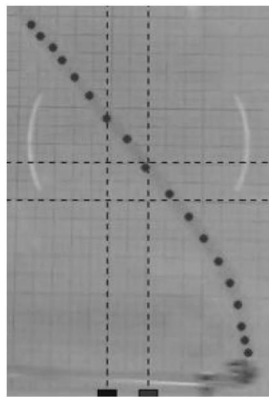


图4

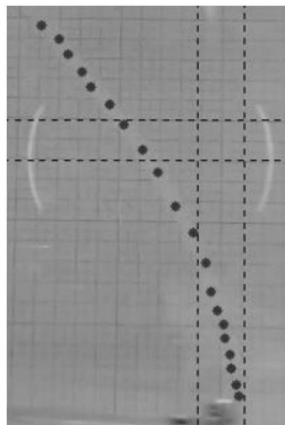


图5

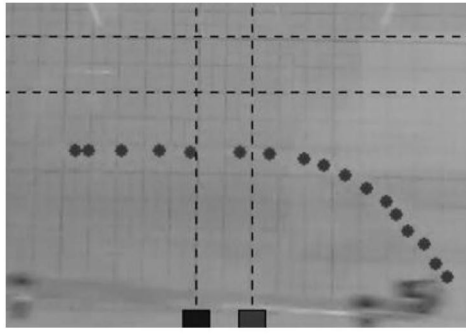


图6