



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103454054 A

(43) 申请公布日 2013. 12. 18

(21) 申请号 201310341972. 2

(22) 申请日 2013. 08. 07

(71) 申请人 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 曾晓辉 张良 余杨 申仲翰

(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  
代理人 胡剑辉

(51) Int. Cl.  
G01M 7/04 (2006. 01)

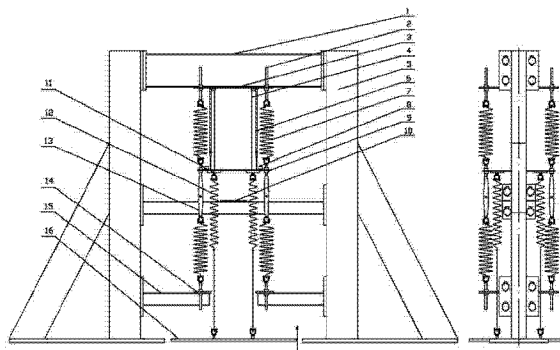
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

## (54) 发明名称

一种力控制加载、布局可变的垂向振动实验装置

## (57) 摘要

本发明的一种力控制加载、布局可变的垂向振动实验装置,包括:门式钢架,该门式钢架包括两个支撑立柱、顶部横梁、底部横梁和用于固定减震器的位于所述顶部横梁和底部横梁之间的承载平台;垂向振动板,通过结构弹簧可弹性垂直上下振动地设置在所述顶部横梁和底部横梁之间;加载弹簧,一端与所述垂直振动板相连,另一端用于连接电动振动加载台,所述加载弹簧用于对所述垂直振动板施加预定的外力;加速度传感器,设置在所述垂向振动板上,用于测量所述垂向振动板在加载振动受力的过程中的加速度;位移传感器,设置在所述垂向振动板和顶部横梁之间,用于测量所述垂向振动板在加载振动受力的过程中的位移值;可调节阻尼器,设置在所述垂向振动板和顶部横梁之间,用于调节和控制所述垂向振动板在加载振动受力的过程中的阻尼。



1. 一种力控制加载、布局可变的垂向振动实验装置,其特征在于,包括:

门式钢架,该门式钢架包括两个支撑立柱、顶部横梁、底部横梁和用于固定减震器的位于所述顶部横梁和底部横梁之间的承载平台;

垂向振动板,通过结构弹簧可弹性垂直上下振动地设置在所述顶部横梁和底部横梁之间;

加载弹簧,一端与所述垂直振动板相连,另一端用于连接电动振动加载台,所述加载弹簧用于对所述垂直振动板施加预定的外力;

加速度传感器,设置在所述垂向振动板上,用于测量所述垂向振动板在加载振动受力的过程中的加速度;

位移传感器,设置在所述垂向振动板和顶部横梁之间,用于测量所述垂向振动板在加载振动受力的过程中的位移值。

2. 如权利要求 1 所述的装置,其特征在于,所述结构弹簧为 8 根,包括 4 根设置在所述垂直振动板和顶部横梁之间的上结构弹簧和 4 根设置在所述垂直振动板和底部横梁之间的下结构弹簧。

3. 如权利要求 2 所述的装置,其特征在于,所述顶部横梁和上开设有上弹簧可调节连接端口,所述上结构弹簧通过顶部固定弹簧结构设置在所述上可调节连接端口上。

4. 如权利要求 2 所述的装置,其特征在于,所述底部横梁和下开设有下弹簧可调节连接端口,所述下结构弹簧通过底部固定弹簧结构设置在所述下可调节连接端口上。

5. 如权利要求 1 所述的装置,其特征在于,所述垂向振动板通过可调节的花篮螺丝连接件与所述下结构弹簧相连。

6. 如权利要求 1 所述的装置,其特征在于,所述加载弹簧为 4 根,对称设置在所述垂向振动板和电动加载台之间。

7. 如权利要求 1 所述的装置,其特征在于,所述加载弹簧为 2 根,对称设置在所述垂向振动板和电动加载台之间。优选地,所述加载弹簧为 1 根,设置在所述垂向振动板和电动加载台之间。

8. 如权利要求 1 所述的装置,其特征在于,在所述垂向振动板和顶部横梁之间设置有可调节阻尼装置。

## 一种力控制加载、布局可变的垂向振动实验装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种力控制加载、布局可变的垂向振动实验装置。

### 背景技术

[0002] 振动系统在海洋工程结构物、大型桥梁建筑、超大跨度建筑结构、以及航空航天卫星导弹发射、机械和仪器仪表中的运动部件等工程的实际问题中经常遇见。无论是优化现有系统,还是开展创新研究和设计,均需进行实验模拟。

[0003] 举例来说:目前石油开采正向海洋发展,海洋平台等结构物开始得到更多应用。但是这些结构物在恶劣海况下会产生明显的振动,威胁平台或管线的安全性和可靠性。对于大型桥梁建筑,当风荷载频率在一定范围内时,会激起桥梁结构较大的动力响应,影响桥梁正常使用,甚至会造成结构破坏。其他大型结构也会发生类似有害的振动响应,为避免其影响结构物的正常功能、危害人员生命安全,在设计和分析时,一般均需开展一系列相关的振动实验。

[0004] 目前这种实验模拟通常在海洋工程水池或大型的结构实验室进行。然而这种实验装备数量较少,实验和测量耗费昂贵,并且这不便于在探索性研发过程中随时通过实验来发现新现象、开展原理性实验,也不便于对某些敏感参数的规律进行分析和优化设计。

[0005] 目前常见的垂向电动振动台只能实现加速度控制,但是研究上述这些工程结构振动的减振问题,需要较为准确的力加载控制;而且,垂向电动振动台以及其他电磁加载装置的工作行程一般不大,不能满足结构大行程振动试验的要求;此外,对于某些减振装置,由于其布置有特殊要求,需要对实验装置进行灵活可变的多种方式布局,目前还没有可以同时满足上述要求的实验装置。

[0006] 为此,迫切需要发明一种通用方便、成本低廉,能够模拟任意给定外力荷载作用、布局方式可变、工作行程较大的垂向振动系统实验装置。

### 发明内容

[0007] 针对现有技术存在问题,本发明的目的在于提供一种力控制加载、布局可变的垂向振动实验装置,可以模拟在任意给定外部载荷作用下,以不同频率、不同振幅做较大幅度运动的工程振动系统。

[0008] 为实现上述目的,本发明的一种力控制加载、布局可变的垂向振动实验装置包括:

[0009] 门式钢架,该门式钢架包括两个支撑立柱、顶部横梁、底部横梁和用于固定减震器的位于所述顶部横梁和底部横梁之间的承载平台;

[0010] 垂向振动板,通过结构弹簧可弹性垂直上下振动地设置在所述顶部横梁和底部横梁之间;

[0011] 加载弹簧,一端与所述垂直振动板相连,另一端用于连接电动振动加载台,所述加载弹簧用于对所述垂直振动板施加预定的外力;

[0012] 加速度传感器,设置在所述垂向振动板上,用于测量所述垂向振动板在加载振动受力的过程中的加速度;

[0013] 位移传感器,设置在所述垂向振动板和顶部(或者底部)横梁之间,用于测量所述垂向振动板在加载振动受力的过程中的位移值。

[0014] 优选地,所述结构弹簧为8根,包括4根设置在所述垂直振动板和顶部横梁之间的上结构弹簧和4根设置在所述垂直振动板和底部横梁之间的下结构弹簧。

[0015] 优选地,所述顶部横梁和上开设有上弹簧可调节连接端口,所述上结构弹簧通过顶部固定弹簧结构设置在所述上可调节连接端口上。

[0016] 优选地,所述底部横梁和上开设有下弹簧可调节连接端口,所述下结构弹簧通过底部固定弹簧结构设置在所述下可调节连接端口上。

[0017] 优选地,所述垂向振动板通过可调节的花篮螺丝连接件与所述下结构弹簧相连。

[0018] 优选地,所述加载弹簧为4根,对称设置在所述垂向振动板和电动加载台之间。

[0019] 优选地,所述加载弹簧为2根,对称设置在所述垂向振动板和电动加载台之间。优选地,所述加载弹簧为1根,设置在所述垂向振动板和电动加载台之间。

[0020] 优选地,在所述垂向振动板和顶部(或者底部)横梁之间设置有可调节阻尼装置。

[0021] 本发明通过设置可调式承力装置(包括固定弹簧顶部结构和可调螺杆)、可调节阻尼装置、弹簧设备(包括加载弹簧和结构弹簧)、固定钢架等部件,将上述各种组件通过加载弹簧与垂向电动振动台进行灵活组合,就形成一种可实现多方式布局、可满足较宽频域振动试验的垂向振动系统通用实验装置。

[0022] 本发明实验装置适用性强、操作简单;使用、安装和拆卸都非常方便,而且造价和使用费用也很低廉。适用于海洋、土木、航空、航天、通讯、电子、汽车等行业。

[0023] 本发明由于采取以上技术方案,还具有以下优点:

[0024] 1) 该装置可以根据实验要求实现多种方式加载,如中心单力加载、侧边双力加载、四力加载,甚至更多力点加载。以满足更准确地用实验来模拟真实荷载情况。

[0025] 2) 该实验装置专门设计了针对特殊减振装置的承载平台,用于固定减震器,研究平台结构减振效果。根据不同的结构形式可以调节其位置,进行灵活可变的装配,实现多种方式布局。

[0026] 3) 该实验装置可以在较宽的载荷频率范围内开展振动实验,垂向电动加载台的可调频率范围为:2 ~ 2500 赫兹,能够满足大部分的模拟实验要求。

[0027] 4) 该实验装置通过专门设计的可调式承力装置(包括固定弹簧顶部结构和可调螺杆)、可调节阻尼装置、固定钢架以及专用连接件等部件,并通过弹簧与振动结构平台相连,使得振动结构平台作为被试验对象,从而可以模拟任意给定外部载荷作用下,以不同频率、不同振幅进行较大幅值运动系统的动力响应。

[0028] 5) 该实验装置克服了普通振动试验台缺少自身刚度的不足。利用与门式钢架连接的八根拉伸弹簧为振动结构增加了自身刚度;八根弹簧通过螺杆与支架相连,弹簧悬挂点随时可调,以保证各弹簧拉力大小相等。在各弹簧都保持拉伸状态下,振动平台可以做较大振幅的往复运动。本实验装置在调节刚度上容易、简便,只需通过更换不同刚度的弹簧,即可达到改变刚度的目的。

[0029] 6) 使用该实验装置后,垂向振动试验可以在原模型与实验模型严格满足相似原理

下进行实验。除了 5) 中所述的平台刚度调节方式, 振动结构平台重量可以通过增加质量块随时调节。结构的阻尼可以通过调节安装在结构上的阻尼装置来实现与实际结构的阻尼相似。

[0030] 7) 加载设备可以根据实验需要进行更换, 实验装置可以模拟在任意给定外部载荷作用下, 以不同频率、不同振幅做大幅度运动的工程振动系统。对于不同加载装置的高度以及位置上的差异, 可以利用固定钢架上的滑槽和螺杆将加载装置、弹簧以及振动试验台三者对中并调节到绝对竖直。

[0031] 8) 该实验装置适用性强、易于拆装、便于根据不同研究需要灵活改装, 可实现多种布置。装置上带有位移传感器、力传感器以及加速度传感器, 对于结构运动系统中某些性能进行优化、评估时, 本套装置相比于传统模拟装置更易于操作。

[0032] 9) 实验装置主要是以标准工字型钢和厚钢板为原料。在试验装置造价上, 本振动试验台及其实验装置是远远低于传统大振幅运动模拟(如海洋工程水池)的, 试验的运行成本与其相比也相当低廉。

### 附图说明

[0033] 图 1 是垂向振动试验装置的第一种布置形式装配图(振动结构板居于上部, 四点加载)

[0034] 图 2 是垂向振动试验装置的第二种布置形式装配图(振动结构板居于下部, 单点加载)

[0035] 图 3 是垂向振动加载台的螺孔布局以及三种不同力加载方案图(▲为单点加载位置, ■为两点加载位置, ●为四点加载位置)

[0036] 图中标号说明:

[0037] 1 门式钢架顶部横梁; 2 弹簧可调连接端; 3 固定弹簧顶部结构; 4 位移传感器; 5 门式钢架支撑立柱; 6 可调节阻尼器; 7 结构弹簧; 8 加速度传感器; 9 垂向振动结构板; 10 承载平台; 11 力传感器和振动结构之间的连接件; 12 加载弹簧; 13 可调节的花篮螺丝连接件; 14 固定弹簧底部结构; 15 底部横梁; 16 垂向振动加载台

### 具体实施方式

[0038] 实验装置若要能较好的满足多种实验要求, 需要满足以下 7 点: 1、可以实现多种形式的力控制加载方案; 2、对某些特殊结构进行减振研究, 实验装置需可进行灵活可变多方式布局; 3、实验行程较大, 能满足结构大幅振动试验的要求, 峰峰值振幅可达到 20 厘米(且该指标还可以根据需要增大); 4、能在较宽频率范围内开展振动实验; 5、振动平台的垂向刚度大小可以调节、振动平台的垂向高度和位置可以调节; 6、垂向振动结构平台在承受任意给定外荷载作用下可以进行一定振幅的往复运动; 7、振动平台的阻尼可以在较大范围内调节。本发明能够满足上述 7 点的实验要求。

[0039] 下面结合附图和实施例对本发明的进行详细的描述。

[0040] 实施例 1

[0041] 如图 1 所示, 本发明的结构如下:

[0042] 一个固定门式钢架主体结构由两个竖向的支撑立柱 5 以及三段横梁螺钉连接而成,材料采用标准工字型钢(25b)和钢板。在门式钢架顶部横梁 1 上安装固定结构弹簧的顶部结构 3,并在其上预留用于固定安装弹簧可调连接端口 2,在门式钢架的底部安装了两个悬臂梁 15,并在其上与其垂直方向安装结构钢板 14,在钢板 14 上也预留了用于固定安装弹簧可调连接端口 2。这些弹簧可调连接端便于实验时对于结构弹簧 7 的调节,使弹簧两两之间的间距满足规定伸长量,以此来保证弹簧刚度值为指定大小。

[0043] 弹簧连接端包括安装在固定钢架横梁上的连接端以及安装有垂向振动板 9 的可调节式花篮螺丝连接件 13。通过调节花篮螺丝可以使所有的结构弹簧处于相同的位置高度,并可以给结构弹簧 7 施加预张力,使结构弹簧 7 时刻处于张开的状态,以保证其线性刚度。

[0044] 垂向振动板 9 上安装有位移传感器 4、可调节阻尼器 6、加速度传感器 8 以及力传感器和振动结构之间的连接件 11,在振动板 9 上还预留了许多螺孔,用于安装固定其他实验装置。

[0045] 垂向振动加载台 16 通过加载弹簧 12 与力传感器相连接,垂向振动加载台 16 结合控制器可以实现高质量的位移加载控制,通过加载弹簧 12 可以装换为力加载控制,从而进行力控制实验。

[0046] 在门式钢架主体结构的竖向支撑立柱上安装针对特殊减振装置的承载平台 10,用于固定减震器,研究平台结构振动减振效果。根据不同的结构形式可以调节其位置,以达到更大的适用范围。

[0047] 下面结合附图说明该水平振动试验台附加装置实施过程:

[0048] 对该装置进行生产时,首选强度较高的工字钢与钢板并保证焊接后各面平整度较高,整套实验装置所有配件的加工精度都要达到 0.5mm 以上,附加装置上所打螺孔位置要保证 0.1mm 的高精度。

[0049] 安装实验装置之前将固定弹簧顶部结构 3 与顶部横梁 1 连接好,并使用红外水平仪,与底部的结构实现垂直对中。然后先安装上部的四根结构弹簧 7,调节螺杆使其处于相同的垂向位置。然后悬挂已经固定了垂向振动板 9 的花篮螺丝结构件 13,要保证固定的牢靠性,以及位置的同一性。调节花篮螺丝中间套筒,使两端的螺杆释放出来,便于给结构弹簧 7 施加预张力。下一步安装下部的结构弹簧 7,并通过调节中间套筒,使四组结构弹簧 7 都处于相同的拉伸状态。最后安装力加载弹簧 12 和所有的传感器。

[0050] 本发明进行力控制加载的方程如下:

$$[0051] \quad M\ddot{x}_1 + C\dot{x}_1 + Kx_1 = k(x_0 - x_1) \quad (1)$$

$$[0052] \quad \text{由于} \begin{cases} a = \ddot{x}_0 = -A\sin(\omega t) \\ x_0 = \frac{A}{\omega^2}\sin(\omega t) \end{cases}, \text{公式(1)可化简为:}$$

$$[0053] \quad M\ddot{x}_1 + C\dot{x}_1 + (K+k)x_1 = k\frac{A}{\omega^2}\sin(\omega t) \quad (2)$$

[0054] 其中,

[0055] M——为振动平台的质量

- [0056] C——为振动平台的阻尼
- [0057] K——为振动平台的总刚度
- [0058] k——为振动平台的加载弹簧刚度
- [0059]  $x_0$ ——为振动加载台的位移
- [0060] a——为振动加载台的加速度
- [0061]  $x_1$ ——为振动平台相对于静力平衡位置的位移
- [0062] A——为振动加载台的加载幅值
- [0063]  $\omega$ ——为振动加载台加载频率
- [0064] 这样就将电动振动台的加速度控制转化为载荷控制。
- [0065] 实施例 2

[0066] 为了满足对于特殊减振实验装置的性能考察,有时需要将减振实验装置安装在振动结构模型上部的承载平台 10,为此我们设计出了不同于例 1 的布局方式的实验装置,如图 2 所示。

[0067] 这种布局方式由于将减振实验装置布置在垂向振动板 9 的上部,这样便于我们对振动平台实施多种方式加载方案。如中心单力加载、侧边双力加载、四力加载,甚至更多力点加载,以满足更准确地用实验来模拟真实荷载情况。具体加载点的布局情况可参阅图 3。

[0068] 在弹簧的制作过程中,由于制作工艺的制约,有时各根弹簧的刚度之间有细微差别,当开展某些精度要求高的实验时,需要花费时间保证多根弹簧刚度的一致性。为便于更快速有效地开展这类实验,可以采用中心单点加载的方式来提高效率。由于第一种布局方法将减振实验装置安装在振动结构模型下部,难以实现中心单点加载。在有上述需要时,可采用第二种布局方法。

[0069] 这两种布局方式的加载弹簧个数和位置、承载平台 10 位置、位移传感器 4 和可调阻尼器 6 的位置不同,其余结构相同。

[0070] 可根据不同的实验要求,选取合适的布局和加载方式,开展科学实验研究。

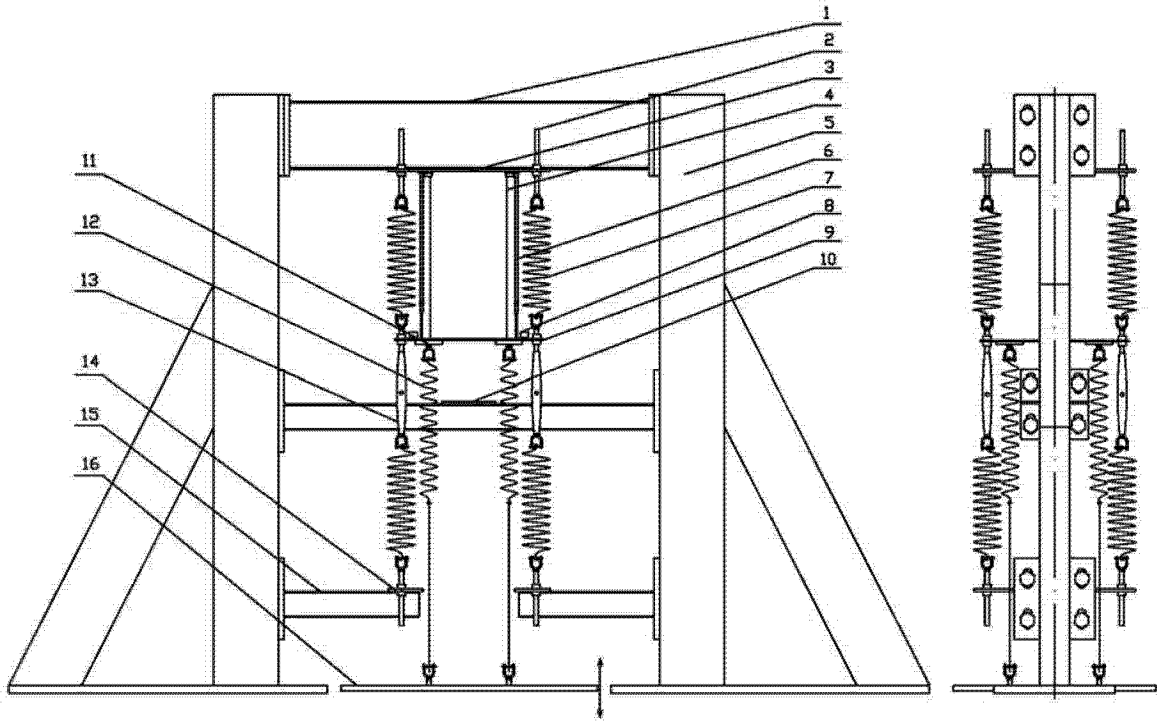


图 1

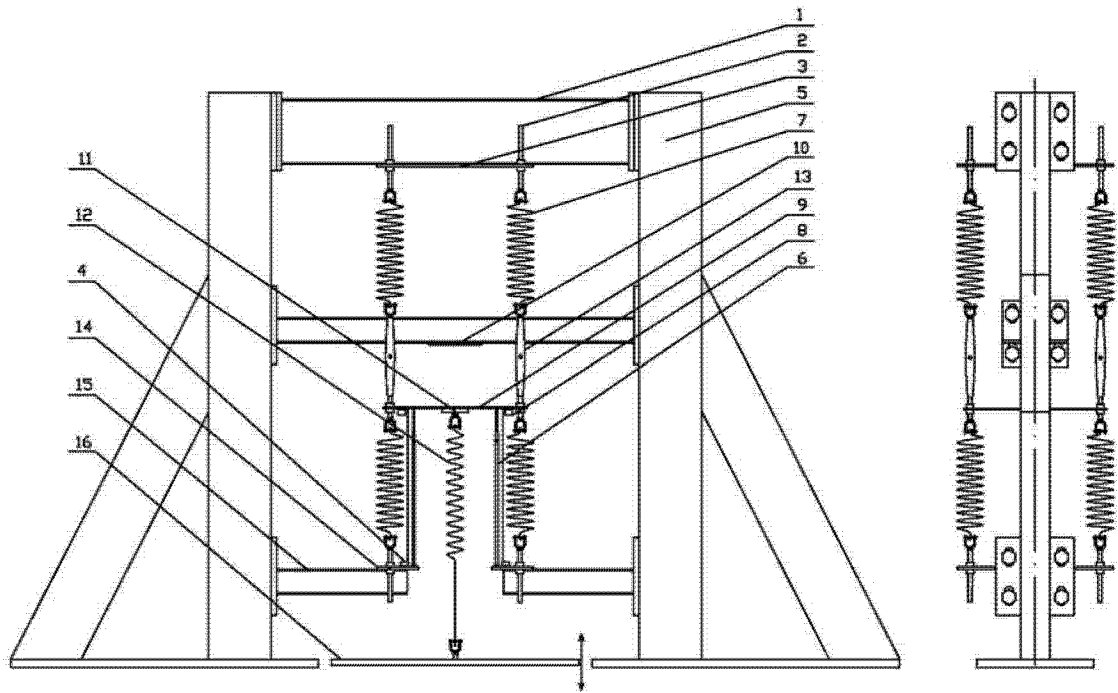


图 2



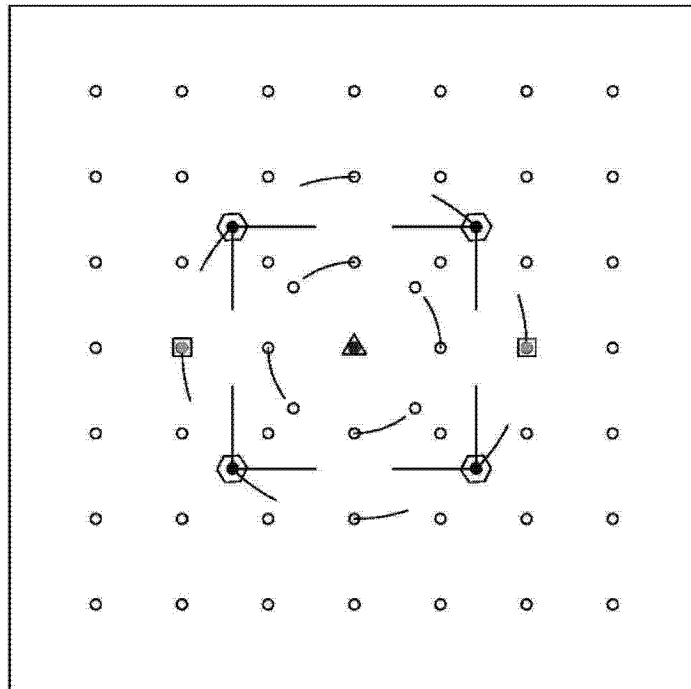


图 3