



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 95191392.1

[43]公开日 1997 年 1 月 8 日

[11] 公开号 CN 1139969A

[22]申请日 95.1.27

[30]优先权

[32]94.1.28 [33]US[31]08 / 189,181

[32]94.11.23[33]US[31]08 / 344,169

[86]国际申请 PCT / US95 / 00946 95.1.27

[87]国际公布 WO95 / 20705 英 95.8.3

[85]进入国家阶段日期 96.7.26

[71]申请人 纽约州立大学研究基金会

地址 美国纽约

[72]发明人 李兆治 梁 钟 童 迈

[74]专利代理机构 上海专利商标事务所

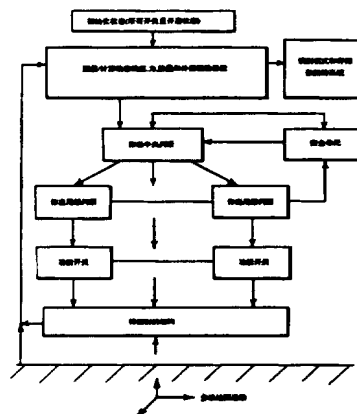
代理人 张政权

权利要求书 6 页 说明书 21 页 附图页数 15 页

[54]发明名称 建筑结构参数实时修正的改进方法及其装置

[57]摘要

本发明提供一种实时修改振动结构的建筑结构参数的方法，它包括以下步骤：分析结构的物理参数；将结构中的功能开关安装在根据分析确定选定位置上，每个功能开关具有“开启”或者“关闭”状态；测量在外部能量作用下结构的一个或多个速度、加速度或者位移的数值；以及提供控制装置来实时控制功能开关以响应测量得到的数值，受控的功能开关在状态之间切换以使结构的守恒能量最小，从而控制结构的位移。



权 利 要 求 书

1. 一种实时修改振动结构的结构参数的方法,其特征在于包括以下步骤:
分析结构的物理参数;
将结构中的功能开关安装在根据分析 确定选定位置上,每个功能开关具有“开启”或者“关闭”状态;
测量由在外部能量作用下引起结构一个或多个速度、加速度或者位移的数值;以及
提供控制装置来实时控制功能开关以响应测量得到的数值,受控的功能开关在状态之间切换以使结构的守恒能量最小,从而控制结构的位移。
2. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,在功能开关控制期间,控制装置向功能开关增加的能量最少。
3. 如权利要求 1 或 2 所述的方法,其特征在于物理参数确定如下:
 - a)确定结构的重量、侧向刚度和固有频率;以及
 - b)随后当受到选择的地震激发时,通过利用由步骤 a 确定的数值确定结构的理论位移响应。
4. 如权利要求 3 所述的方法,其特征在于进一步包括以下步骤:
如果根据建筑物代码的百分比偏移和其固定频率无法接收由权利要求 3 步骤 b 得到的理论位移响应,则选择所用的方法使结构实际的位移响应最小;以及
计算刚度、质量和阻尼适应的修改以达到所需的结构位移响应。
5. 如前面权利要求中任意一项所述的方法,其特征在于,所述功能开关可以选自能量耗散设备或质量耦合设备或是刚度改变设备或两者,所述设备不是增加结构的动态阻抗来减少由外部能量作用引起的结构能量输入就是减少来自结构其它模式的能量传递,或者两者同时采用,从而使结构的守恒能量最小
6. 如前面权利要求中任意一项所述的方法,其特征在于,所述功能开关与用于控制结构位移的已有技术设备一起使用,其中的控制装置包括阈值,并且当测量的数值超过阈值时启动本发明的功能开关以使已有技术设备首先运行。
7. 如前面权利要求中任意一项所述的方法,其特征在于,功能开关安装在多个相交的平面内,其中速度、加速度或者位移的测量值之一取自多于一个的平面内,并且控制装置响应于多于一个平面内的测量值,控制装置控制相交平面内的功能开关。

8. 一种修改结构的装置,用来在受到诸如地震或风之类外力引起的外部能量作用时控制结构的位移,其特征在于结构包括支撑在基座上的框架,所述装置包括:

与框架连接用来检测框架位移的传感器装置;

与框架耦合的功能开关;以及

用于操作功能开关装置以当传感器检测框架位移时响应从传感器装置中收到信号的控制装置,在控制装置的操作下,功能开关不是使结构的能量最小,就是阻止能量向结构传递,或者两者都是,以使结构的守恒能量最小,从而使结构位移最小。

9. 如权利要求 8 所述的装置,其特征在于传感器装置包括:

确定位置的第一敏感装置;

确定速度的第二敏感装置;

确定加速度的第三敏感装置;

确定应力的第四敏感装置;以及

确定力的第五敏感装置。

10. 如权利要求 8 或 9 所述的装置,其特征在于功能开关装置包括至少一个安装在结构 $x-z$ 平面内的功能开关和至少一个安装在结构 $y-z$ 平面内的功能开关,功能开关能够使得从所述平面之一到所述平面之另一个的能量传递最小或者阻止能量传递。

11. 如权利要求 8—10 中任意一项所述的装置,其特征在于功能开关装置包括多个功能开关,每个功能开关能够调整到起刚性部件的作用、可动单元的作用或者阻尼器的作用。

12. 如权利要求 11 所述的装置,其特征在于每个功能开关是机械开关。

13. 如权利要求 11 所述的装置,其特征在于每个功能开关是液压开关。

14. 如权利要求 13 所述的装置,其特征在于每个液压功能开关包括:

盛油腔;以及

可以打开和关闭以使流体通过的开孔。

15. 如权利要求 11—14 中任意一项所述的装置,其特征在于每个功能开关包括一个调节器。

16. 如权利要求 15 所述的装置,其特征在于调节器包括一个电动—机械控制器。

17. 如权利要求 15 所述的装置,其特征在于调节器包括一个机械控制器。

18. 如权利要求 11—17 中任意一项所述的装置,其特征在于 功能开关通过连杆与框架耦合,其中传感器装置包括数据采集和作出判断单元,数据采集和作出判断单元与调节器连接在一起。

19. 一种用来控制结构位移的实时结构参数修正方法,其特征在于包括以下步骤:

在结构中安装功能开关,每个功能开关能够在结构受到能量作用时控制其位移,并且每个功能开关能够在“开启”和“关闭”状态之间切换;

测量靠近各功能开关的结构的速度,所述速度因外部能量作用在结构上而产生;

建立用于每个功能开关的初始局部结构控制信号以响应靠近有关功能开关附近的结构的测定速度;以及

提供控制装置以使功能开关在没有任何优势信号的控制信号下起控制信号作用,由此使功能开关控制结构的位移。

20. 如权利要求 19 所述控制结构位移的方法,其特征在于当速度接近零时,初始化局部结构控制信号,当它起作用时,将改变功能开关的状态。

21. 如权利要求 19 或 20 所述控制结构位移的方法,其特征在于功能开关安装在多个相交的平面内,并在多于一个平面内测量速度。

22. 如权利要求 19、20 或 21 的之一所述控制结构位移的方法,其特征在于力测量用于每一功能开关,并进行比较以确定测定力是否超过阈值力,如果力超过阈值级则或初始化优势信号以防止有关的功能开关对初始局部结构控制信号起作用直到经过一段规定时延为止,或者是如果力没有超过阈值级则不初始化优势信号。

23. 如权利要求 22 所述控制结构位移的方法,其特征在于测量取自多个加速度和结构位移的关键位置,采用速度、加速度和结构位移的测定值计算结构的守恒能量,所有功能开关的状态都实时确定,并根据速度位移理论向功能开关发布优化命令来改变它们的状态。

24. 如权利要求 22 所述控制结构位移的方法,其特征在于测量取自多个的加速度和结构位移的关键位置,采用速度、加速度和结构位移的测定值计算结构的守恒能量,所有功能开关的状态都实时确定,并根据守恒能量最小化的原理向功能开关发布优化命令来改变它们的状态。

25. 如权利要求 24 所述控制结构位移的方法,其特征在于对于所有的功能开关作出建立故障安全设定值以确保在没有 RSM 时一定程度的结构稳定性,

其中位移、速度和加速度的测量值与某个最大预设水平进行比较,并且如果发现测量超过最大的允许值,则发送优势信号以使所有的功能开关处于故障—安全设定值。

26. 一种可以控制结构位移的实时结构参数修正(RSM)装置,其特征在于包含:

多个安装在结构中的功能开关(36),每个功能开关能够在结构受到能量作用时控制其位移,并且每个功能开关能够切换于“开启”和“关闭”状态之间;

安装在邻近功能开关(36)的结构中的速度换能器(64),用来测量靠近功能开关附近的结构的速度,速度是由作用于结构的外部能量引起的,每个速度换能器初始化信号以响应测定速度;

建立用于功能开关的初始局部结构控制信号以响应有关的速度信号的控制装置(67);以及

装置(57)用于使功能开关在没有任何优势信号下对控制信号起作用,由此,使功能开关控制结构位移。

27. 如权利要求 26 所述的装置,其特征在于功能开关和速度换能器安装在多个平面内。

28. 如权利要求 26 或 27 所述的装置,其特征在于提供了力测量装置(65),力测量装置初始化力信号以响应作用在各个功能开关上的力信号,并且控制装置提供有比较装置以确定测定力是否超过阈值力,控制装置具有如果力超过阈值级阵则初始化优势信号的装置,以防止有关的功能开关对初始局部结构控制信号起作用直到经过一段规定的时延后为止。

29. 如权利要求 28 所述的装置,其特征在于加速度和位移换能器(73)安装在所述结构的多个关键位置上,其中计算机(74)采用速度、加速度和结构位移的测定值来计算结构的守恒能量,其中从所有的功能开关到计算机处设有反馈线路从而实时确定功能开关的状态,并且其中,计算机根据守恒能量最小化原理向功能开关发布优化的命令来改变它们的状态。

30. 一种用于振动结构实时结构参数修正的方法,其特征在于包含以下步骤和组合:

提供第一对第一和第二功能开关,每个开关能够在第一和第二部分开关之间基本上没有相对运动的“开启”状态与第一和第二部分开关能够自由地互相相对运动的“关闭”状态之间切换;

功能开关在结构中的安装方式是,如果第一对的第一功能开关由于外部能

量作用在张力作用下设置,则第一对的第二功能开关在压缩作用下设置;

测量因外部能量作用引起的结构一个或多个速度、加速度或位移值;以及

响应测定值在“开启”和“关闭”状态之间改变功能开关状态,功能开关在压缩作用下切换至“开启”状态;而功能开关在张力作用下切换至“关闭”状态。

31. 如权利要求 30 所述的方法,其特征在于第一对功能开关安装在公共平面内。

32. 如权利要求 31 所述的方法,其特征在于进一步包含以下步骤:

提供第二对第一和第二功能开关,第二对的每个开关能够在第一和第二开关部分之间基本上设有相对运动的“开启”状态与第一和第二开关部分能够自由地彼此相对运动的“关闭”状态之间切换;

第二对功能开关被安装在结构中的第二平面,第二平面与第一平面相交,第二对功能开关的安装方式是,如果第二对的第一功能开关因受外加能量而在张力作用下设置,则第二对的第二功能开关在压缩作用下设置;

响应于测定值在“开启”和“关闭”状态之间改变功能开关状态,功能开关在压缩作用下切换至“开启”状态;而功能开关在张力作用下切换至“关闭”状态。

33. 如权利要求 30—32 中任意一项所述的方法,其特征在于其中成对功能开关之一的第一开关的一端靠近同一对第二功能开关的一端。

34. 如权利要求 30—33 中任意一项所述的方法,其特征在于功能开关通过自适应算法而受控的以使表观刚度、阻尼和质量保持不变而修正结构的实际刚度、阻尼和质量。

35. 一种实时结构参数修正的方法,其特征在于包含以下步骤:

提供功能开关,每个开关能够在第一和第二开关部分基本上没有相对运动的“开启”状态、第一和第二开关部分之间的作吸收能量运动的“阻尼”状态与第一和第二开关部分能够相对于彼此而自由运动的“关闭”状态之间切换;

在质量、阻尼和刚度的物理参数可以由开关加以修正的结构中安装功能开关;

测量因多于一个平面受外部能量作用引起的结构一个或多个速度、加速度或位移值;以及

响应于测定值和相应的自适应控制算法在“开启”、“阻尼”和“关闭”状态之间改变功能开关状态以有效地耗散作用于结构上的能量并控制结构的位移。

36. 如权利要求 35 所述的方法,其特征在于功能开关安装在相交平面的结构中,其中,结构的位移同时受到多于一个平面的控制。

37. 如权利要求 35 或 36 所述的方法,其特征在于受控的功能开关响应测定的速度、力、位移和加速度以及相应的自适应控制算法将某些部件和亚结构加以连接或松开以改变结构的质量。

38. 一种功能开关,其特征在于包含:

具有对置的轴向对齐的第一和第二分离钻孔的圆柱体部件;

分别滑动地设置在第一和第二钻孔内的第一和第二杆;

耦合第一和第二杆使它们同时运动的耦合装置;以及

在钻孔邻近端之间延伸的流体通道,流体通道有一控制流体从一钻孔到另一钻孔的流量的阀。

说明书

建筑结构参数实时修正的改进方法及其装置

发明领域

本发明一般涉及在受到诸如地震或风等外力作用下控制建筑结构位移(或振动)的方法及其装置,该装置采用新型阻尼/耦合设备并安装在建筑结构上;本发明特别涉及一种利用新设备来调整建筑结构动态参数(质量、阻尼、刚度系数)的方法及其装置,新设备采用一种按照由新近提出的控制法则的安装方式进行安装。

背景技术

众所周知,当受到足够强的外力作用时,例如飓风或者中度到重度震级的地震,建筑结构可能会倒塌。为了改进建筑结构抗击上述外力使其免遭破坏或倒塌的能力,已经提出了许多方法。这些方法包括使建筑结构固定而不偏斜或挠性,将建筑结构安置于地表从而使其能够相对于地表面运动以及将建筑结构与一定质量物体耦合在一起或解耦合以改变其共振频率等。在 Kabori 发明的美国专利 5036633 中示出了这样一个例子,其中一个装置被揭示用来控制建筑结构在地震振动和/或风吹等外力作用下作出的响应,控制设备包括固定于建筑结构支撑件上的可变刚度装置、设置在建筑结构与刚度变化装置之间的可变阻尼装置以及经过编程用来监视对着建筑结构冲击的外力并通过选择合适的阻尼系数可控制可变阻尼装置的计算机,合适的阻尼系数使建筑结构相对于所监视外力不出现共振。Kabori 的上述和其它专利以及其他专利都基于反馈控制原理,该原理包括根据预测的地面运动来改变刚度以避免共振,根据预先设定的阻尼标准来改变阻尼系数以及通过锁定或松开设置在局部部件各端之间的设备来改变局部部件的刚度。已有技术方法强调的是确定单独的建筑结构振动抑制设备,无法对整个建筑结构系统的振动进行分析。而且,已有技术的分析总是集中在建筑结构的单个平面内,无法进行三维分析。

发明内容

本发明的主要目标是提供一种控制建筑结构以尽量减少其随时间变化的运动的方法及其装置,它通过实时修正建筑结构参数,实现了对建筑结构变形、内力、挠变、破坏性能量以及由诸如地震、风、交通事故之类多方向负荷和/或其它

类型的环境负荷引起的毁坏的成本-效果控制。该控制是利用基于非线性、时变和自适应控制原理的控制设备来完成的;这种控制设备使得系统更坚固并由此更为可靠。由于这种方法实际上是通过自适应控制设备来控制建筑结构的物理参数,所以被称为功能自适应控制,而能够修正其动态特性的建筑结构就被称为自适应建筑结构。

本发明考虑在自适应建筑结构内部改变其位移、速度和加速度系数,即刚度、阻尼和质量。此外,本发明还改变了某些输入驱动力的系数。例如,它可以改变与基座隔离的设备的摩擦系数以尽量减少因地面运动引起的力/能量的输入。由于新方法实际上控制的是建筑结构的物理参数,所以它通过自适应设备控制的是建筑结构的特性或功能行为。

本发明的以下理论基于对整个建筑结构系统行为的分析,因此带革新(自适应)特点,其特征在于:

1)控制程序—通过改变阻尼和或质量或刚度或两者之类的建筑结构物理参数来实现系统的优化方法。

2)控制机构—由功能开关使某些子结构和/或子部件耦合/解耦合。

3)控制原理—利用按层次执行一系列步骤的计算机程序以将守恒能量极小化。

此外,在较佳实施例中,没有传动机构将力施加到建筑结构上。因此控制是被动式的。

控制机构的功能开关可以是以下状态的一种:“开启”、“关闭”或“阻尼”。通过改变每个功能开关的状态,开关可以控制相关建筑结构的物理参数,例如质量、阻尼和刚度,并且功能开关还可以控制输入驱动力。

当功能开关处于“开启”状态时,开关部分是彼此刚性地连接的并且开关与一重的质量连接以使建筑结构增加可观的质量。而且,当功能开关处于“开启”状态时,它可以连接建筑结构的部件以增加建筑结构的刚度,从而减少了相应的位移并由此提高了建筑结构的固有频率。当开关处于“关闭”状态时,连接被分离,因此开关的相对部分可以自由运动。当开关设定于“阻尼”状态时,相对的部分作粘滞运动并且开关还可以提高建筑结构对能量的耗散能力。当阻尼状态消除时,阻尼力可以显著减少,从而减少输入驱动力。

由于功能开关只有三种输出状态,所以开关操作的控制处理相对简单。因此计算速度将显著地提高,它是主动式或者自适应控制中的关键问题。

为了更好地理解本发明的控制理论,首先考察已有技术的主动式控制系统。

对于线性机械振动系统,可以用下列方程来描述其运动:

$$f(t) = MX''(t) + CX'(t) + KX(t) \quad (1)$$

这里 f 是外力, M 、 C 和 K 为质量、阻尼和刚度系数矩阵, $X(t)$ 、 $X'(t)$ 和 $X''(t)$ 是位移、速度和加速度矢量, 上标'和''表示相对于时间的一阶和二阶导数。在单自由度系统(以下称为 SDOF)中,就方程式(1)而言,内力 MX'' 所作的功可以表示为动能。阻尼力 CX' 所作的功可以表示为耗散能。弹性力 KX 所作的功可以表示为势能。这三项能量的总和等于外力 f 所作的功。表示如下:

$$E_c = E_i - E_d + E_t \quad (2)$$

这里 E 表示能量,而下标 c 、 i 、 d 和 t 分别表示守恒能量、输入的能量、阻尼能量和传递的能量。(对于一个纯粹的 SDOF 系统, $E_t = 0$ 。但是,如果将方程式(1)用于说明多自由度(以下称为 MDOF)建筑结构的振动模式,则 E_t 不是为正就是为负。)当质量、阻尼和刚度系数固定时,动能和势能都是守恒的。只有阻尼力耗散能量。

如果系数 M 、 C 、 K 可以象在本发明的实时结构常数修正(以下称为 RSM)设备中那样改变,则动能和势能都不是完全守恒的。因此方程式(1)可以改写为:

$$M(t)X''(t) + C(t)X'(t) + K(t)X(t) = F(t) \quad (3)$$

将方程式(3)与(1)比较可以明显地看到,所有的参数都变成了时间的函数。一定数量的能量可以通过功能开关传递到建筑结构外部。剩余的能量仍然是恒定的。显然,为了使建筑结构的位移减至最小,应该使构成动能和势能的恒定能量部分应降低到最小程度。如果守恒能量减少到最低限度,则位移保持其最小值。这就是最小恒定能量原理的精髓。因此:

$$E_{kc} + E_{pc} = \text{最小值} \quad (4)$$

整个系统的能量方程可以写为:

$$W = E_{kc} + E_{kf} + E_d + E_{df} + E_{pc} + E_{pf} \quad (5)$$

这里字母 W 为外力所作的功而字母 E 表示能量项。下标 k 表示动能, d 表示被阻尼力耗散的能量, p 表示势能而 c 表示守恒能量。第二下标 f 表示被传递能量并随后由功能开关释放。为了使上述方程中的 $E_{pc} + E_{kc}$ 最小,显然可以通过使 E_{kf} 、 E_d 、 E_{df} 和 E_{pf} 最大而 W 最小来实现。因此通过增加能量传递 E_{kf} 和 E_{pf} , 增加能量耗散 E_d 和 E_{df} 使 E_{pc} 最小,还通过减少外力 W 所作的功使 E_{pc} 最小,这借助瞬时阻抗的增加或整个建筑结构的增大来实现,并具有同样的重要性。

虽然有若干 SDOF 系统可以适用于近似于多自由度系统(MDOF)中的 MDOF 建筑结构,但是却使保守能量最小化的任务变得更加复杂起来。由于必

须考虑结构的各种振动模式之间的能量传递,所以增加了复杂性。MODF 结构模式之间的能量传递可以利用由 Liang 和 Lee 提出的复杂能量理论(“结构阻尼:部分 I:复杂阻尼理论”,NCEER 报告 91-0004,1991)来确定。

在复杂能量理论下,系统可以按照比例阻尼或非比例阻尼分类。比例阻尼系统是一个阻尼系数与质量和刚度成比例关系的系统,其比例关系为

$$C=(A)M+(B)K \quad (6)$$

这里 A 和 B 是固定的系数,而 M 和 K 分别表示系统的质量和刚度矩阵。这种系统的基本特性是在振动时各种振动模式之间没有能量的传递。

但是,对于非比例阻尼系统,方程式(6)不能成立的。特别是在本发明中,由于建筑结构的刚度、质量和阻尼矩阵随时间改变,所以方程式(6)不再满足,系统被划分为非比例阻尼系统。因此在模式之间将发生能量传递。

模式之间能量传递的测量可以用模态能量传递率 S_i 表示,这里

$$S_i=W_{Ti}/4\pi W_i \quad (7)$$

并且 W_{Ti} = 在一个振动周期内传递给 i^{th} 模态的能量而 W_i = 在振动周期前 i^{th} 模态内存储的能量。

非比例阻尼系统中给定模态的固有频率还依赖于模态能量的传递。非比例阻尼系统中 i^{th} 模态的固有频率 W_i 因此变为

$$W_i=W_{ni} \exp(S_i) \quad (8)$$

这里 S_i 由方程式(7)确定而 W_{ni} = 比例阻尼系统中的 i^{th} 模态的固有频率。

为了使恒定能量最小,必须使方程式(7)表示的建筑结构各模式模态能量传递率最小。这包含在对该应用进行详细描述部分中的方程式(5)中。

由上可见,本发明的基本目标是提供一种控制由于诸如地震或风等外力所承受的外部能量作用的建筑结构位移(或振动)的方法及其装置,该装置采用新型阻尼/耦合设备和控制系统。

本发明的另一个目标是提供一种能够利用按照由新提出的控制法则开发的新工艺并通过新方式安装在建筑结构上的新设备来动态地调整建筑结构参数(质量、阻尼、刚度系数)的控制系统。

本发明的进一步目标是提供一种在建筑结构受到诸如地震或风等外力作用时对其进行修正以控制位移的控制系统,控制系统包括与建筑结构框架耦合在一起的功能开关设备和当连接在框架上的传感器检测到诸如框架的速度、加速度或位移之类的参数发生变化时操纵功能开关设备的控制装置,控制装置使建筑结构的能量最小化和/或防止能量传递到建筑结构上,从而使建筑结构的守恒

能量减到最小。

本发明的进一步目标是提供一种当建筑结构在外力作用下发生位移时,实时改变建筑结构参数的控制系统,其中建筑结构的物理参数是首先就被确定下来,功能开关安装于建筑结构内以使建筑结构在外力作用下的恒定能量最小,控制系统将根据外力作用引起的速度、加速度或者位移的测量量,以实时控制功能开关从而使建筑结构的守恒能量降到最小并控制其位移。

本发明的进一步目标是提供一种控制建筑结构因外部能量作用引起的位移的控制系统,修正的建筑结构包括功能开关,而控制系统包括顺序或者分级控制,这种控制包括对每个功能开关进行局部控制的第一回路。

本发明的进一步目标是提供一种上述类型的控制系统,其中对每个功能开关提供了进行局部控制的第二回路,第二回路包括超越(优先)功能。

本发明的进一步目标是提供一种上述类型的控制系统,其中对每个开关提供了进行总控制的第三回路。

本发明的进一步目标是提供一种上述类型的控制系统,其中对每个功能开关提供了进行局部控制的第四回路,第四回路可以视为不出故障的安全控制回路。

本发明的进一步目标是提供一种控制建筑结构因外部能量或力的作用引起的位移的控制系统,修正的建筑结构包括至少一对以推挽方式(压缩/张紧)安装在建筑结构上的功能开关,其中每对功能开关中的第一和第二开关在建筑结构沿不同方向运动时分别切换于“开启”和“关闭”以及“关闭”和“开启”状态之间。

本发明的进一步目标是提供一种实时改变建筑物的结构参数的控制系统,控制系统包括:提供包含“开启”、“关闭”和“阻尼”状态的功能开关,将功能开关安装在建筑结构上以便在功能开关受到控制时可修正建筑结构参数,以及响应于外力作用引起的速度、加速度或位移的其中一个或多个测量值,改变功能开关的状态,改变方式为使施加到建筑结构上的能量被耗散并控制建筑结构的位移,至少有一个功能开关安装在与装有另一功能开关的平面相交的平面内以同时控制多个平面。

本发明的进一步目标是提供一种新型功能开关,它包括一具有轴向对齐的第一和第二钻孔的圆柱体、滑动安装于第一和第二钻孔内的第一和第二杆、将第一和第二杆耦合在一起以进行同步运动的装置以及位于圆柱体内部并在第一和第二钻孔相邻端之间延伸的流体通道,流体通道上带有阀,对阀门进行控制以改变功能开关在“关闭”、“开启”和/或“阻尼”之间的状态。

通过以下结合附图的详细描述,本领域内的技术人员可以更清楚地理解本发明的前述和其它目标以及优点。

附图概述

- 图 1 表示在地震、飓风等作用下可能发生倾斜的建筑物结构;
- 图 2 表示一段时间内沿 X-Y 方向的地震运动;
- 图 3 表示根据本发明应用的原理得到的功能开关的建筑物结构部分;
- 图 4A 表示单向功能开关的示意图;
- 图 4B 表示图 4A 所示的功能开关的动态模;
- 图 5 为根据本发明开发的控制程序的流程图;
- 图 6 为表示分级控制循环回路的 RSM 控制过程的判断流程图;
- 图 7A 和 7B 表示本发明在初始局部结构控制级上控制硬件的典型安排,图 7A 为前视图,图 7B 为侧视图;
- 图 8 表示正在进行初始局部结构控制的功能开关的切换;
- 图 9A 表示在初始局部结构控制下用于功能开关操作的力一位移曲线图;
- 图 9B 表示如果在缺乏较高级别控制时采用初始局部结构控制可能产生的结构过度倾斜;
- 图 10 表示提供同时实时检查所有功能开关状态并根据所选择的原理发布优化命令的总循环回路控制的结构;
- 图 11 表示根据本发明原理修正的简化建筑物结构;
- 图 12 表示图 11 所示建筑物在遇到图 2 地震时怎样进行共振的计算;
- 图 13A 和 13b 表示图 11 的建筑物如何根据本发明的原理进行修正以减少在图 2 的地震期间的结构倾斜;
- 图 14A 表示图 13A 和 13B 所示的功能开关如何“开启”和“关闭”;
- 图 14B 表示当在某些激发状态下采用推拉布置时一对原型开关的理论动态响应;
- 图 15A 和 15B 表示图 6 结构的计算响应,图 15A 表示根据本发明的 RSM 系统修正时的响应,而图 15B 表示利用刚度支撑修正时的响应;
- 图 16 表示当受到或没有受到本发明的主题控制时测试试验结构的实际测试结果;
- 图 17 表示如何将本发明应用在桥梁上;
- 图 18 表示可以在图 17 中采用的双向功能开关;
- 图 19—21 表示如何将本发明应用在其它建筑结构上;

图 22 表示本发明在建筑物结构上的另一种应用；

图 23 为表示将 RSM 系统应用于图 22 所示建筑物时的结果示意图；

图 24 和 25 表示在某些激发状态下原型开关的理论和实验上的动态响应；

图 26 为四路功能开关的侧视图；

图 27 为取自图 26 的线 27—27 的剖视图；

图 28 为沿图 27 中线 28—28 所取的剖面图。

本发明的最佳实施方式

首先参见图 1, 标号 10 表示一建筑结构。所示结构具有四根通常沿垂直方向延伸的柱体 12、14、16 和 18。此外由水平梁 20、22、24 和 26 构成一系列地板。如图所示, 水平梁 22.1、22.3、24.1 和 24.3 等沿 X—Z 平面内的东西方向延伸；而水平梁 22.2、22.4、24.2 和 24.4 等沿 Y—Z 平面内的北南方向延伸。所示建筑物提供有诸如人字形支撑梁 30、32 之类的被动控制。当建筑物 10 受到由箭头 34 指示的西风吹拂时, 它向东倾斜。风将能量输入建筑物, 附加的能量存储在弯曲的柱体等内部。当风速减小时, 能量被释放以使建筑物恢复到正常状态。由图 1 的结构可见, 建筑物所有的变形都发生在 X—Z 平面, 这种变形可以由人字形支撑梁 30、32 抵抗。

当建筑物 10 遇到地震时, 将沿 X 和 Y 方向(分别为东西和北南方向)发生水平地面运动。此外, 还会有图 1 中正弦波 X 和 Z 表示的地面波。由于这些运动, 在地震期间建筑物将至少将承受五个运动度; 即, 沿 X—Y—Z 方向的运动和围绕 X 和 Y 轴的转动, 并且可能围绕 Z 轴转动。在大多数地震中, 激发和大多数其它动态载荷都是随机的。这可以由表示 E1 震源地震响应时间历史的图 2 看到。遇到这种地震的建筑物将发生倾斜并趋于振动。建筑物的这种振动往往是破坏性的。

计算机分析和实验确认, 如果实时修正结构物理参数, 则自适应结构可以承受大幅度的振动。这种结构参数修正可以利用功能开关实现。虽然可以采用多种形式的功能开关, 但是比较好的是采用双向或者可以重复使用的形式。功能开关可以设定为“关闭”、“开启”或者“阻尼”状态。根据应用的场合, 比较好的是采用双向或单向开关。

图 3 为与图 1 相似的表示图 1 所示结构一部分的视图, 但在 Y—Z 平面内增加了垂直柱体 15。图中还示出了用 36 表示的单向功能开关对。(虽然图 3 示出了单向开关, 但是显然比较好的是采用双向开关, 方向开关将结合图 17、18 和 26—28 来讨论。)因此, 如图所示, 在 Y—Z 平面内有一对双向功能开关 36.1 和

36.2 并在柱体 15 和水平梁 24.3 之间延伸。在结构的角部有两个附加的功能开关 36.3 和 36.4, 功能开关 36.3 位于 Y-Z 平面内并在角部柱体 14 与水平梁 24.2 之间延伸而另一个功能开关 36.4 位于 X-Z 平面内并在角部柱体 14 与水平梁 24 之间延伸。开关 36.3 和 36.4 可以将耗散能量从一个平面传递到另一个平面。

图 4A 示出了用 36 表示的单向可以重复使用的功能开关, 该功能开关包括圆柱体 38 和容纳于圆柱体 38 之内的杆 40。杆 40 的一端配有可以固定在由梁 24 安装带的固定件(未画出)上的合适小孔或类似件。远离杆端 42 的圆柱体 38 的一端设有一托架 44 托架可以通过连杆固定在柱体 14 或柱体 15 上(未画出)。除了活塞和杆件以外, 单向功能开关 36 还可以包括一容器 46。容器通过合适的口 38.1 与位于圆柱体 38 内部的流体室 48 连接。一流体循环回路在口 38.1 和容器 46 之间延伸, 回路配有平行的分支管路 50 和 52。在一分支管路 50 上配有可变孔或者限制器 54 形式的调节器, 在另一分支管路 52 上配备一单向止回阀 56。当结构 10 有点倾斜使得功能开关受压缩时, 止回阀 56 阻止经管路 52 的流体流动并将可变开孔设定为“阻尼”状态从而使倾斜能量被开关吸收。但是, 如果功能开关被拉长, 则流体可以从容器 46 自由地通过管路 52 和止回阀 56, 并通过口 38.1, 开关于是处于“关闭”状态。可变孔或者限制器可以采用机械控制器, 例如检测杆 40 与圆柱体 38 之间运动的双臂曲柄, 它与合适的阀耦合。可变孔也可以用与合适的电动设备耦合的电动机械设备予以控制。两个单向功能开关可以组装在一起从而在两个方向上都可以起“开启”、“关闭”和阻尼功能。双向功能开关将在下面讨论。

在图 4B 中, 示出了单向功能开关的动态模型。(该模型对于双向开关组件同样有效。)组件的连接件和其它部件总是具有一定的刚度和质量, 被修正的刚度和质量分别用 K_m 和 M_m 表示。在图中, 利用在诸如线性电气设备 58 之类的合适控制下可以逐渐从完全关闭位置移动到完全打开位置的可变阀来实现可变孔 54 的功能。通过阀的可变孔在其两极端位置之间的移动提供了阻尼 C (方程式(1))。但是, 如果阻尼非常高, 并且在可变孔阀 57 内的孔无法提供这样宽范围内的阻尼, 则可以采用附加的阻尼机构 59。不过刚度 K_m 和质量 M_m 可以主要由开关系统本身决定。 C 、 K_m 和 M_m 的数值由以下判据确定: 阻尼 C 必须高至足以使存储在开关系统的能量在开关处于“关闭”状态下的半个周期内耗散掉。但是过高的 C 值将降低控制阀的响应速度。数值 K_m 由下述的方程式(9)确定。数值 M_m 的确定实现了优化能量的耗散, 它包括质量抵抗外力所作的优化的

功。但是它受到开关系统响应速度的限制。过高的 M_m 与阻尼 C 一样,将减少响应速度。

图 5 示出了多自由度地震振动控制的流程图。按照该方式,所有的开关最初都设定为“开启”状态。当结构受到多维地面运动影响时测量和计算动态响应、外力和内力、模态能量状态和/或地面运动。测量和计算的数据是自始至终被存储的。系统识别单元可以用来获得也存储在存储单元内的某些模态参数。当响应的水平超过预设定的阈值时,中央判断单元将发出命令初以启动局部判断单元。预设的阈值确定如下:

1)如果 RSM 系统与已有技术的普通控制一起使用,则预设的阈值可以较高以使这些已有技术设备首先工作;

2)如果单独使用 RSM 系统,阈值应该设定得较低,甚至为零。此时,预设的阈值降低了 RSM 系统所需的精度从而降低了制造成本。

中央判断单元的另一个重要功能是识别特定功能开关和它们的开启/关闭状态相对于全局结果而言的优化集合。因此,局部亚结构可以作出最少的响应,但是这种最少的响应可能会导致其它亚结构非常巨大的变形。另一方面,局部点可以显出巨大的变形并吸收相当数量的振动能量从而减少总的振动水平。在中央判断单元发出初始化命令之后,局部判断单元开始计算优化的结果并向各个功能开关单独给出开启和关闭指令。各个开关根据指令设定为“开启”、“关闭”或者减少振动水平的“阻尼”。在下一时间间隔内,在此再测量振动信号并初始化新的控制循环。当外部激发和结构振动水平减少到某一数值时,中央单元发出指令停止整个控制过程。

上述控制系统可通过以分级方式布置进行一系列步骤的计算机程序来实现。计算机程序执行局部结构控制、总结构控制和安全检查以确保故障期间结构的完整性。图 6 是表示用于 RSM 的时序控制程序的流程图。

为使用图 6 的流程图起见,假设多层结构配备了多个功能开关而且 RSM 系统没有与其它控制一起使用。在该流程图中,这些开关被认为只具备两种物理状态:“开启”(刚度部件)或“关闭”(零刚度部件)。控制流程开始时将所有的功能开关初始化为“开启”位置。

时序控制程序提供的最低级控制称为初始局部结构控制级或者 H1 控制回路。结构中的每个功能开关都配备必要的控制设备以执行 H1 控制,因此,每组 H1 控制设备只控制与其相关的局部功能开关。

一般在 H1 控制回路中使用的控制回路包括一功能开关、速度换能器和控

制电子线路。速度换能器可以各种方式安装在多层结构中的相邻两层之间来测量它们的相对速度。与速度换能器相关的功能开关象速度换能器一样安装在相邻两层之间。

图 7A 和 7B 表示安装在图 3 所示结构中的单个功能开关的基本排列。开关 36.5 可以是图 4A 所示类型的开关。图中,开关经过支撑 60 与较低的水平梁 22.2 相连并经过支撑 61 和支撑质量 63 的过渡框架与上面的水平梁 24.2 相连。速度换能器 64 在质量 63 与上梁 24.2 之间延伸。力换能器 65 安装在支撑 61 和功能开关 36.5 之间。最后,加速度计 66 安装在框架 62 上。速度换能器 64 测量上层楼面 24.2 相对于下层楼面 22.2 运动的速度,并初始化一送往 H1 控制装置或者处理器 67 的信号,接着处理器又向线性电子设备 58 发送信号,在本实施例中,电子设备 58 为两个位置的螺线管,在阀 57 的操作下使开关“开启”或“关闭”。

H1 回路以下述方式运行。H1 处理器首先分析速度换能器输出,当相对速度趋于零时,H1 处理器向具有变换设备 58 当前状态作用的功能开关的控制阀发出命令,根据要求“开启”或“关闭”开关。图 8 示出了 H1 回路动作的特性。其净结果是在结构的局部速度趋于零时功能开关交替地处于“开启”和“关闭”状态之间。

执行 H1 控制必需的 H1 处理器中的控制电子线路位于相关的功能开关之上或者附近。电子线路由放大速度换能器 64 的输出的功率放大器、作出判断的电子线路以及向功能开关 36.5 的控制阀 57 的螺线管 58 发送合适的控制命令的功率放大器组成。

H1 控制方法在上面被描述成为一种切换刚度元件“开启”和“关闭”状态的方法,但是它很容易用于切换质量或者阻尼元件。在非常简单的结构控制形式中,H1 回路与普通方法相比将提供具有足够改进效果的能量耗散特性,并且可以作为独立的控制系统运行。图 9A 示出了作为简单结构上的独立控制设备 H1 回路的结果。能量耗散回路是理想的平行四边形。垂直于 x 轴的两边表示位移没有变化时力的下降。其它两边表示整个系统的刚度。可以证明的是,对于给定的刚度,平行四边形提供了来自 RSM 的最大能量耗散。在 SDOF 系统中,该能量回路满足方程式(5)所述的最小守恒势能。

在图 24 中,示出了开关的理论响应。在点 1,开关开始受到压缩,由于开孔设定为“开启”状态,没有流体可以通过开孔。在点 2,由于不容许任一位移,所以力达到最大值。但是,当力开始改变方向时,开孔突然释放,进入“关闭”状态并且

使得开关可以移动,在极短的时间内,力回落至点 3 的最小值而开关之间的位移达到最大,它等于功能开关安装在特定点上的结构运行的最大容许位移。紧接在点 3 之后,开关仍然处于“关闭”状态下的自由运动,但是位移开始减小直到在点 1 开始下一次压缩。要注意的是,如果激发是随机的而不是正弦的,响应看上去不再象图 25 所示的实验响应。可以看到,图 24 的理论估计与图 25 所示的实验数据非常符合。

但是,为了达到更好的系统性能,分级控制的实现方式可以是对其它系统判据的检查,其它判据可以超越 H1 回路的局部控制。第二级控制是 H2 回路。它作为一种局部控制的形式与 H1 回路相似。图 7A 和 7B 还表示使用该回路有关的部件。力的测量取自力换能器 65。在 H1 回路完成其速度检查的同时进行力的测量。如果 H1 回路确定相对速度接近于零,则启动 H2 回路,并且将测量得到的力与存储在 H1 处理器 67 的存储器中的小阈值力进行比较。如果测量得到的力超过阈值力,则控制器不进行动作。在确定的一由处理器 67 内部的定时器选择的时间间隔后,H1 和 H2 控制回路再次在操作中被调用。

H2 回路的目的是避免结构中非平衡力的发生。如在 H1 回路中讨论的那样,切换发生于相对速度趋于零的点。对于典型的结构,振动下的建筑物动态情况与正弦运动相似。因此,瞬即时速度为零时,位移最大。由于地震的地面运动是随机的,功能开关有可能在不需要的外力通过结构传播的同时接收命令而具有零刚度。如果仅由 H1 回路单独控制功能开关,则该净效应将导致结构的变形中的过度位移。此现象示于图 9B 中。H2 回路在这种情况下将超越 H1 回路命令,从而导致系统暂停直到进入更有利的力状态。

H2 回路总是作用在局部级别。因此每个功能开关将具有集成在其本身的控制电子线路的 H2 控制回路和前面讨论的 H1 控制回路。

时序控制程序中的下一级别分级控制在 H3 回路。这是负责监视结构中每个功能开关控制的全局控制回路。在每个功能开关的 H2 回路完成比较之后,H3 回路必需在送往功能开关的命令执行之前检查该命令。

通过遍及测量结构中多个关键位置的结构位移、速度和加速度运行 H3 控制回路。为了计算结构的保守能量,这些测量随后被 H3 回路利用。该回路的目标是守恒能量减到最小。H3 回路随后分析来自 H2 回路的命令以便确定送往给定功能开关的 H2 控制信号是否使结构守恒能量减少,如果控制信号使守恒能量减少,则将其送往功能开关。如果信号将使守恒能量增大,则不允许向功能开关发出命令。

H3 回路是一总回路,在于它同时对所有功能开关的状态进行实时检查并按照使守恒能量最小的原理发布优化命令。它起着中央判断单元的作用。因此,只有一组控制电子线路用于实现 H3 回路。H3 回路以顺序的时间间隔不断作出判断的过程直到外部激发和结构振动降低到预先确立的水平以下。

图 10 最为清楚地示出了 H3 回路的应用。该图与图 3 相似,但增加了表示各种完成 H3 控制所需的控制设备。为了测量速度,提供了人字形支撑柱 30.1、30.2、31.1 和 31.2,这些支撑柱的下端被固定在水平柱 22.1 和 22.2 上。支撑柱的上端互相固定并通过速度换能器 70 与上水平梁 24.1 和 24.2 互连。能够测量位移和/或加速度的传感器 73 也被安装在结构上。计算机 74 接收来自传感器 70 和 73 的输出信号,对接收到的信号进行处理并向 H1 处理器 67 发送合适的信号。计算机 74 还从 H1 处理器中接收反馈信号。

H3 回路可以借助多个诸如比例—积分—微分反馈、状态空间反馈或者各种优化电路之类的常规控制实现。也可以利用神经网络控制电路进行为使守恒能量减至最小程度所需的大量计算。一种可能的方式是通过采用改进的相联存储修正方法所使用的自学神经网络而实现的。

替代能量守恒原理,H3 回路也可以将速度位移理论用作向功能开关发布命令的控制判据。在这种类型的控制下,H3 回路只是激活监视结构中那些离散(不连续)部分,在那里按照一定策略安装的换能器测量到的速度和/或位移超出了某些预设的水平。

这种设计中的控制终级就是故障控制回路或者 H4 回路。该回路的目的是在低级控制回路和/或控制硬件发生严重故障时对结构中所有的功能开关进行控制。整个结构中多个位移、速度和加速度的测量以连续的方式进行。H4 回路随后将这些值与某些最大的预设水平进行比较。如果测量中发现超出最大允许数值,则表明在低级控制中发生了严重故障。

如果超过最大预设水平,H4 回路将向结构中所有的开关发布一个信号,该信号超越 H3 回路的信号并且将所有的功能开关设定到一个确保结构在没有 RSM 时具有某种程度上的安全性和稳定性的状态。这可以要求将结构中所有的开关设定为“关闭”状态或者根据前面的结构分析只是将某些开关设定为“关闭”状态。因为无法连续监视每个功能开关的状态,所以 H4 回路视为独立的控制回路。它的唯一目的是在系统发生故障时提供合适的缺席命令信号。H4 控制除了图 10 所示 H3 控制硬件以外无需其它的硬件,但是它必须使计算机在(超越)H3 控制输出下装有一故障程序。

利用图 7A 和 7B 所示结构上(图 4A)所示的功能开关的安排进行实验测试。利用振动台模拟两个方向上的地面运动。操作振动台以模拟两种地面运动的方式:根据实际记录地震情况得到的扫描正弦输入和随机振动输入。扫描正弦输入的结果提供了有关结构等效的阻尼率的信息。利用地震时地面运动记录来检测本发明的有效性和使用能力。

表 I

	Config. 1	Config. 2	Config. 3	Config. 4	功能开关	功能开关
					实 验	理 论
阻尼率 (%)	8.1	13.5	18.6	23.1	33.0	34.0
最大变形 (mm)	47.5	28.0	26.9	26.3	11.9	10.0
RSM 减小 (%)	75.0	57.5	55.8	54.8		

表 II

	Config. 1	Config. 2	Config. 3	Config. 4	功能开关	功能开关
					实 验	理 论
阻尼率 (%)	7.9	12.9	17.2	19.4	32.7	34.0
最大变形 (mm)	32.0	15.1	12.6	12.0	8.2	7.5
RSM 减小 (%)	74.4	45.7	34.9	31.7		

表 III

	Config. 1	Config. 2	功能开关	功能开关
			实 验	理 论
阻尼率 (%)	8.3	17.2	32.2	34.0
最大变形 (mm)	88.2	68.1	25.4	25.0
RSM 减小 (%)	71.2	62.7		

表 IV

	刚节性支撑	功能开关	功能开关
		实 验	理 论
阻尼率 (%)	8.1	35.2	38.0
最大变形 (mm)	27.2	6.0	6.0
RSM 减小 (%)	77.3		
最大基座剪切 (lbs)	507.8	127.0	
RSM 减少 (%)	77.0		

表 I—IV 的结果表示在多种操作模式下结构响应的比较。由于这些测试表示的是本发明在单一平面上的应用,所以只利用了 H1 和 H2 控制。

上面的表 I 将四种现有技术结构阻尼配置的结果与采用 H1 控制电路控制的阻尼型功能开关得到的结果进行比较。结构受到振动台 0.1g 的控制输入加速度的激励。相对于结构的等效的正弦输入位移的大约为 4mm。构形 1 表示带有刚度等于处于“开启”状态的功能开关的刚度的一刚性支撑结构。构形 2 代表采

用一粘滞阻尼器代替构形 1 中刚性支撑的结构。阻尼特性与处于“阻尼”位置的功能开关相似。构形 3 代表在同一平面内安装两个阻尼器的结构,每个阻尼器的阻尼特性与处于“阻尼”模式下的功能开关相等。构形 4 除了采用两个普通粘弹性阻尼器以外与构形 3 相同。表 I 的“功能开关”栏代表在 H1 型控制的控制下单个阻尼型功能开关的使用,第一栏为实验数据而第二栏为理论结果。结构的最大倾斜(偏移)和阻尼率列出来用于比较并反映出采用本发明的 H1 控制获得了较高的阻尼率和较低的结构倾斜。

表 II 代表上述同一结构的测试结果,但是测试中的输入受控恒定正弦位移为 4mm。共振频率的等效输入加速度水平大约为 0.1g。表 I 和表 II 的主要差别在于表 I 表示反馈受控加速度测试中的结果,而表 II 表示反馈受控位移测试的结果。

表 III 代表上述同一结构的测试结果,但是测试中的输入为 12mm 的受控正弦位移。共振频率的等效输入加速度水平大约为 0.3g。构形 1 代表具有两个刚性支撑的结构,每个支撑的刚度等于处于“开启”状态时功能开关的刚度。构形 2 代表采用粘滞阻尼器代替配置 1 中刚性支撑的结构,每个阻尼器的阻尼特性与处于“阻尼”模式下的功能开关的相似。在这种构形中也可采用了两个普通粘弹性阻尼器。表 III 的“功能开关”栏代表在 H1 型控制下单个功能开关的使用。

表 IV 代表上述同一结构的测试结果,在该测试中,采用两个推挽布置的功能开关代替单个功能开关。这种测试中的输入为 0.1g 的受控加速度。相对于结构的等效输入恒定正弦位移约为 4mm。表 IV 的“刚性支撑”栏代表具有两个刚性支撑的结构,每个支撑的刚度等于处于“开启”状态下的功能开关的刚度。“功能开关”栏代表受控于 H1 和 H2 型控制的两个推挽开关的使用。

当用于表 IV 的推挽布置时的本发明的应用可以从图 11 中看到。在图中,示出了由三个倒置 U 形框架 68R、68C 和 68L 组成的一层结构系统,三个框架在顶部由合适的梁 69 连接起来。框架的顶部有三块 3 乘 12 米大小的混凝土厚板 69S。混凝土和其它静止与活动负荷的重量均匀地分布于顶板上。由于中央框架 68C 在本发明的实时结构修正系统下处理,所以要进行对框架结构的结构分析,其中要确定结构的重量、侧面刚度和固有频率。从该分析中发现中间框架的总负荷为 35100kg。通过标准分析还发现框架的固有频率约为 3Hz 而水平刚度 K 为 1170000kg/m。

对在经过选择的地震(记录在 1940 年 El Centro 地震(图 2))作用下框架的理论位移响应作了计算并示于图 12。由图可见,位移的峰值为 2cm 左右,等于

5m 框架高的 1/250。按照建筑物代码说明书,超过建筑物高度 1/700 的水平位移将导致建筑物结构一定程度上非弹性变形。虽然这是可以接收的,但结构仍需要处于弹性变形范围内。因此,本发明的实时建构修正系统用来将振动水平减少到代码推荐的数值。这样,所以选择一种方法以使结构的位移响应最小,这是根据结构的固有频率和建筑物代码规定的百分比偏移。采用 RSM 系统时一般利用两个步骤。首先利用估算方程式作初步的设计

$$X_{\max} = aW / (K = 2K_m) \quad (9)$$

这里 $X_{\max}$ 是最大允许位移, aW 是侧向力, K 是框架的刚度,而 K_m 是采用功能开关的 RSM 赋予的表观刚度。由上述方程式可知,为了保证 1/700 的数值, K_m 应该等于 K ,即 1170000kg/m。经过上述计算后,将结构修正设备安装在能够使结构位移最小的结构中。

在图 13A 中,示意性地示出了使用安装在中央 U 形框架 68c 上的概略示意表示为推挽安排功能开关的 RSM 系统,而功能开关的推挽控制示于图 13B 中。首先,用 70 表示的特殊钢梁连接件,连接件被焊接或者栓接在未画出的 U 形框架中央水平梁 68C.2 上。两个钢制连接件 71 固定在 U 形框架 68 的垂直柱体部分 68C.1 和 68C.3 的下端。如图 13A 所示,两个包含功能开关 36.5 和 36.6 的支撑件 72.1、72.2 被安装在连接件 71 与特殊连接件 70 之间。功能开关 36 使得支撑件成为结构的自适应部件。增加的功能开关和支撑部件通过每组连接件、开关和部件提供了比原先刚度提高 100% 的刚度。特殊连接件 70 包括能够测量离开柱体 68C.1 和 68C.3 基座的水平梁 68c.2 的位移、速度和/或加速度的换能器形式的传感器 73。传感器 73 通过合适的电缆 75 与计算机 74 连接。计算机 74 可用来存储数据和系统识别。此外,如图 13A 所示,每个功能开关具有能够正确操作有关开关的局部判断单元。当计算机从传感器接收到信息时,它对这些信息进行处理,继之经过线路 78 向作出局部判断的单元 76 发送信号。系统识别和数据存储单元用 80 表示,而电源用 82 表示。图 13A 中的每个功能开关可与其它开关无关地加以独立控制。但是,在图 13B 中示出的控制是使开关 36.5 和 36.6 在“开启”和“关闭”状态之间交替切换。因此两个阀门 54 由刚性连杆 55 耦合在一起。当右边的开关 36.6 如图 13B 所示处于“开启”状态时,左边的开关 36.5 处于“关闭”状态。当右阀将右开关切换到关闭状态的位置时,左开关被开启向。如图 13B 所示方式安装的功能开关 36.5 和 36.6 发出的控制命令近似地示于图 14A 中。即,功能开关 36.5 和 36.6 在“开启”和“关闭”状态之间交替切换。因此采用两个功能开关作为自适应程序控制的推挽(互补)得以使表观刚度、阻尼和

质量保持不变但改变结构的实际刚度、阻尼和质量。

假定带有第一和第二推挽开关的结构被用来修改刚度。当结构沿一个方向移动时,第一开关处于抵制运动的“开启”状态而第二开关处于“关闭”状态。与第一开关相连的部件因此吸收位移能量而与第二开关相连的部件则释放在上一次循环中吸收的能量。当结构在沿此方向上停止移动并开始沿第二方向移动时,第一开关处于“关闭”状态并且相应的部件阻尼吸收的能量而与处于“开启”状态的第二开关相连的部件则开始吸收能量。采用两台设备和带有最简单控制回路推挽布置的(H1 循环),将包含平行四边形逻辑(见图 9A)的能量耗散循环(力曲线对位移)。如果忽略刚度,循环则变为正方形,如图 14B 所示。由图 14B 可见,在给定力(见 F_{max} 和 F_{min})和给定位移(D_{max} 和 D_{min})下达到了最大能量耗散。这意味着推拉布置在给定的最大/最小力和位移下耗散了最大的能量,因此优于其它布置。

为了比较将功能开关用于结构的效果,采用同样的 El Centro 地震记录来计算带有功能开关的框架的位移响应。由图 15A 所示,位移响应的峰值为 0.7cm,大约为框架高的 1/700。改进并超过了图 12 的结果 70%以上,符合基本的设计要求。而且,为了阐述采用简单支撑件与功能开关之间的差异,研究了对具有 100%原先刚度的简单支撑件的框架所作的另一种处理。相应的位移示于图 15B 中。可以看到,峰值位移只缩减到 1.6cm 左右。其改进不到 20%。计算的结果示于图 12、15A 和 15B 中,而与图 12 和 15A 相比的实际结果示于图 16 中。

刚巧在上述与图 11 和 13 有关的应用的研究中,功能开关用来耗散能量并修改单个平面内的结构刚度。但是,从图 3 可以明显看到,功能开关可以耗散不止一个平面内的能量。因此功能开关 36.3 和 36.4 位于不同的平面内。这些设备响应各种控制(机械或者电子的),而这些控制响应测量得到的位移以控制能量位移设备或者功能开关,从而使功能开关耗散能量并控制位移。

虽然图 4A 示出了功能开关的一种设计,但是也可以采用其它设计。例如,在以下几个应用中可以采用纯粹的一次机械功能开关。在最简单的形式中,它可以由通过安全销(剪切销)与杆耦合的管子组成。这种设备适于直线运动和旋转运动。图 4A 所示的设备在某种意义上是单向的,即杆可以自由向左移动,从容器 46 回流到室 48 通过一单向阀 56 是不受约束的。因此,开关在一个方向上总是处于“关闭”状态,但在另一个方向上可以设定为“开启”、“关闭”和“阻尼”状态。安全销功能开关也可以与各种可变强度弹簧耦合。这种设计特别适合于安装在刚性亚结构上的小型结构,例如安装在混凝土墩(支座)上的移动房屋。

图 17 表示用于桥梁上的本发明典型实施例。该实施例包括滑动地安装在基座 84 上的桥梁 83, 和将 86 表示的双向功能开关与桥梁 83 和基座 84 连接起来的固定件 85.1 和 85.2。此外, 提供了测量诸如系统的位移、速度、加速度、应力之类输入信号的传感器 87。传感器与响应于传感器接收信号以控制开关 86 的计算机 72 相连接。开关通过计算机几乎可以瞬时地完成在“开启”、“关闭”和“阻尼”状态之间的切换。由图 17 显而易见, 可以控制从地面传递到桥梁的能量或者反之亦然。此外显而易见的也是, 可以改变桥梁的结构参数。例如桥梁的质量可以通过与桥梁耦合或者解耦合的基座质量加以改变。此外, 开关的刚度可以改变, 或者可以阻尼(缓冲)桥梁或者基座的相对运动。因此, 以图 17 方式改变的桥梁是一种自适应结构。

图 18 示出了双向可复用功能开关的设计, 开关用 86 表示。该设计包括两个图 4A 所示的单向开关, 圆柱体 38a 和 38b 首尾相连地安装在沿相反方向延伸的它们的杆 40a 和 40b 上。杆借助轭组件连接在一起, 轭组件包括两个通过螺母 89 固定就位在杆螺纹端 40a.1 和 40b.1 上的横向延伸条 88。条借助轴 90 耦合在一起, 每根轴的相对端与相关的条 88 的一端合适地连接起来。轭组件可以与固定件 85.2 或者其它连接件合适地连接起来。每个圆柱体 38 提供了可以与合适的固定件 85.1 等耦合的支架 91。每个圆柱体具有端口 38a.1 或 38b.1, 端口经三位阀 92 与容器 46 相通。三位阀的位置可以较好地由与计算机 72 耦合的电子控制器 58 确定。虽然当阀门处于阻尼位置时双向开关 86 可以起阻尼器的作用, 但可以提供附加的阻尼器 59(未画出)。虽然用于控制阀的机构可以是电子的, 但是可以采用由电气或通过一机械装置控制的可变通孔阀, 例如检测圆柱体 38 与杆 40 之间运动的双臂曲柄或者连接圆柱体和杆的结构。如果用电气控制, 为了改进响应时间典型的是只有单一“阻尼”设置。虽然在图 3、13 和 17 中示出的功能开关安装成伸缩型, 功能开关也可以安装成弯曲、扭曲或者剪切型。

在已有技术中已经采用增加的阻尼和刚度(ADAS)来改变建筑物结构以改善倾斜特性。但众所周知的是, 较高的固定刚度和阻尼并不一定有助于减少结构的振动水平。变化的阻尼刚度和阻尼可以达到更好的效果。此外, 功能开关也可以改变结构的质量, 这也有助于减少振动水平。因此, 通过采用上述揭示的功能开关, 可以实时改变质量、阻尼和刚度等结构参数。

参见图 19。示出了具有垂直柱体 93 和屋顶桁架 94 的两层结构。功能开关以所示方式安装在中间柱体 93.2 和 93.3 之间。通过将功能开关设定为“开启”或“关闭”状态, 中间柱体可以是被加强支撑或者是根本没有加强支撑。因此可改

变框架的刚度。功能开关也可以与阻尼器而不是刚性部件连接。因此,可以同时改变质量、阻尼和刚度等物理参数。图 19 所示的功能开关可以设计成只承受延伸力的作用。因此不会因为压缩力引起纵弯曲。在这种方式下,功能开关的连接和支撑所需的横截面积较小从而降低造价。

图 20 表示建立在地基隔离单元上的高建筑物。高建筑物用 10 表示,基座用 96 表示,基座包括硬质表面 96.1 而建筑物包括刚性基座 10b。滚筒 98 等布置在刚性基座 10b 和硬质表面之间从而使建筑物结构 10 可以相对于基座 96 而运动。功能开关 86 在建筑物 10 与基座 96 之间延伸。该系统与图 19 所示的设计不同,因为它改变了力的传输路径和来自外力源的能力,而图 19 的设计改变结构的质量、阻尼和刚度。但是其基本原理与只改变结构的物理参数是一样的。

图 21 示出了改变质量的另一种设计概念。在该设计中,直接安装在基座 96 上的建筑物结构 10 通过功能开关 86 与质量 100 耦合。质量可以是另一幢建筑物。因为建筑物 10 和质量可能具有不同的运动(不同的频率、相位和不同的振幅)并且可以由功能开关 86 连接或者不连接,所以两个物体的振动可能会在一定程度上互相抵消。

虽然已经借助本发明的目标和内容阐述了本发明的控制理论,但是也许从图 22 中可以更好地理解该理论。图 22 所示的是包括剪切墙 102 与 104、两根隔开的垂直柱体 106 和由柱体支撑的质量 108 的建筑物。此外,第一功能开关 110 位于柱体 106 与剪切墙 102 之间。第二功能开关 112 位于另一柱体 106 和剪切墙 104 之间。第一功能开关 110 通过连接件 114 和 116 与相关的剪切墙和柱体连接,而第二功能开关通过连接件 118 和 120 与相关的剪切墙 104 和柱体 106 连接。每一剪切墙都具有一定的刚度,剪切墙 102 的刚度用 K_1 表示,而剪切墙 104 的刚度用 K_2 表示。按照最小势能守恒原理,通过在 K_1 和 K_2 之间切换刚度建立了简单而非常有效的算法来实现能量的最大降低和最小的位移。假定 $K_1 = K_2$,则在剪切墙 102 与 104 之间的切换使作为表观刚度常数的 $K + K_1$ 或 $K + K_2$ 保持恒定。但是,增加的刚度 K_1 和 K_2 交替地存储和降低了势能。当使质量 108 按箭头 122 的方向移动时,功能开关 110 切换至“开启”状态,而功能开关 112 切换至“关闭”状态。如果通过按箭头 122 的方向的地面运动引起的质量最大位移为 x_1 ,则增加的刚度存储的能量为 $K_1 x_1^2 / 2$ 。当质量开始沿箭头 124 的方向移动时,开关 110 切换至“关闭”位置,而开关 112 切换至“开启”位置。此时,刚度 K_1 可以自由移动并释放存储的能量。因此,存储的能量 $K_1 x_1^2 / 2$ 被释放。与功能开关 110 相连的能量耗散机构在质量沿箭头 124 的方向移动期间耗散该能量

数量。同时,由于功能开关 112 处于“开启”状态,剪切墙 104 的刚度 K_2 开始与主框架 106 的刚度 K 一起做功。也就是说,剪切墙 104 的刚度(K_2)开始存储势能直到质量体沿箭头 124 的方向到达最大位移,最大位移用 X_2 表示。同样,该能量数量等于 $K_2 x_2^2/2$,它将在质量 108 沿箭头 122 方向的下一次运动时耗散。算法的时间关系曲线示于图 23 中。在图中,实线 126 表示功能开关 110 处于“开启”状态而功能开关 112 处于“关闭”状态时的变形。点划线 128 表示功能开关 110 处于“关闭”状态而功能开关 112 处于“开启”状态时的变形。

虽然前述方程(5)应用于单自由度系统,但是用于多自由度的结构系统变得略微增加一些复杂性。方程式(5)由此变为

$$E_{kc}^i + E_{kf}^i + E_d^i + E_{df}^i + E_{pc}^i + E_{pf}^i = W^i + T^i \quad (10)$$

这里,与方程式(5)比较,新引入的上标 i 表示 i^{th} 模式而字母 T 代表由模式传递的能量,而不是 i^{th} 模式传递的能量。 T^i 项可以为正也可以为负。但是,涉及第一模式,或者甚至涉及前几个模式, T^i 项在大多数情况下都是正的。(Liang&Lee, “结构阻尼:部 I 复杂阻尼理论”,NCEER 报告 91-0004,1991)。因此,使模态守恒势能最小化的任务也包括使模态能量传递最小化。

该原理是使 M 、 C 和 K 的变化必须使守恒能量最小。换句话说,在外部激发期间,对总的外部能量处理如下:避免一部分能量进入结构;使其存储,随后阻尼掉一些,并保留一些以便随后用来作一定数量的功,以防止在下一步骤中吸收外部能量。在 MDOF 系统中,只是满足方程式(5)的安排是不够的,应该考虑另外的能量和模态能量的传递。

由上可见,功能开关可以选自图 4A 所示的能量耗散设备、图 21 所示的质量耦合设备或者图 22 所示的刚度改变设备等。这种设备或者是增加结构的动态阻抗来减少由外部能量的施加引起的结构能量输入,或者减少来自结构其它模式的能量传递,或者两者同时采用,从而使结构的守恒能量最小化。

四通路开关系统示于图 26—28,该系统可在两种模式下运行以使开关沿 X 和 Y 两个方向动作。在图 27 中,131 为盛油容器;132 为安装外罩;133 为制动罩;134 为转盘;135 为滑动槽;136 为滑块;137 为右活塞;138 为右圆柱体;139 为右盛油腔;140 为左活塞;以及 141 为左盛油腔体。在图 26 中,142 为顶盖 143 的轴承;144 为滑动轴承;145 为滑行通道 135 的轴承;146.1 为左管道;146.2 为右管道;以及 147 为控制阀。在图 28 中,148 为电磁制动器(电磁闸);149 为用于制动的电磁铁;以及 150 为用于控制阀 147 的电磁铁。

当一电压施加到电磁铁 149 时,制动器 148 阻止盘 134 的转动。因此在轴承

装置两端不会发生相对转动。当没有电压施加在电磁铁 149 上时,制动器不起作用,由于外部扭矩,盘可以自由转动。

当电磁铁 150 通电时,其推动力关闭控制阀 147。因此油无法通过管道 146 和阀 147 流出。这样活塞 137 和 140 都不能移动。滑块 136 的位置是固定的。当没有电压时,滑块 136 可以在外力作用下移动但受到来自控制阀 147 的一些阻力。即,当阀孔开得较大时,阻力较小;当阀孔开得较小时,阻力较大。

如上所述,制动器一转盘工作起来象一个转动开关。当它能够自由转动时,扭曲刚度为零。当不容许转动时,则施加了较大的扭曲刚度。刚度值的设计按照特定的结构来确定。而且,滑块工作起来象一个平移开关。当滑块可以自由运动时,结构上没有增加刚度。但是,通过由控制阀 147 的开孔调节阻力可以获得一定量的阻尼。当阀孔被固定时,就获得所需的刚度值。

调节控制阀孔的开度获得了一定的阻力。阻力以下述方式确定:1)在所需时间间隔内(可以取更短的时间),滑块必须停于某一位置,否则圆柱体就不能在下一步骤中使用。2)圆柱体一活塞系统的阻尼率至少应该为 70%,否则能量耗散将不足以释放整个结构的能量。

说明书附图

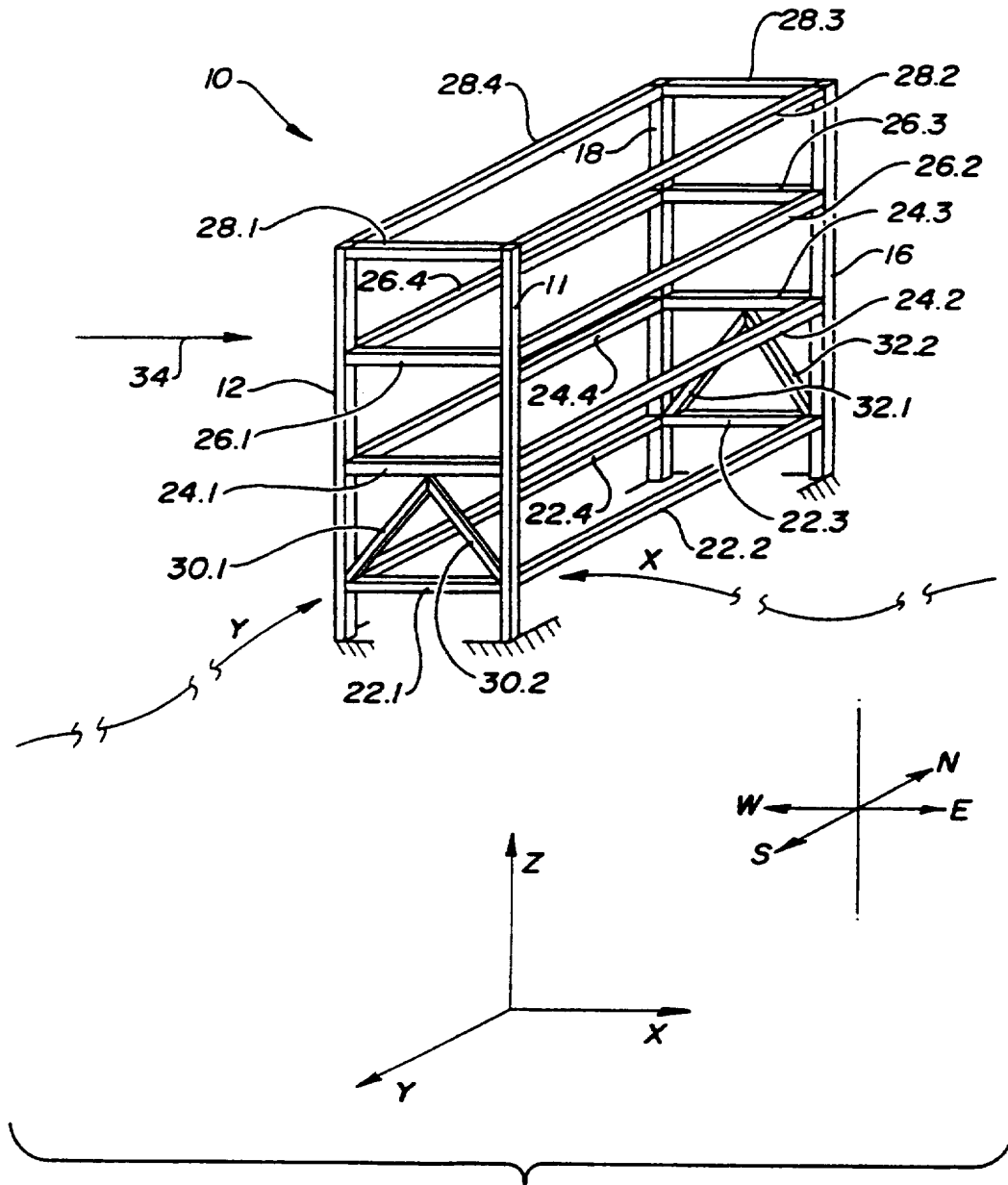


图 1

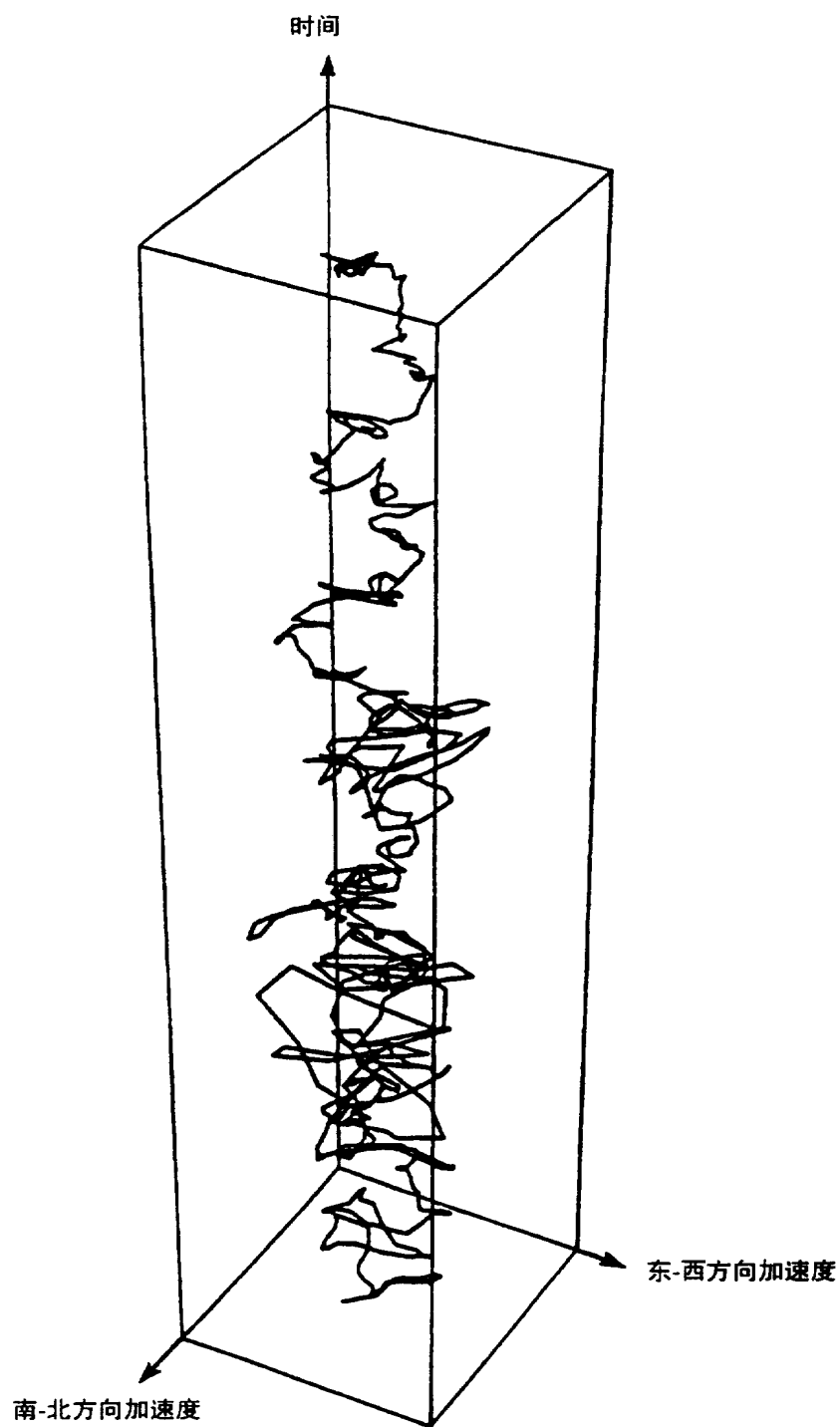


图 2

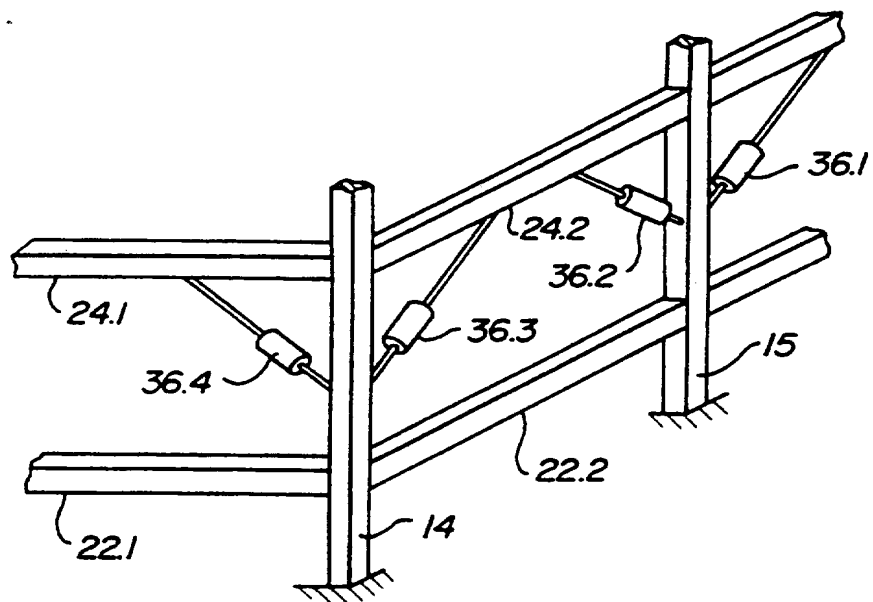


图 3

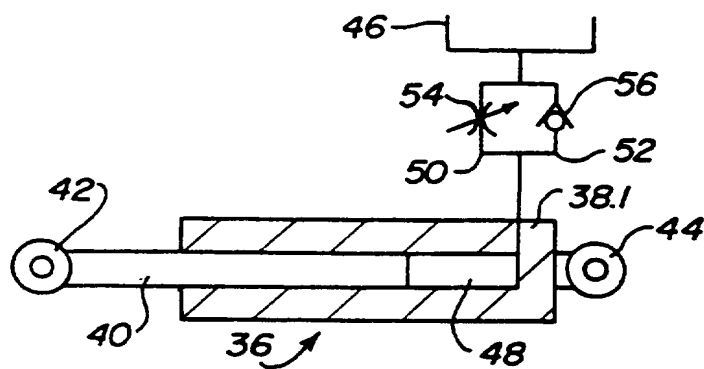


图 4A

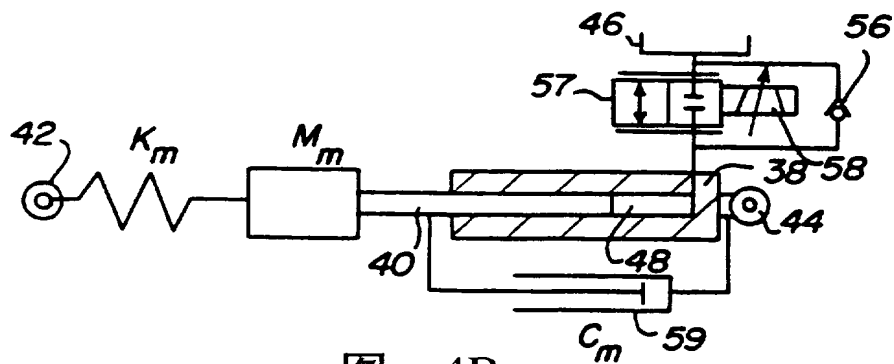


图 4B

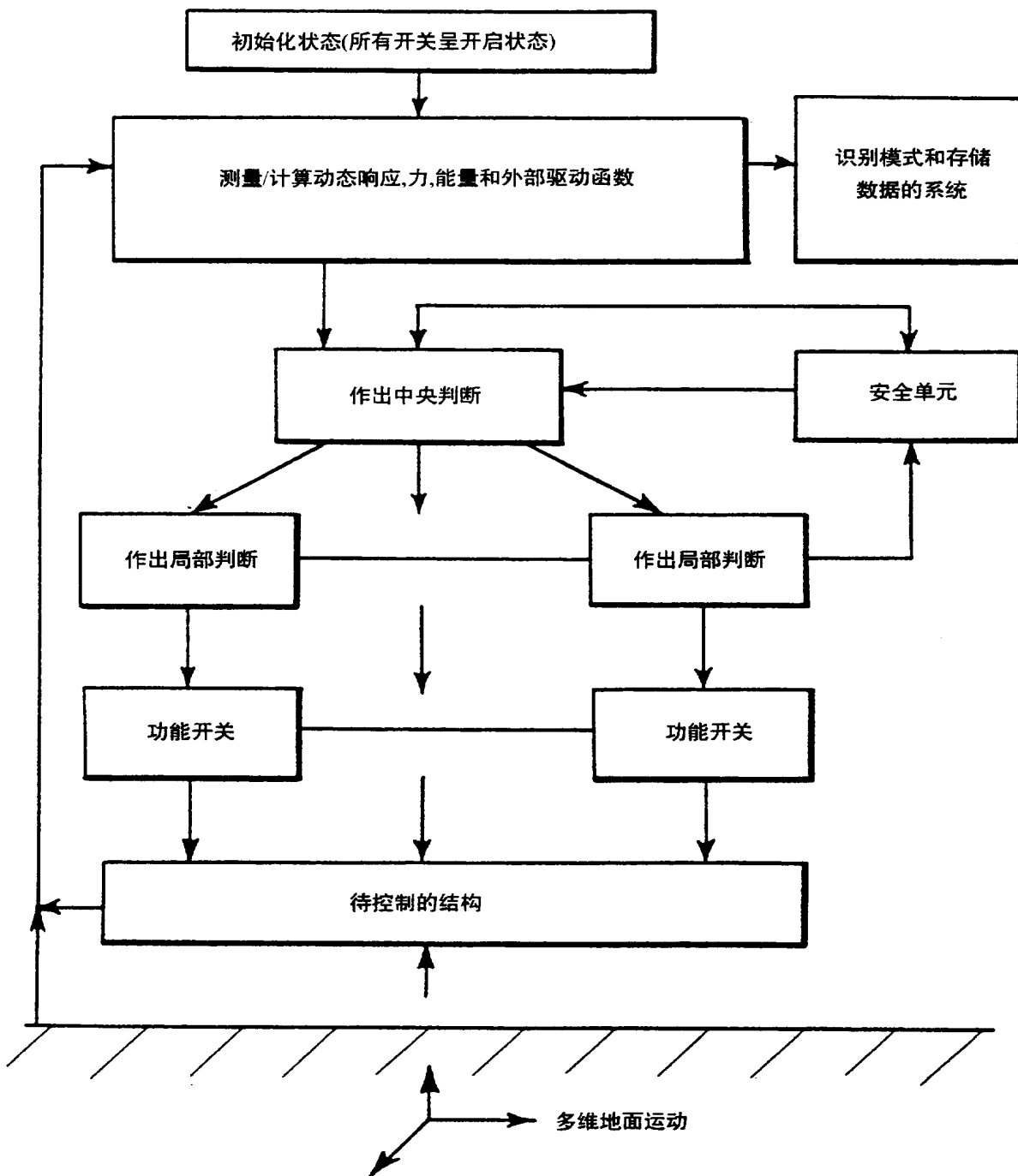
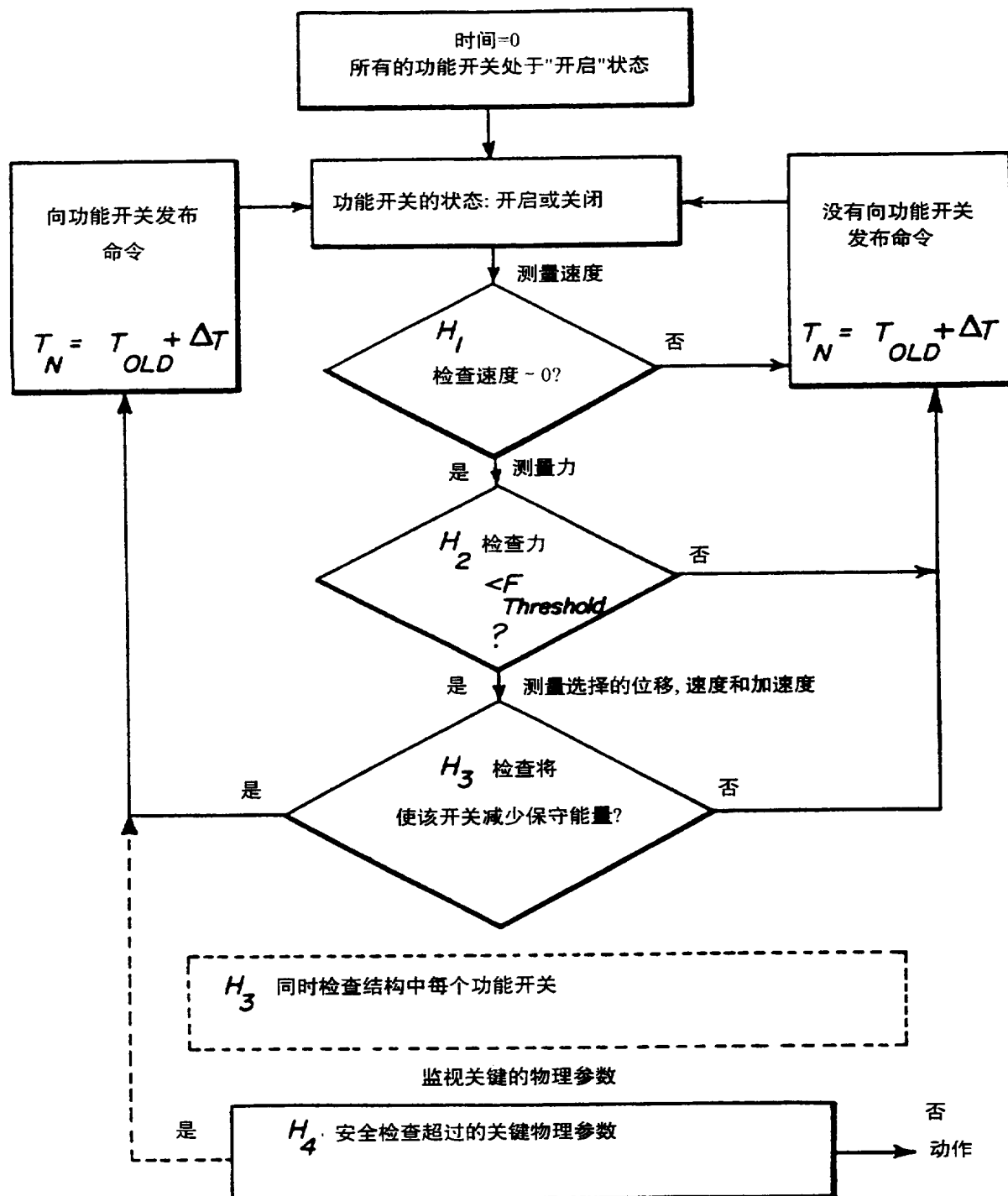


图 5



H_3 过载, 将所有开关转致预先确定的稳定状态

图 6

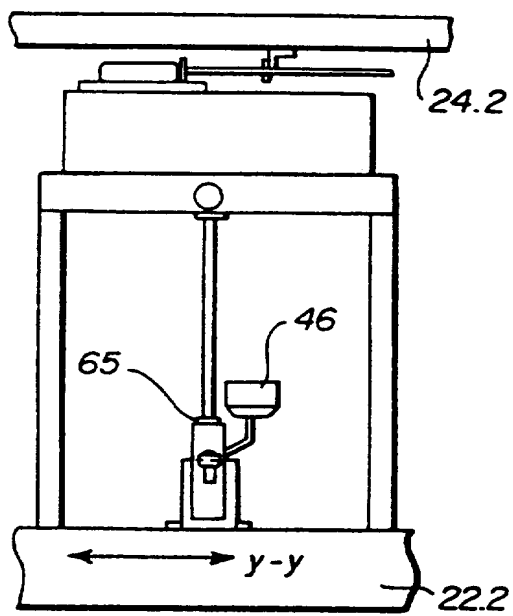


图 7B

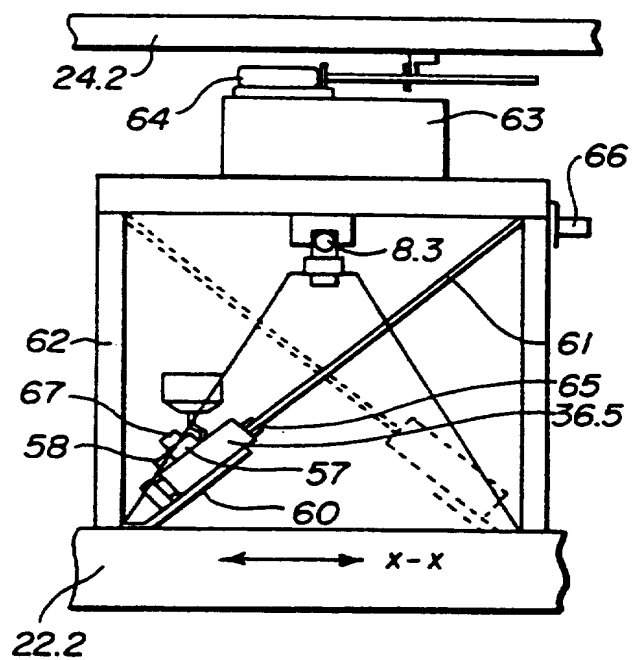


图 7A

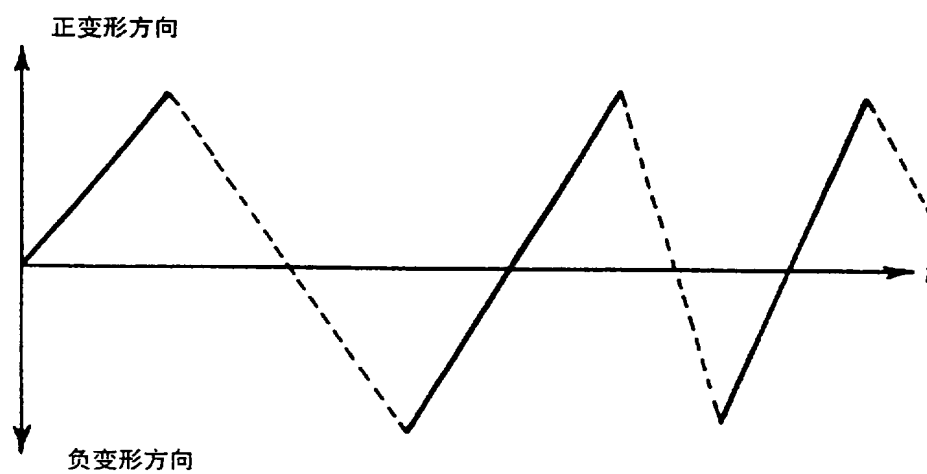


图 8

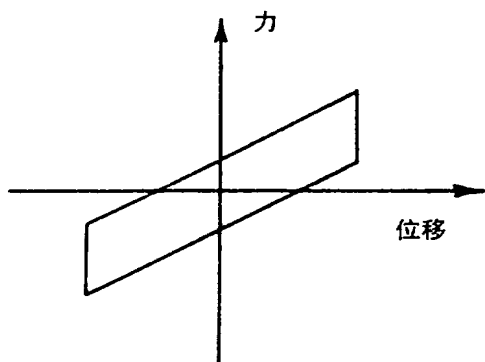


图 9A

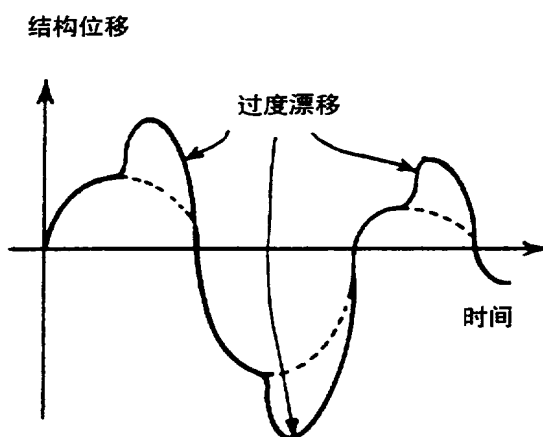


图 9B

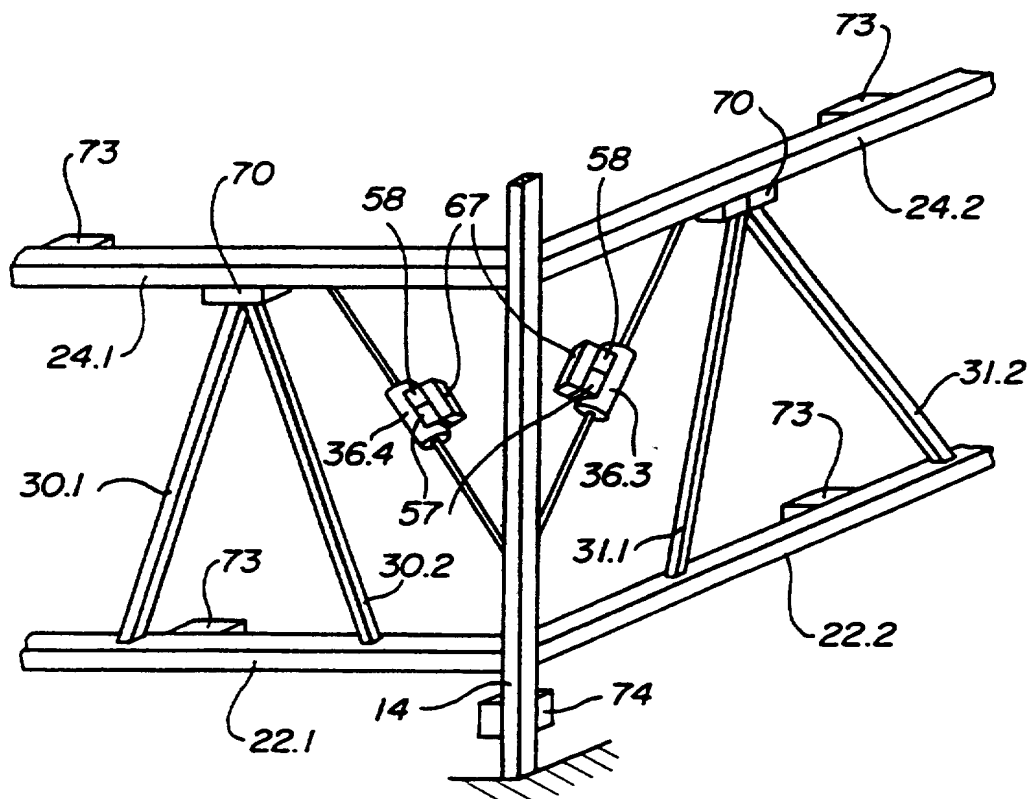


图 10

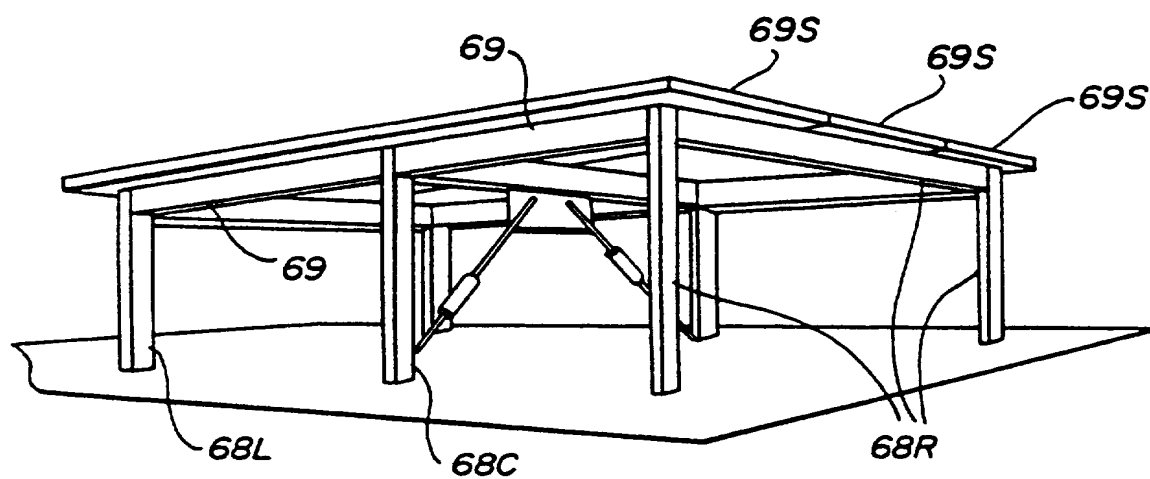


图 11

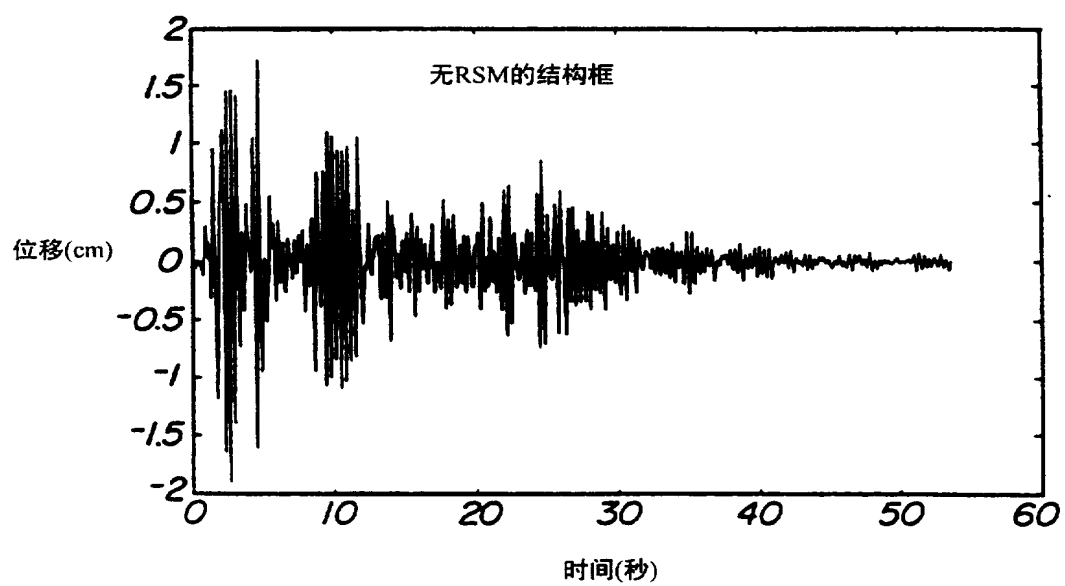


图 12

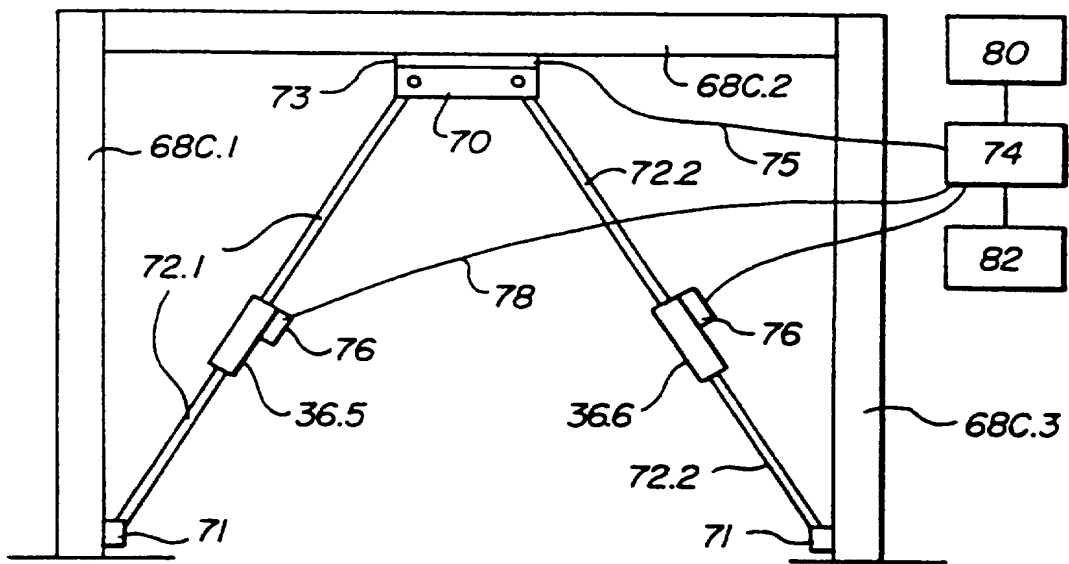


图 13A

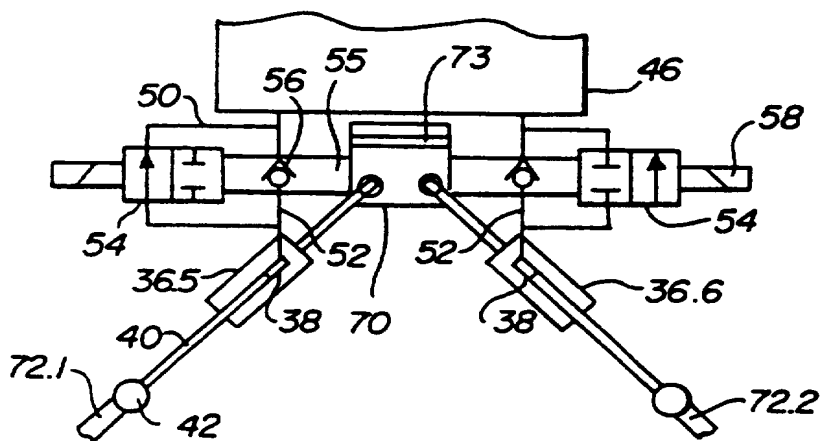


图 13B

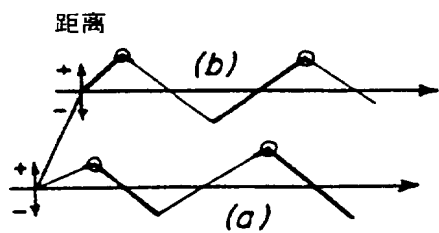


图 14A

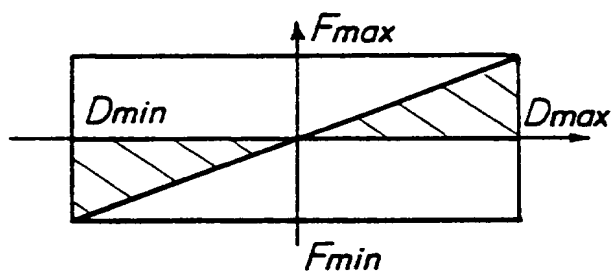


图 14B

图 15A

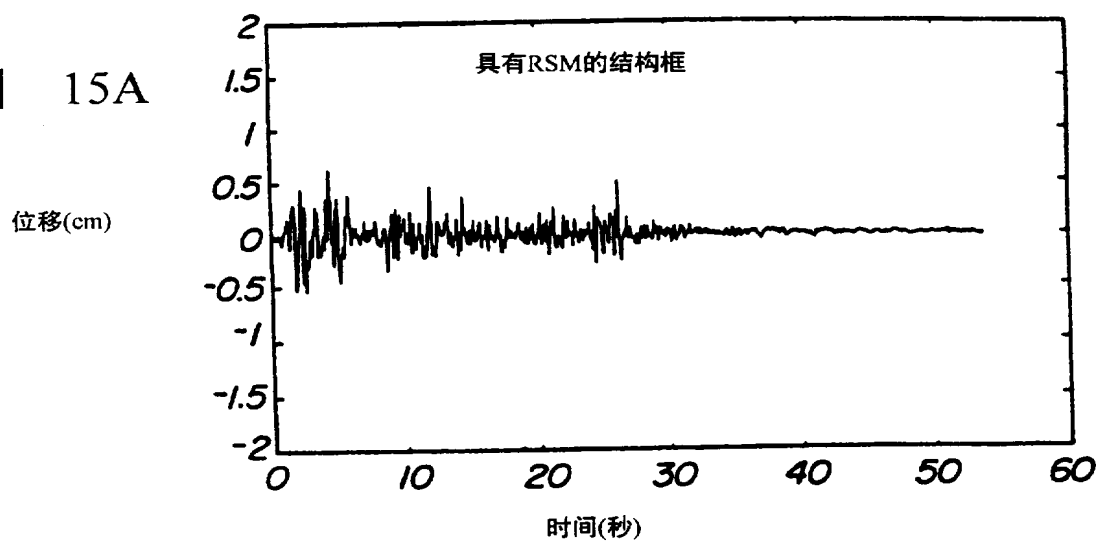
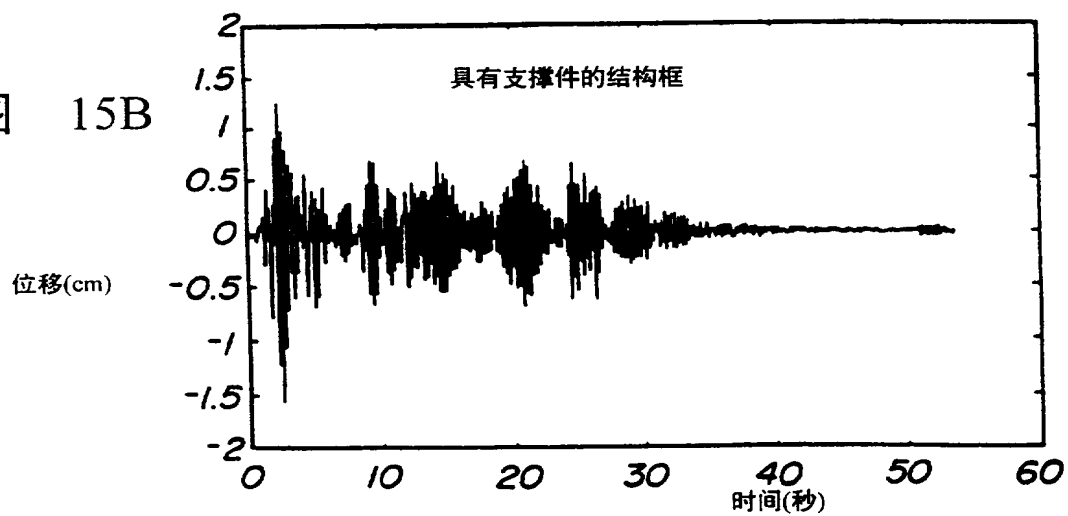


图 15B



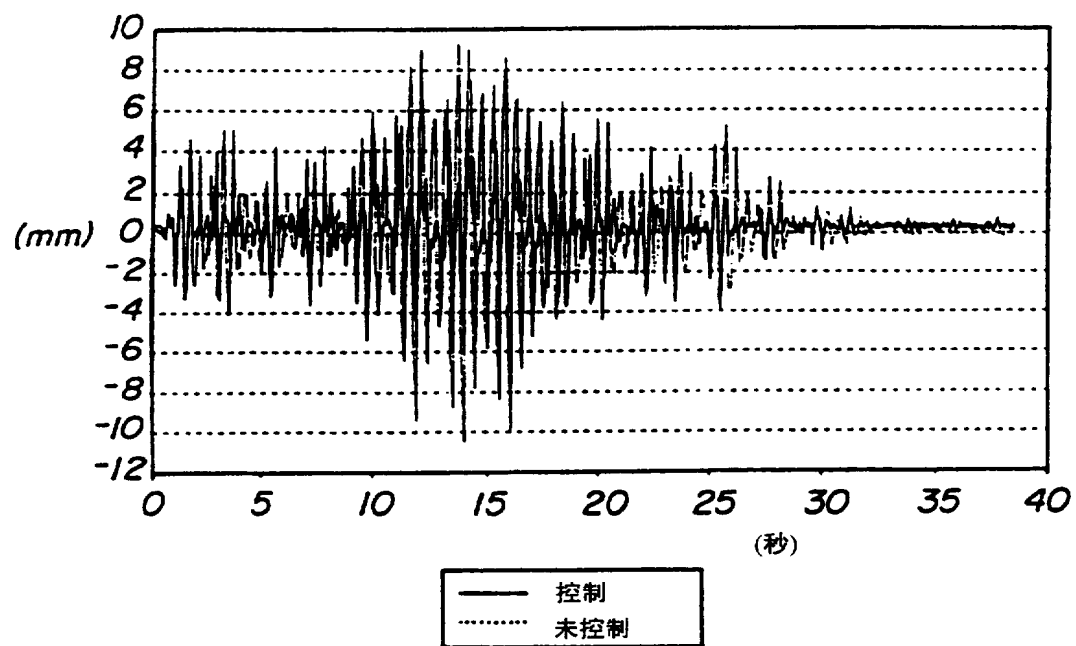


图 16

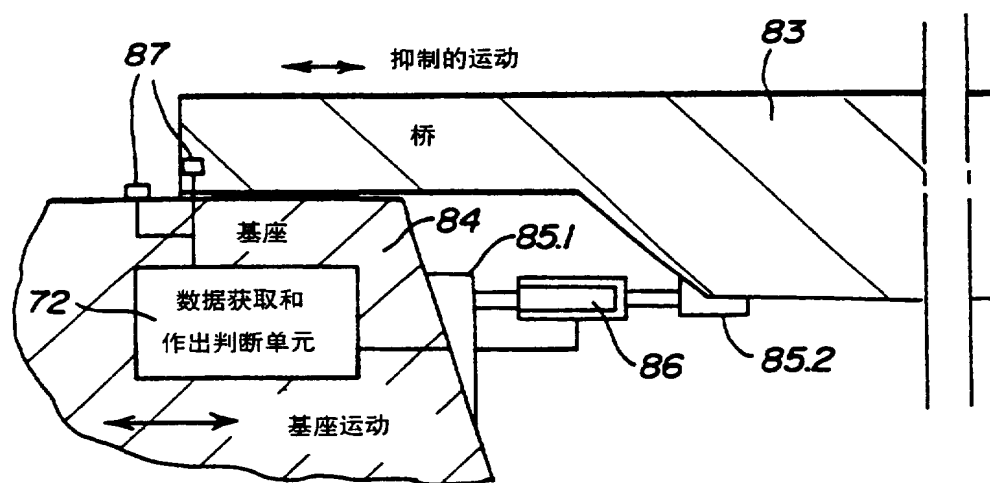


图 17

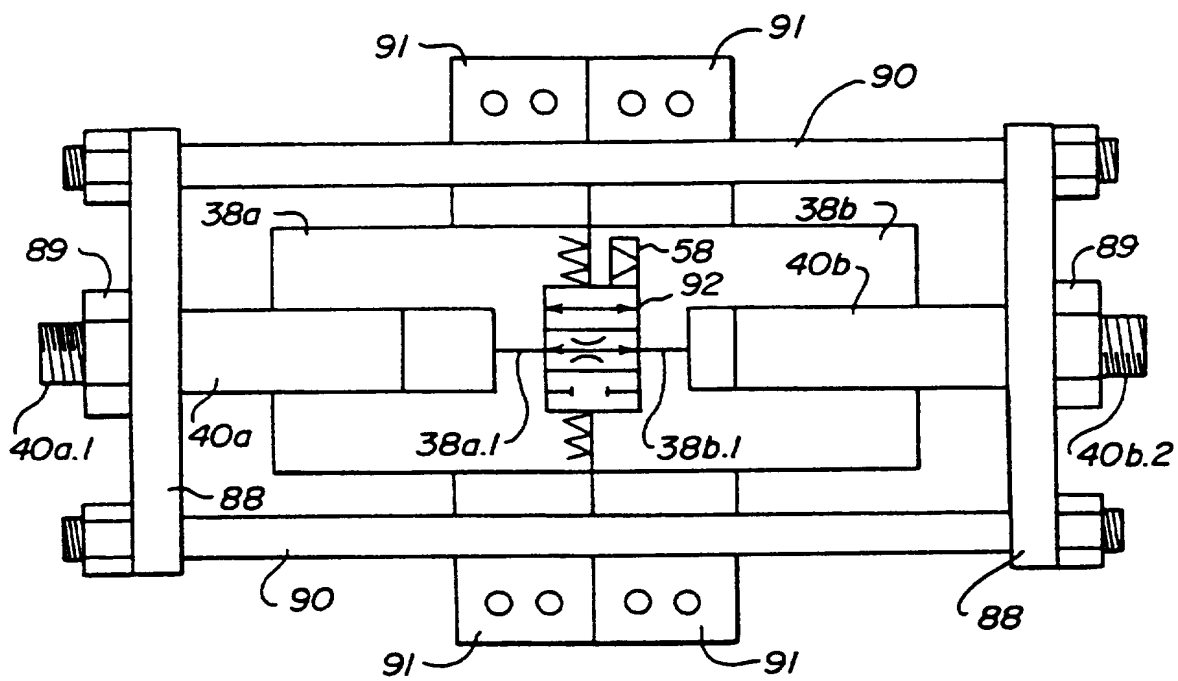


图 18

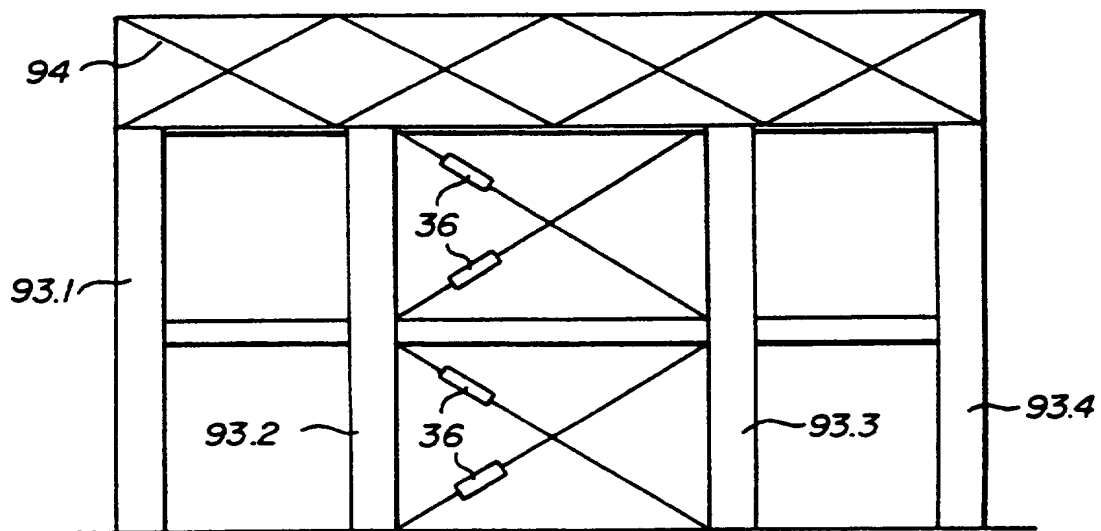


图 19

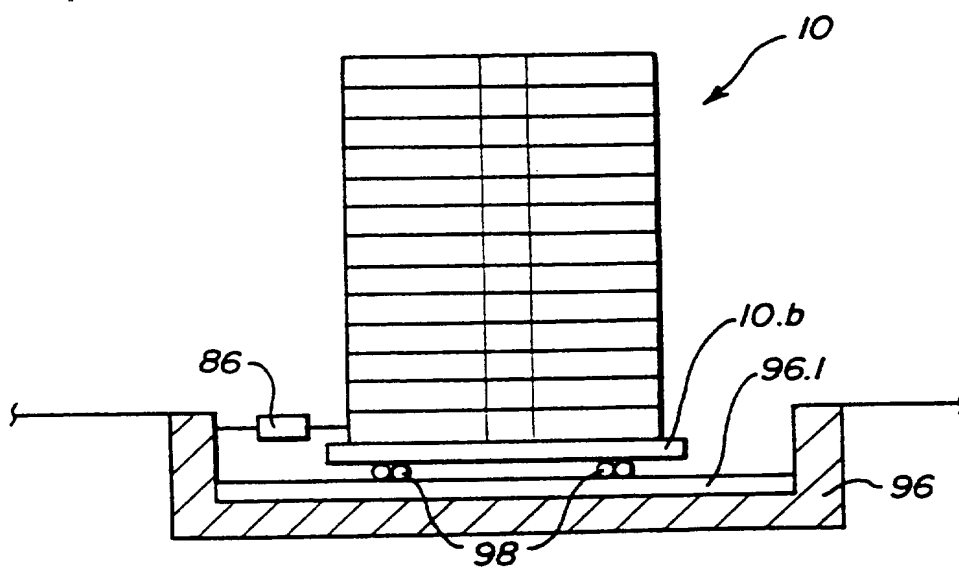


图 20

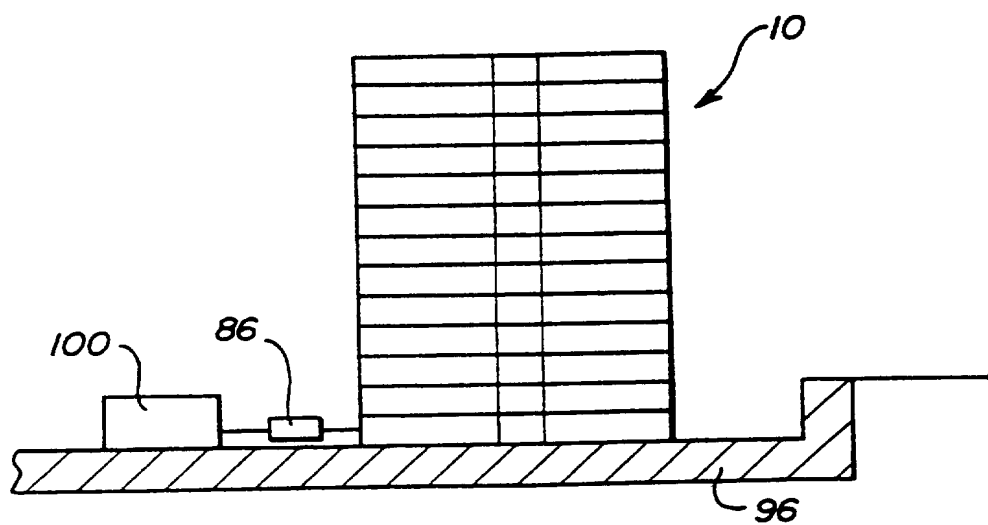


图 21

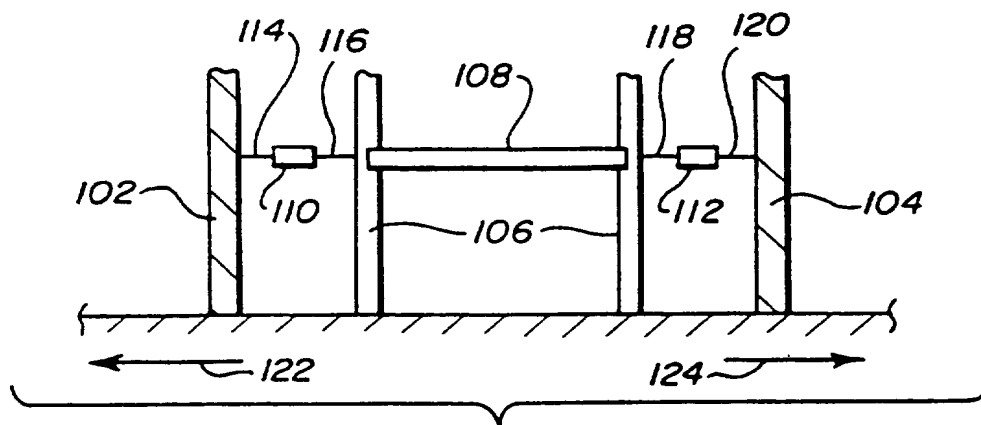


图 22

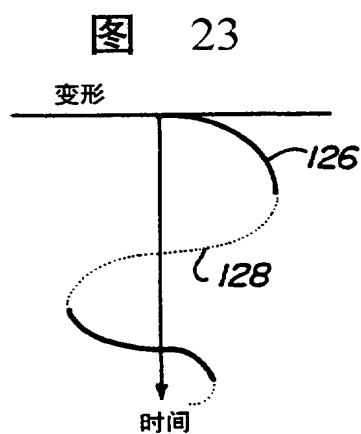


图 23

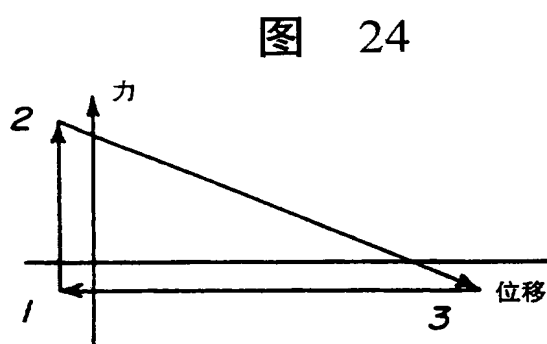


图 24

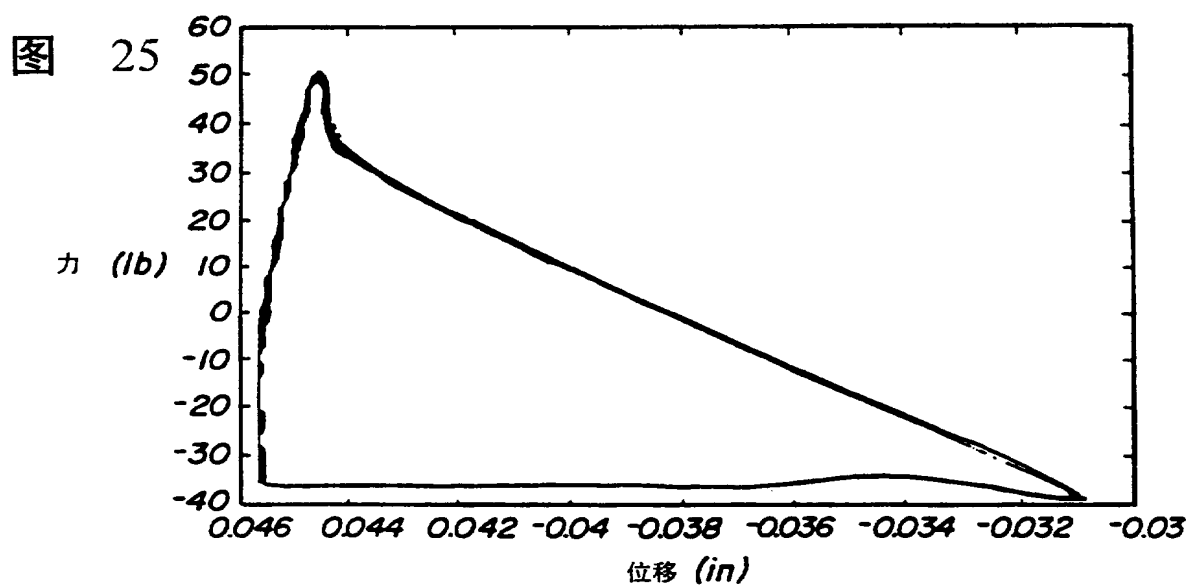


图 25

