

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

F16F 7/108

F16F 1/387

F16F 15/00 F16F 15/08

[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 95192605.5

[45] 授权公告日 2001 年 6 月 6 日

[11] 授权公告号 CN 1066808C

[22] 申请日 1995.4.14 [24] 颁证日 2001.2.17

[21] 申请号 95192605.5

[30] 优先权

[32] 1994.4.18 [33] US [31] 08/228,645

[32] 1995.3.9 [33] US [31] 08/401,973

[86] 国际申请 PCT/US95/04585 1995.4.14

[87] 国际公布 WO95/28577 英 1995.10.26

[85] 进入国家阶段日期 1996.10.16

[73] 专利权人 美国 3M 公司

地址 美国明尼苏达州

[72] 发明人 赖明来

[56] 参考文献

EP0509911 1992.10.21 F16F15/03

US4558852 1985.12.17 F16F15/08

审查员 22 52

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所

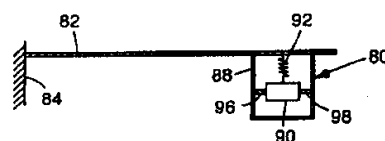
代理人 张恒康

权利要求书 2 页 说明书 13 页 附图页数 6 页

[54] 发明名称 谐振质量减振器

[57] 摘要

一用于减振在主结构(82)中的动态响应的装置(80),它包括一辅助质量(90)和一根弹簧(92)和一粘弹性构件(96,98)该弹簧(92)和粘弹性构件(96,98)插入主结构(82)和辅助质量(90)之间。该装置(80)可包括一用于辅助质量(90)、弹簧(92)和粘弹性构件(96,98)的壳体(88),可将弹簧(92),粘弹性构件(96,98)或弹簧(92)和粘弹性构件(96,98)一同插入辅助质量(90)和壳体(88)之间。同时公开了一种在主结构(82)中减振动态响应的 方法。



ISSN 1008-4274

权 利 要 求 书

1. 一用于控制在主结构中的动态响应的减振装置，主结构有一自然振动频率，所述的减振装置包括：

一辅助质量；

至少一根响应于主结构与辅助结构间的相对运动而变形的弹簧；和

至少一个响应于主结构与辅助结构间的相对运动而变形的粘弹性构件；

其特征在于所述的至少一根弹簧和所述的至少一个粘弹性构件调节到一个频率，使所述的减振装置具有与所述的主结构的所述自然振动频率相接近的一个振动频率；和

从而当在主结构中开始动态响应时，减振该动态响应。

2. 根据权利要求 1 所述的装置，其特征在于，至少一根弹簧包括多根弹簧。

3. 根据权利要求 1 所述的装置，其特征在于，粘弹性构件包括至少一个粘弹性材料的构件。

4. 根据权利要求 12 所述的装置，其特征在于，辅助质量的质量相对于主结构的有效质量的质量比(μ)是 0.001 到 0.500。

5. 根据权利要求 3 所述的装置，其特征在于粘弹性构件另外包括至少一刚性构件。

6. 根据权利要求 1 所述的装置，其特征在于，粘弹性构件包括多个粘弹性材料构件和多个刚性构件，刚性构件包括至少一中心刚性构件和多个侧面刚性构件，粘弹性材料构件中间有中心刚性构件和多个侧向刚性构件，粘弹性构件插在连接装置和辅助质量间。

7. 根据权利要求 1 所述的装置，其特征在于，至少一个粘弹性构件包括多个粘弹性构件。

8. 根据权利要求 1 所述的装置，其特征在于，它还包括一用于连接于主结构的装置，其中辅助质量设置在该用于连接的装置内，弹簧和粘弹性构件插设在该用于连接的装置与辅助质量之间。

9. 根据权利要求 1 所述的减振装置，其特征在于，它还包括：

一支持辅助质量的支持装置，该支持装置能连接辅助质量和主结构，并使辅助质量能相对于主结构两维运动。

10. 根据权利要求 9 所述的装置，其特征在于，支持装置包括滚动轴承。

11. 根据权利要求 8 所述的减振装置，其特征在于，在用于连接的装置与辅助质量之间设置多根弹簧，在用于连接的装置与辅助质量之间设置多个粘弹性构

件，弹簧和粘弹性构件使辅助质量的运动限于两维。

12. 根据权利要求 1 所述的减振装置，其特征在于，弹簧和粘弹性构件插设在辅助质量与主结构之间。

谐振质量减振器

发明领域

本发明涉及当结构经受暂态力作用于结构上引起振动运动时，可用于减振结构中的动态响应的装置。

背景技术

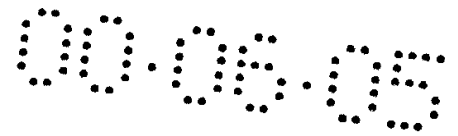
作用在结构上的暂态力会引起结构的动态响应，它包括能松动结构的振动，使居住者承受与这种振动运动相连的不安和危险，也对于设置在结构内的设备产生不良的影响。因此，已经探寻了许多减振这些动态响应的方法。

例如，日本专利申请 62-328916 和 61-12569 描述了有弹簧和从主块悬挂一辅助质量或重物的减振器的减振系统。日本专利申请 62-328916 描述了一通过弹簧和两个减振器与地板相连的重物，以减振地板的振动。日本专利申请 61-12569 描述了一谐振减振系统，系统中重物的质量和弹簧构件的弹簧常数是这样挑选的它使系统的频率与将要减振的地板或天花板构件的自然频率相谐振。这样的谐振加强了系统的减振能力。

Kim 和 Yeo, 在 Journal of Vibration, Acoustics, Stress, and Reliability in Design, Vol. 108 (1986 年 7 月) pp. 378-381, 的“粘弹性材料在动态减振器中的应用”公开了一些使用弹簧或同摩擦器或流体减振器一起使用的减振弹簧，以在一主块上悬挂一减振块的某些减振系统。他们的论文描述了一种与减振块一起使用的处于预应变状态下的粘弹性材料系统以代替弹簧的减振器减振系统。

Halverson 和 Hansen 在 Rubbercon' 88 中的“用于振动和噪声控制的谐振减振器中的橡胶材料”描述了一种在一质量构件和一基础结构中使用橡胶材料作为弹簧和减振构件的谐振减振系统。

粘弹性材料也使用于结构的减振应用之中。例如，Caldwell 等人，Mahmoodi, 的美国专利 No. 3, 605, 953, 在 Journal of the Structural Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 1661 (1969 年 8 月) 上的“结构减振器”，和 Keel 和 Mahmoodi, 在 Buding Motion in Wind 中的“用于哥伦比亚中心结构的粘弹性减振器的设计”，在 1986 年 4 月 8 日于华盛顿州的西雅图由航天和航空部的空气动力学委员会，美国土木工程师协会的建筑部的风效委员会和 ASCE 共同主办的会议的科研报告集中描述了在板间有粘弹性材料的几层金属板的



减振器。减振器的粘弹性材料将结构的部分振动能转换成热能，热能随之消散到周围环境中。

文献 EP-A-0509911 涉及一种用于旋转装置的减振系统。这个减振系统包括一在两粘弹性轴承之间的反馈环回路，这样，所述的磁性轴承应用于转子力，以消除转子的振动。文献 JP-A-63053331 涉及一种用于减小振动体的振动的振动控制装置。这个装置包括一用于检测振动体的振动速度的加速度检测仪，一通过弹簧安装在振动体上的可动质量，一调节器和轴承，一测量振动体的振动速度和控制调节器以便产生与之成正比的反控制力的控制装置，和一对安装在可动质量和振动体上以便使两者的磁力相互影响的磁铁。

本发明的技术方案

本发明提供一包括通过弹簧和粘弹性材料悬挂在一结构上的一质量减振系统。减振系统的质量，弹簧和粘弹性材料构件间互相作用以便作用力作用在结构上并在其中产生一动态响应时，系统减振与动态响应有关的振动。

本发明的技术方案是这样的，一用于控制在主结构中的动态响应的减振装置，主结构有一自然振动频率，所述的减振装置包括：一辅助质量；至少一根响应于主结构与辅助结构间的相对运动而变形的弹簧；和至少一个响应于主结构与辅助结构间的相对运动而变形的粘弹性构件；其中所述的至少一根弹簧和所述的至少一个粘弹性构件调节到一个频率，使所述的减振装置具有与所述的主结构的所述自然振动频率相接近的一个振动频率；从而当在主结构中开始动态响应时，减振该动态响应。

附图简介

将参考附图说明本发明，其中相同的标号代表相应的或类似的构件，和：

图 1 所示为安装在呈第一振型的一简支梁上的本发明装置的侧视图；

图 2 所示为安装在呈第二振型的一简支梁上的本发明装置的侧视图；

图 3 所示为安装在呈第一振型的一悬臂梁上的本发明装置的侧视图；

图 4 所示为安装在呈第二振型的一悬臂梁上的本发明装置的侧视图；

图 5 所示为安装在呈第一振型的两固定端梁上的本发明装置的侧视图；

图 6 所示为本发明的一第一装置的横剖面图；

图 7 所示为本发明的一第二装置的横剖面图；

图 8 所示为本发明的一第三装置的横剖面图；

图 9 所示为本发明的一第四装置的横剖面图；

图 10 所示为本发明的一第五装置的横剖面图；

图 11 所示为本发明的一第六装置的局部横剖面图；

图 12 所示为本发明的一第七装置的横剖面图；

图 13 所示为本发明的一第八装置的顶部横剖面图；

图 14 所示为本发明的一第九装置的剖开的立体图；

图 15 所示为本发明的一第十装置的立体图；

图 16 所示为本发明的一第十一装置的局部横剖面图；

图 17 所示为一使用与图 15 的装置类似的装置对结构减振的数学模型结构的幅度—频率特性曲线；

图 18 所示为本发明的一第十二装置的剖开的立体图；

附图的详细说明

翻到图 1 和图 2，本发明的减振装置 20 沿一简支梁 22 设置。梁 22 在它的两端由支架 24 和 26 支持。在图 1 中，虚线 28 代表梁 22 的第一种振型。在图 2 中虚线 30 代表梁 22 的第二振型。

在图 1 中振动包括在梁 22 端部上的节点 32、33。在图 2 中振动包括在梁 22 的端部和中点上的节点 34、35、36。为优化减振，装置 20 应尽可能靠近波腹点 37、38、39 安装。

图 3 和图 4 所示的本发明的减振装置 40 安装在一固定于一单支承 44 的悬臂梁 42 上。两个典型的振型如虚线 46、48 所示。图 3 显示的振动在梁 42 与支承 44 连接处有一节点 50。图 4 显示的振动包括在梁 42 上的两个节点 52、54。为了最大的减振，本发明的装置 40 应尽可能靠近波腹点 55、56 安装。假如装置 40 直接安装在节点 50、52、54 处，装置 40 的减振功能将最小。

在图 5 中本发明的减振装置 60 安装在两固定端的梁 62 上。这梁 62 的两固定端由支持结构 64、65 握持。振型由虚线 68 表示，且包括在梁 62 上的节点 70、72。减振装置 60 应尽可能靠近波腹点 74 安装，以达到最大的减振效果。

在图 6 中于悬臂梁 82 上显示了本发明装置 80 的一详细的横截面。梁 82 安装于支持结构 84，例如墙或类似物。装置包括一安装在梁 82 上的壳体 88，它围住一辅助质量质量或减振质量 90，一连接弹簧 92，和一侧向安装的粘弹性构件 96、98 它们是用这个装置 80 的粘弹性材料构件。

壳体 88 一般由金属、塑料、或其他适合的材料构成，通过普通的固定技术技术如焊接、机械固定固定、粘合连接或类似的技术技术将它连接在梁 82 上。壳体 88 可以有一开口的底部，不过一完全封闭的外壳体是较好的，它防止外来物质进入壳体 88 对减振装置操作的性能产生不利影响。

辅助质量质量 90 与弹簧 92 和粘弹性构件 96、98 一起，通过将梁 82 中的振

动能转换成热能而减振。辅助质量通常是一块金属，但是也可使用充满流体的容器或一块高密度材料例如混凝土。低密度的材料如铝、木材或合成材料可被用于需较小辅助质量质量的场合。

弹簧 92 通过普通的连接技术如焊接、机械固定、粘合连接或类似的技术可与梁 82 和辅助质量 90 相连接。虽然图示为一根弹簧，但也可使用安装在辅助质量 90 的侧面、底面或顶面和壳体 88 的底面或侧壁间的附加弹簧。其他类型的能提供足够回复力的弹簧如板弹簧或片簧也能被使用。

粘弹性构件 96、98 连接在辅助质量 90 的侧面和壳体 88 的侧壁上。形成这些构件的粘弹性材料将把与动态响应例如在梁 82 里的振动和摆动有关的机械能转换成热能。图 6(以及在图 7 至 10 中)显示的粘弹性构件的横截面是长方形的。横截面为圆的或平行四边形的粘弹性构件也能使用，适当调节剪切横截面积和厚度来提供理想的减振特性。最好是通过保持与剪切力相平行的粘弹性材料的尺寸与粘弹性材料的厚度的比例大于或等于 5，使得剪切力在粘弹性材料是主要的。

最好的粘弹性材料是 Scotchdamp™ SJ2015X 丙烯酸粘弹性聚合物，从明尼苏达州圣保罗的 3M 可得到的型号为 110、112 和 113，和 3M 工业记录纸和特品部门的建议购买的说明书中描述的 Scotchdamp(粘弹性聚合物，NO. 70-072-0225-7(89.3)R1。其他适合的粘弹性材料包括但不限于宾夕法尼亚州伊利的 Lord 公司的 Lord LD-400，和纽约州 Deer Park 的 Soundcoat 公司的 Soundcoat DYAD 606、Soundcoat DYAD 609 和 Soundcoat N。

粘弹性材料是对温度敏感的材料。特别是 Chang 等人在 Earthquake Spectra 的 Vol. 9, No. 3(1993) pp. 371-387 中的“为地震应用的作为能量耗散装置的粘弹性减振器”指出环境温度的提高软化粘弹性材料和降低了材料的减振效率。另外关于 Scotchdamp(SJ2015X, 型号 110、112 和 113 温度敏感的信息在上面提到的建议购买说明书中有所说明。因此，当构造本发明的装置时必须考虑粘弹性材料里的温度变化。

粘弹性构件 96、98 最好通过普通的固定技术如机械固定固定、粘合连接或类似的技术固定在壳体 88 和辅助质量 90 上，两粘弹性构件 96、98 最好在辅助质量 90 的每一侧面上各一个，将辅助质量 90 与壳体 88 相连，但附加的粘弹性构件也可在壳体 88 和辅助质量 90 间使用。

图 7 中，图解说明了在一简支梁 112 上的本发明的装置 110，梁安装在支持结构 114、116 上。装置 110 包括一安装在梁 112 上的壳体 118，它围住一辅助质量 120。这辅助质量 120 通过弹簧 122、124 以及侧向借助粘弹性构件 126、128 垂直地悬挂在梁 112 上。。用于这个装置 110 的粘弹性构件 126、128 是粘弹性材料构件。一杆 130 从辅助质量 120 中延伸出来并且通过普通的固定技术如焊

接、机械固定、粘合连接或类似的技术将壳体 8 的底面和梁 112 的底面连接起来，以约束辅助质量 120 的垂直运动。另外杆 130 可仅连接梁 112 的底面或壳体 118 的底面。可使用附加的弹簧或粘弹性构件将辅助质量 120 悬挂在梁 112 上。

图 8 中图解说明了在一简支梁 142 上的本发明的装置 140。梁 142 安装在支持结构 144、146 上。装置 140 包括一安装在梁 142 上的壳体 148，它围住一通过板弹簧 152、154，及具有粘弹性材料构件构件的粘弹性构件 156、158 悬挂在壳体 148 内的辅助质量 150。板弹簧 152、154 和粘弹性构件 156、158 是在辅助质量 150 的相对侧面上的。一弹簧和一粘弹性构件在辅助质量的每一侧面上是较佳的，附加的弹簧或粘弹性构件也可使用。

在图 9 中，图解说明了以一种结构适合于减振的一简支梁 162 的本发明的装置 160。在这样的系统中一梁 162 通过支持件 164、166 连接于它的尾端部。装置 160 有通过一弹簧 172 和一粘弹性构件 176 悬挂在梁 162 上的一辅助质量 170。如上面所述弹簧 172 可固定于主结构和辅助质量 170。虽然所示为一根弹簧和一个粘弹性构件，但附加的弹簧或粘弹性构件也可使用。

粘弹性构件 176 代表一交替的层状结构设计，它包括粘弹性材料构件构件 178、180 和刚性构件 182、184、186。这层状结构设计增加了粘弹性材料的剪切面积但并不显著增加粘弹性构件 176 的尺寸。

粘弹性构件 176 的刚性构件 182、184、186 是由金属或塑料制成的，但其他材料包括木材或合成材料也均可使用。刚性构件 182、184、186 必须有足够的刚度使粘弹性材料吸收与动态响应相联系的机械能，并将它转换成热能的能力达到最大。虽然其他合适的构件也能使用，但刚性构件最好是臂状的构件。可以设想在粘弹性构件 176，梁 162 和辅助质量 170 间的连接可转换成这样，侧向刚性构件 184、186 连接到辅助质量 170 上，中间的刚性构件 182 连接到梁 162 上。

其他结构(包括一个或多个部分的粘弹性材料)的粘弹性材料构件构件也可被使用。粘弹性构件和刚性构件另外的结构也可使用，只要刚性构件连接在梁上和辅助质量上，在另一种方式中，构件通过一中间粘弹性构件将它们相互分开。图 10 图解说明了安装在两端固定的垂直梁 192 上的本发明的装置 190 该梁安装在支持结构 194、196 上。装置 190 包括一安装在梁 192 上围住一辅助质量 200 的壳体 198。这辅助质量 200 是被支持在能使辅助质量 200 作水平运动的滚子或其他构造上的。辅助质量 200 通过弹簧 202 和一粘弹性构件 206 连接在梁 192 上。粘弹性构件 206 有粘弹性材料构件构件 208、210，它们通过一中心刚性构件 212 和分别连接在梁 192 和辅助质量 200 上的侧向刚性构件 214、216 分隔开。在这个装置 190 中所使用粘弹性构件 206 类似于在上面图 9 中所描述的粘弹性构件。虽然所示为一根弹簧和一个粘弹性构件，但附加的弹簧或粘弹性构件也可使用。

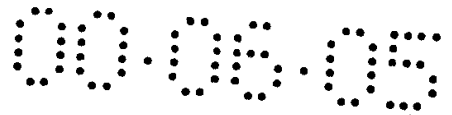


图 11 所示为一安装在梁 222 上的减振装置 220。装置 220 包括一通过一弹簧 232 和一粘弹性构件 236 连接在梁 222 上的辅助块 230。

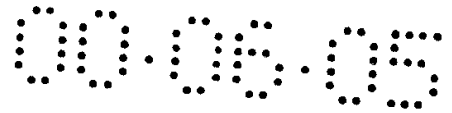
粘弹性构件 236 包括一圆柱形粘弹性材料构件 238，一端与梁 222 相连的内圆柱形的一刚性构件 240，一端与辅助质量 230 相连的一外圆柱形刚性构件 244。圆柱形粘弹性材料构件 238 与内圆柱形刚性构件 240 和外圆柱形构件 244 粘接。圆柱形刚性构件 240、244 最好用上述方法连接在梁 222 和辅助质量 230 上。另外，通过上述的固定技术，内圆柱形刚性构件 240 能连接在辅助质量 230 上，外圆柱形刚性构件 244 能被连接在 222 梁上。虽然所示为一根弹簧和一个粘弹性构件，但附加的弹簧或粘弹性构件也可使用。

现在翻到图 12，图解说明了在简支梁 252 上的本发明的装置 250，该梁的两端安装在支持件 254、256 上。装置 250 有一通过一弹簧 262 和一粘弹性构件 266 悬挂在梁 252 上的辅助质量 260。虽然所示为一根弹簧和一个粘弹性构件，但附加的弹簧或粘弹性构件也可使用。

用于本系统的粘弹性构件 266 包括一粘弹性材料构件 268，它最好是粘接在板 270、272 之间。板 270、272 通过焊接、机械固定粘合连接或类似技术与杆 274、276 相连。杆 274、276 分别与梁 252 和辅助质量 260 相连。板 270、272 与杆 274、276 一起构成了粘弹性构件的刚性构件。粘弹性材料构件 268 在板 270、272 间的这种三明治似的结构使粘弹性构件 268 处于与剪切状态相反的压缩或拉紧状态，剪切状态是如图 6-11 所示的粘弹性构件的普通状态。

图 13 详述了本发明的一两维减振装置 300。装置 300 减振沿箭头 302、303 方向的平面的振动。装置 300 包括一安装在主结构(图中未示)上的壳体 306。壳体 306 围住一辅助质量 308，它是通过弹簧 310 和粘弹性构件 312 连接在壳体 306 上的。弹簧 310 与上面图 6-12 所示的弹簧相似。弹簧 310 的弹簧常数可通过选择弹簧或将弹簧调至希望的特定频率来调节。粘弹性构件 312 的侧向刚性构件 314、316 构成一 U-型构件 317 它由轴销 324 连接于壳体 306，粘弹性材料构件 318、320 由中心刚性构件 322 分隔，它由轴销 325 连接在辅助质量 308 上。虽然一个轴销是较好的，但多轴销也是可用的。另外，U-型构件 317 可通过轴销连接在辅助质量 308 上并且中心刚性构件 322 可通过至少一个轴销连接在壳体 306 上。在这个装置 300 中使用的粘弹性构件与上述图 9 所示的相似。另外，弹簧 310 可通过类似于那些上述的用于粘弹性构件 312 的轴销连接在壳体 306 和/或辅助质量 308 上。

图 14 所示为本发明的另一两维减振装置 330。装置 330 减振沿箭头 332、333 方向的平面的振动，它包括一安装在主结构(图中未示)上的壳体 334。壳体 334 围住一通过弹簧 338 连接在壳体 334 上的辅助质量 336。一粘弹性构件 340 通过



上述的连接方法连接在辅助质量 336(和主结构)上。

图 15 详述了本发明的一二维减振装置 350。装置 350 减振沿箭头 352、353 方向的平面的振动。装置 350 包括一最好是平板形的辅助质量 356。滚珠轴承 358 与辅助质量 356 的下表面 360 接触。滚珠轴承 358 的运动一般受在主结构和辅助质量 356 中的槽或导轨的限制。辅助质量 356 的平面运动能通过配置两个滚珠轴承导轨实现, 每个导轨仅允许朝一个方向运动, 且与另一个成直角。

一弹簧 362 和粘弹性构件 364 安装在辅助质量 356 的下表面 360 上。虽然所示为一根弹簧 362 和一个粘弹性构件 364, 但附加的弹簧或粘弹性构件也可使用。

如图所示, 弹簧 362 是有弹性的合成橡胶材料, 如损耗因子小于 0.15 的橡胶。硬度在 50—70 的氯丁(二烯)橡胶是一种合适的材料。另外, 一杆可代替橡胶弹簧 362, 此杆在两维空间有不受限制的恢复力。此杆通过普通的固定技术如机械固定、粘合连接或类似的技术连接在辅助质量 356(和主结构)上。粘弹性构件 364 通过上述的连接方法连接在辅助质量(和主结构)上。

图 16 所示为一用于电缆 382 的两维减振装置 380。另外, 一棒或杆或类似物可用来代替电缆 382。该装置包括用销钉 386、387 连接在电缆 382 上的 T—型环状构件 384、385。这种连接也可通过焊接、夹子或其他普通的固定技术完成。一辅助质量 388 通过弹簧 390、391 和粘弹性构件 392、393 插入 T—型环状构件 384、385 之间而连接在它们上。当所示为两套弹簧 390、391 和粘弹性构件 392、393 时, 如果要求的话, 附加的弹簧和粘弹性构件可被插入辅助质量 388 的任一侧。

T—型环状构件 384、385 可以是单件或多件结构, 以便最初放置在电缆 382 上或当改型时放置在电缆 382 上。辅助质量 388 最好是 H—型环状构件。同 T—型环状构件 384、385 相似, 辅助质量 388 的 H—开型环状构件也可以是单件或多件结构, 以便最初放置在电缆 382 上或当改型时放置在电缆 382 上。

弹簧 390、391 是有弹性的合成橡胶材料制成的, 如损耗因子小于 0.15 的橡胶。硬度在 50—70 的氯丁(二烯)橡胶是一种合适的材料。弹簧 390、391 通过普通的固定技术如机械固定、粘合连接或类似的技术连接在 T—型环状构件 384、385 和辅助质量 388 上。粘弹性构件 392、393 通过上述的连接方法连接在 T—型环状构件 384、385 和辅助质量 388 上。

图 17 是一使用如图 15 中所示和说明的减振装置的一减振装置的数学模型结构特性曲线。线 401 和 402 分别图示说明在 X 和 Y 方向未减振的特性曲线, 而线 403、404 分别图示说明在 X 和 Y 方向减振的特性曲线。

图 18 详述了本发明的一三维减振装置 420。装置 420 减振沿箭头 422、423、424 方向的振动。装置 420 包括一安装在主结构(图中未示)上的壳体 426。壳体 426 围住一通过弹簧 430 和粘弹性构件 432 连接在壳体 426 上的辅助质量 428。提供

沿着对应于箭头 423 的轴线方向的减振的弹簧和粘弹性构件在图中未示，这是因为此图是立方体的，但应理解为是包括在这减振装置 420 中的。弹簧 430 与上述图 6—图 12 中所述的弹簧相似。粘弹性构件 432 具有形成 U—型构件 437 的侧向刚性构件 434、436 构件，U—型构件由轴销 444 连接到壳体 426 上，粘弹性材料构件 438、440 由中心刚性构件 442 分隔，它由轴销 445 连接在辅助质量 428 上。虽然一个轴销是较好的，但多轴销也是可用的。另外，U—型构件 437 可通过轴销连接在辅助质量 428 上，并且中心刚性构件 442 可通过至少一个轴销连接在壳体 426 上。在这个装置 420 中使用的粘弹性构件与上述图 9 所示的相似。

上述所有的本发明的图解说明都是谐振系统。在谐振系统里以接近主质量的自然频率的振动来设计辅助质量和弹簧的弹簧常数和粘弹性构件。在一系列与谐振有关的方程式的基础上可以确定用于构造依据本发明的装置的粘弹性材料的尺寸。

根据一求最佳谐振频率(ω_{opt})和最佳减振比(ζ_{opt})的方程式可实现谐振，以使主结构的响应最小。最佳谐振频率(ω_{opt})和最佳减振比(ζ_{opt})均取决于由辅助质量(m_2)的质量除以主结构的有效的或换算质量(m_1)而得出的质量比(μ)，或：

$$\mu = m_2 / m_1 \quad (1)$$

换算质量(m_1)由主结构实际的质量(M)乘以换算系数(Z)，如果有用于特定用途的壳体再加上壳体的质量(M_h)而得出，或：

$$m_1 = ZM + M_h \quad (2)$$

根据 McGraw-Hill Book 公司(1976)出版的 Harris 和 Crede 编写的, Shock and Vibration Handbook, 某些典型的换算系数(Z)是：用于两端固定的梁是 0.375，对于简支梁是 0.5，对于一端有负载的悬臂梁是 0.23，当弹簧是被减振的主结构时，对于弹簧的是 0.333。质量比(μ)的范围从 0.001 到 1.000，但一般的范围是从 0.005 到 0.500。

最佳谐振频率(ω_{opt})和减振比(ζ_{opt})能通过已知的外部对结构的激振而得出。它们与减振器性能的关系如下：

$$\omega_{opt}^2 = \frac{K' + K_s}{m_2} \quad (3) \text{ 和}$$

$$\zeta_{opt} = \frac{\eta}{2} \frac{K'_v}{K_s + K'_v}$$

(4) 式中

k_v 是粘弹性材料的存储刚度(弹簧常数)；

k_s 是弹簧的刚度(弹簧常数)；

m_2 已在上面定义了；和

(是一温度和频率决定的参数以代表粘弹性材料的损耗因子, 它是由生产厂商提供的。

当一合成橡胶材料在本发明的谐振块减振器中被用作弹簧构件时, 它也能起到减振的作用。这种作用可用下列方程代替上述方程式(4)而校正:

$$\zeta_{opt} = \frac{\eta}{2} \frac{K'_v}{K_s + K'_v} \frac{\eta_s}{2} \frac{K_s}{K_s + K'_v} \quad (4a.1) \text{ 式中}$$

η_s 是弹性合成橡胶材料的损耗因子。

联立解上述的方程组(3)和(4)或(3')和(4a.1)可得到下列弹簧(k_s)的弹簧刚度(弹簧常数)和粘弹性材料(k'_v)的存储刚度(弹簧常数)的方程式, 如分别在方程组(5)和(6)或方程组(5a.1)和(6a.1)中说明的:

$$K_s = \left(1 - \frac{2\eta_{opt}}{\eta}\right) \omega_{opt}^2 m_2 \quad (5)$$

$$K_s = \left(\frac{\eta - 2\eta_{opt}}{\eta - \eta_s}\right) \omega_{opt}^2 m_2 \quad (5a.1)$$

$$K'_v = \frac{2\eta_{opt}}{\eta} \omega_{opt}^2 m_2 \quad (6)$$

$$K'_v = \frac{(2\eta_{opt} - \eta_s)}{(\eta - \eta_s)} \omega_{opt}^2 m_2 \quad (6a.1)$$

当在主结构中没有夹紧并且最佳谐振频率(ω_{opt})能如 Den Hartog, Mechanical Vibrations, McGraw Hill, New York, (4th ed. 1956) 所示确定时, 会产生一特殊的子集。

$$\omega_{opt} = \omega_1 \frac{1}{1 + \mu} \quad (7)$$

式中

ω_1 是主结构的自然频率。

在相同的条件下最佳减振率(ζ_{opt})可定义为:

$$\zeta_{opt} = \sqrt{\frac{3\mu}{8(1+\mu)^3}} \quad (8)$$

用这些表达式代入它们在上述方程组(5)和(6)中相应的值, 弹簧的弹簧常数(K_s)和粘弹性材料的弹簧常数(K'_v)的表达式变成:

$$K_s = \frac{\omega_1^2 m_1 \mu}{(1+\mu)^2} \left(1 - \frac{1}{\eta} \sqrt{\frac{3\mu}{2(1+\mu)^3}}\right) \quad (9)$$

$$K'_v = \frac{\omega_1^2 m_1 \mu}{\eta} \sqrt{\frac{3\mu}{2(1+\mu)^3}} \quad (10)$$

式中 ω_1 、 m_1 、 μ 和 η 已在上面定义过。

从上面方程(9)中得出(一根)弹簧或(几根)弹簧的刚度(弹簧常数)(K_s), 弹簧可从弹簧生产厂商处挑选。粘弹性材料的弹簧常数(K'_v)可被表示为粘弹性材料

的一个函数，例如，如下所述的在剪切状态的粘弹性材料的横截面积(A)和厚度(h)的函数：

$$K'_{\nu} = \frac{G' A}{h} \quad (11) \text{ 其中}$$

G' 是粘弹性材料的存储剪切模量。

粘弹性构件或橡胶弹簧构件(图 15 和 16)可以具有承受弯曲的一厚度。特别是当粘弹性材料或橡胶弹簧构件的厚度与长度之比小于时弯曲可被忽略不用考虑。但是，当厚度与长度之比大于时，弯曲必须被考虑，因为表面剪切模量(G_{app} ，见下文)可能与存储剪切模量(G')相差超过 5%。弯曲作用影响粘弹性材料的刚度分量。可通过实验确定弯曲分量的影响，或确定如下列方程所示的存储剪切模量(G')有关的表面剪切系数(G_{app})来校正弯曲分量的影响：

$$G_{app} = \frac{G'}{1 + \frac{h^2}{3L^2}} \quad (11a. 1) \text{ 式中}$$

G_{app} 是表面剪切模量；

G' 是粘弹性材料(如上所述)的存储剪切模量；

h 是粘弹性材料(如上所述)的厚度；

L 是粘弹性材料在受力方向的长度。

如果粘弹性材料是一圆柱体，方程式(11a. 1)将改写为如下的方程式以适应圆柱体：

$$G_{app} = \frac{G'}{1 + \frac{h^2}{9r^2}} \quad (11a. 2)$$

式中

r 是圆柱体的半径。

将上述的方程式(11)重新整理如下，来确定粘弹性材料在剪切状态的横截面积(A)：

$$A = \frac{K'_{\nu} h}{G'} \quad (12)$$

当弯曲校正是必要时，如上述方程式(11a. 1)和(11a. 2)所表示的那样， G_{app} 代替上述方程式(11)中的 G ，重新整理为：

$$A = \frac{K'_{\nu} h}{G_{app}} \quad (12a)$$

另外，如果粘弹性材料处于压缩或拉紧状态(图 12)，粘弹性材料的横截面积(A)是：

$$A = \frac{K'_{\nu} l}{EK_T} \quad (13)$$

式中

l 是粘弹性材料处于压缩或拉紧状态(图.12)的长度;

K_T 是 Nashof, A. D., Jones, D. I. G., 和 Hendersen, J. P., Vibration Damping, Wiley

Interscience Publications, John Wiley & Sons, New York, 1985, pp. 194-195 所描述的形状因子, 公式如下:

$$K_T = 1 + \beta \left(\frac{A}{A'} \right)^2$$

式中 β 是一无量纲的常数, 对于一未充填的粘弹性材料等于 2, 对于一充填的粘弹性材料等于 1.5;

A 是粘弹性材料的横截面积;

A' 是粘弹性材料的非承载面积; 和

E 是粘弹性材料处于压缩或压力状态的存储模量:

$$E = 3G' \quad (14)$$

与主结构相关的辅助质量(m_2)的最大的位移($Y_{\max}$)可被确定, 因为粘弹性材料的剪切应变(γ)已由生产厂商提供, 辅助质量的位移($Y_{\max}$)与剪切应变(γ)的关系如下:

$$\gamma = \frac{Y_{\max}}{h} \quad (15)$$

方程式(15)可重新整理来确定厚度(h):

$$h = \frac{Y_{\max}}{\gamma} \quad (16)$$

在压缩或拉紧状态下长度(l)可相似的得到。

当辅助质量(m_2)的最大位移($Y_{\max}$)不知时, 通过解分别描述相对有效主质量的辅助质量运动($Y(t)$)和有效主质量的运动的联立方程可求出辅助质量(m_2)的理论最大位移, 其中:

$$\ddot{X}(t) + 2\zeta_1\omega_1\dot{X}(t) + \omega_1^2X(t) = P_1(t) + 2\mu\zeta_2\omega_2\dot{Y}(t) + \mu\omega_2^2Y(t) \quad (17)$$

$$\ddot{Y}(t) + 2\zeta_2\omega_2\dot{Y}(t) + \omega_2^2Y(t) = -\ddot{X}(t) \quad (18) \text{ 式中}$$

$\ddot{X}$ 是主系统的加速度;

$\ddot{Y}$ 是辅助质量的相对加速度;

$\dot{X}$ 是主系统的速度;

$\dot{Y}$ 是辅助质量的相对速度;

ζ_1 是主系统的减振率;

$\zeta_2 = (\text{opt})$ 是辅助质量的阻尼比; 和

$P_1(t) = F_1(t)/m_1$ 和 $F_1(t)$ 是外部激振力。



必须使主质量和辅助质量之间相互的摩擦作用降至最小程度，特别是包含小的位移的应用场合。例如如果，使用有如图 15 所示的主结构的一减振器在主质量，轴承构件和辅助质量间相互作用的摩擦力必须最小以达到最佳的减振效果。如图 15 中的装置的摩擦分量的影响可用下列方程式代替上述方程式(18)来调整：

$$\ddot{Y}(t) + 2\zeta_2\omega_2\dot{Y}(t) + \omega_2^2 Y(t) = -\ddot{X}(t) - f_d \frac{\dot{Y}}{|Y|} \quad (18a.1) \text{ 式中}$$

f_d 是摩擦系数(由所使用的特殊轴承装置的制造厂商提供)；和

m_2 是辅助质量的质量(如以上定义)。可用如 L.Meirovitch, Elements of Vibration Amalysis, McGraw-Hill, Inc. (1986) pp. 447-497. 所述的转换矩阵方法同时求出方程式(17)和(18)的解。可用如 Runge-Kotta 公式的数值积分方法同时求出方程式(17)和(18)的解。使用马萨诸塞州 Natick, 的 TheMathWorks 公司的控制系统工具包软件 3.0b 版，并根据软件包中提供的用户指南的说明，用上面提到的方法求方程式(17)和(18)的有效解将变得容易了。通过使用马萨诸塞州 Natick, 的 TheMathWorks 公司的 Matlab4.2b 版函数 ODE23 或 ODE45，并根据软件包中提供的用户指南的说明使用上面提到的方法求方程式(17)和(18a.1)的有效解将变得容易了。在这两种情况下，通过这个软件包得到的解答输出值绘制出作为时间的函数的辅助质量的相对位移图，以提供指示减振装置的减振性能。辅助质量相对于主结构的最大位移可直接通过此图得到，并代入方程式(16)中计算粘弹性材料厚度和的尺寸。

虽然上述的方程式是为在主结构上的单个减振器而设计的，但它们也同样适用于应用多个减振器的系统。调整这些参数以适应那些系统对于有经验的技术人员是很清楚的。多维，多分量的减振应用要求每个减振器在给定的方向上的作用必须分别计算。沿一定方向相加各个减振分量可求得总的减振量。调整这些参数以适应这些系统对于有经验的技术人员是很清楚的。

示例

根据上述公开的用于一悬臂梁装置的内容构成一谐振块减振系统。悬臂梁由一 $30.50\text{cm} \times 12.70\text{cm} \times 0.16\text{cm}$ ($12\text{in.} \times 5\text{in.} \times 0.0625\text{in.}$) 的钢板构成并且用于减振系统的壳体连接在梁上。梁和壳体的质量相加为 546.2 克(梁的质量 476.7 克，壳体质量 69.5 克)使用如上所述的对于悬臂梁的换算系数 0.23 并利用上述方程式(2)转换成换算质量 179.1 克。经过选择的辅助质量为 77.2 克，这样从上述方程式(1)中得到的质量比(μ)为

$\mu = 0.43$ 从选用的悬臂梁材料，已知它的频率(ω_1)为 12 赫兹。减振器最佳的频率是 8.4 赫兹。另外丙烯酸粘弹性聚合物材料，Scotchdamp™(SJ2015X 型 112 有一数值为 2.46kg/cm^2 (35 磅/平方英寸)的存储剪切模量(G')和—在 24 摄氏度时

数值为 0.9 的损耗因子 (η)。

然后将这些数值代入上述方程式 (5)–(8) 以确定弹簧的弹簧刚度 (k_s) 和粘弹性材料的弹簧刚度 (k'_v) 来求得— 0.095kg/cm (0.53pound/inch) 的弹簧的弹簧常数 (k_s) 和— 0.11kg/cm (0.59pound/inch) 的粘弹性材料的弹簧常数 (k'_v)。

减振装置的设计要求需要在辅助质量 (m_2) 的相对侧面上有两块厚度 (h) 为 0.51cm (0.2inch) 的粘弹性带以连接壳体的侧壁。用上述的方程式 (12) 可计算出这两块粘弹性材料每块的横截面面积为 0.011cm² (0.0017in²)。基于这个计算和希望粘弹性材料的横截面是正方形的这两点, 计算出在纯剪切状态时粘弹性材料的正方形的每一边的最佳尺寸是 0.10cm (0.13inches)。上述装置的尺寸在粘弹性材料处于弯曲状态和剪切状态时降低了粘弹性材料的刚度。为补偿这刚度的损失, 粘弹性材料的横截面面积可增加到每边 0.18cm×0.23cm。

如以上所决定的一弹簧常数 (k_s) 为 0.095kg/cm 的弹簧同时连接于悬臂梁和辅助质量。粘弹性材料的尺寸为 0.18cm×0.23cm×0.51cm, 它粘附于辅助质量和壳体的侧壁。壳体进一步设计使辅助质量能藉助一通过壳体的壁插入辅助质量的销钉固定在壳体内。固定辅助质量的位置使得减振系统不能工作并且当移走销钉时, 可直观地显示减振系统的效果。泡沫体被附着于壳体的侧面以减小在辅助质量和壳体之间的侧面冲击。

用一销钉安装在适当位置, 梁向下位移 1.0cm 并且解除了梁的振动。在它们大体上下沉前大约 10 秒的时间振动逐渐减弱。

在相似的方式下, 移去销钉来释放辅助质量, 梁向下位移 1.0cm 并且解除了在一减振系统中初始振动。在这情况下, 在小于 0.5 秒之后, 下沉的振动显示了减振器的效率。

本发明的装置通过调整弹簧, 粘弹性材料的类型和数量以及辅助质量或减振块的重量可应用于小型结构中和大型结构中。同样的原理可应用于需要无垂直或无水平取向的减振装置。

当说明本发明的装置以便使本领域的技术人员能实现本发明的技术时, 前述的说明仅是举例并不用于限制本发明的范围。本发明的范围通过如下的权利要求来限定。

说明书附图

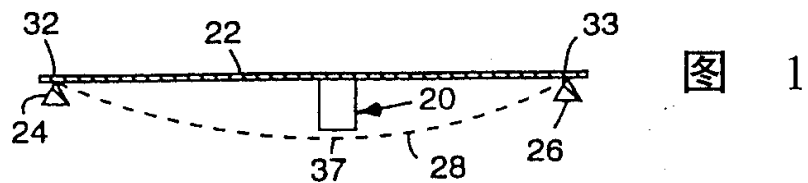


图 1

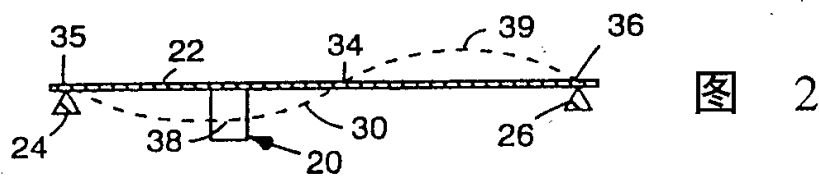


图 2

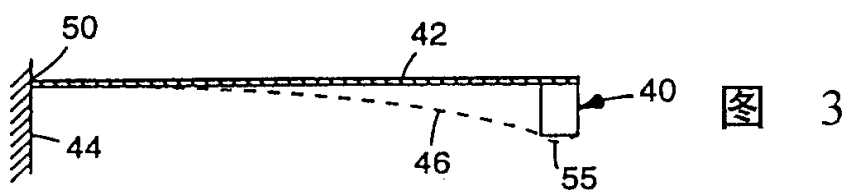


图 3

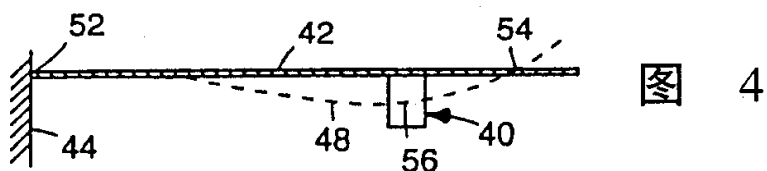


图 4

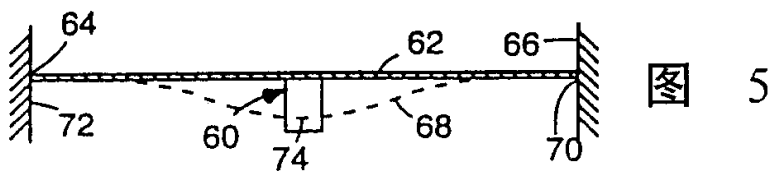


图 5

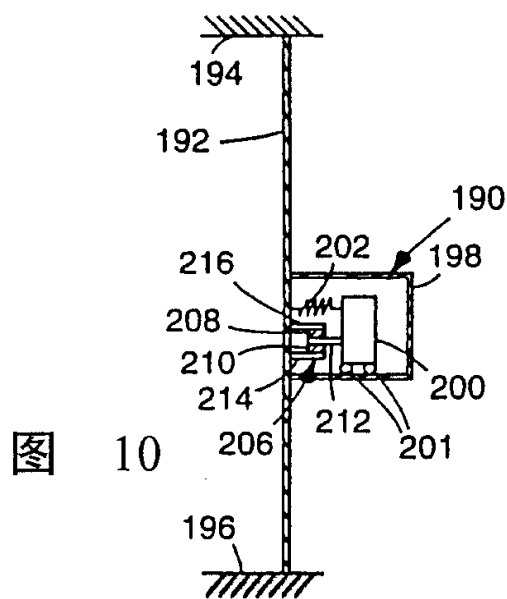


图 10

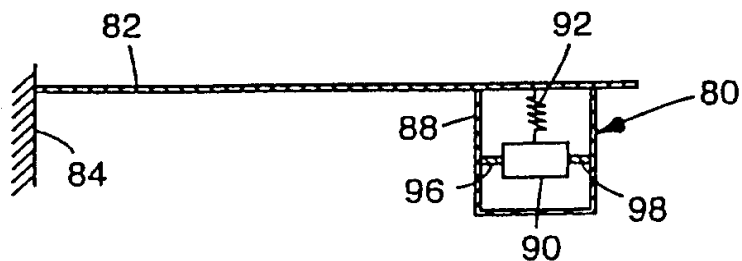


图 6

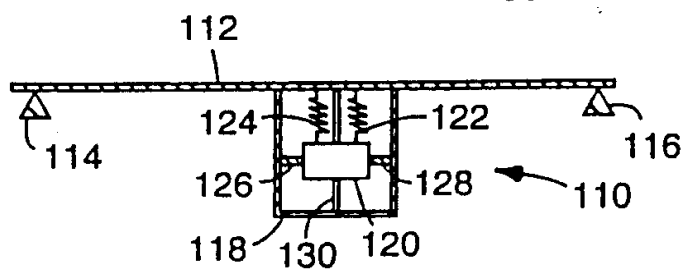


图 7

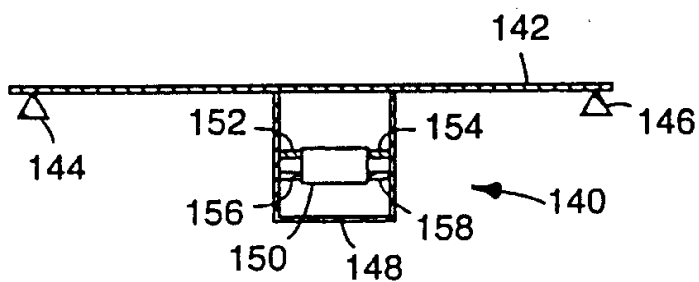


图 8

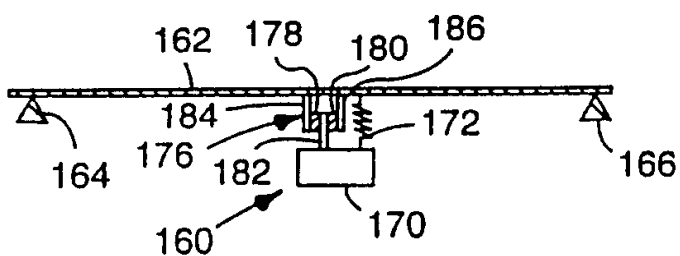


图 9

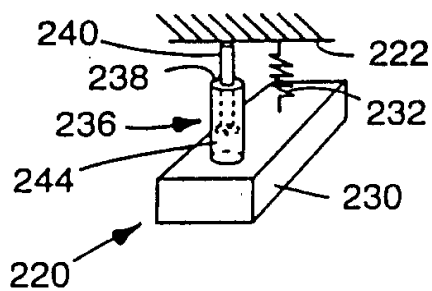


图 11

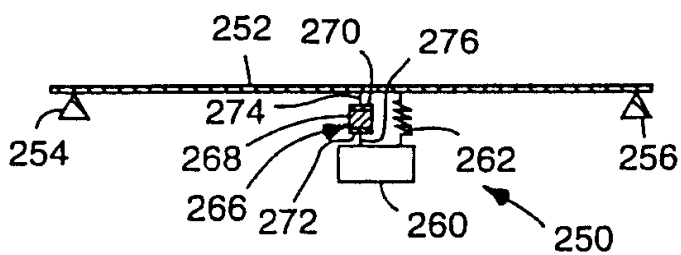


图 12

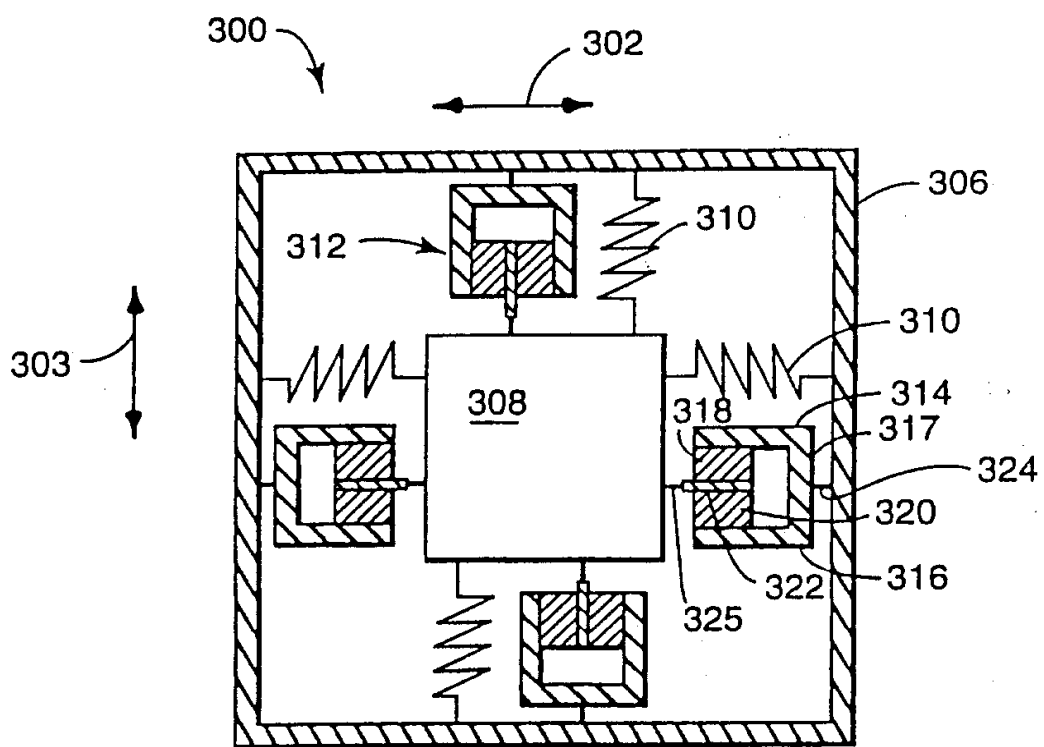


图 13

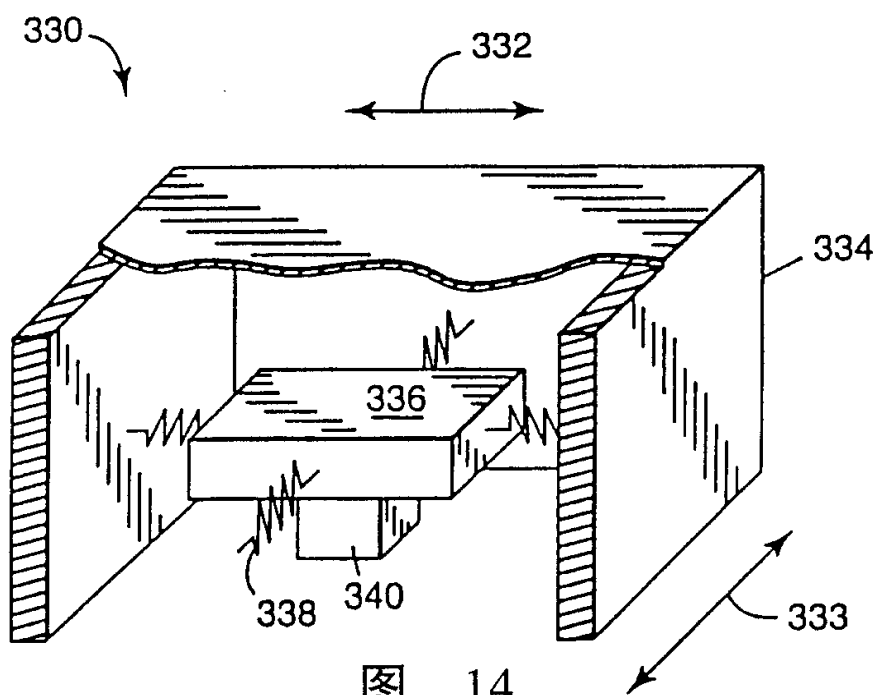


图 14

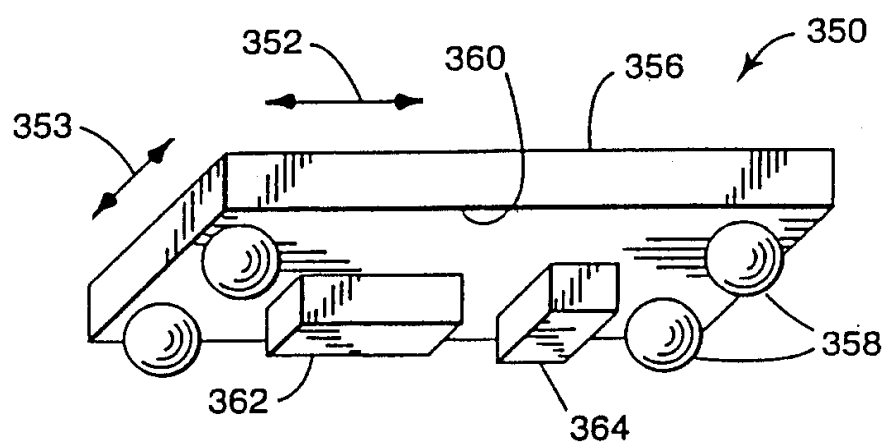


图 15

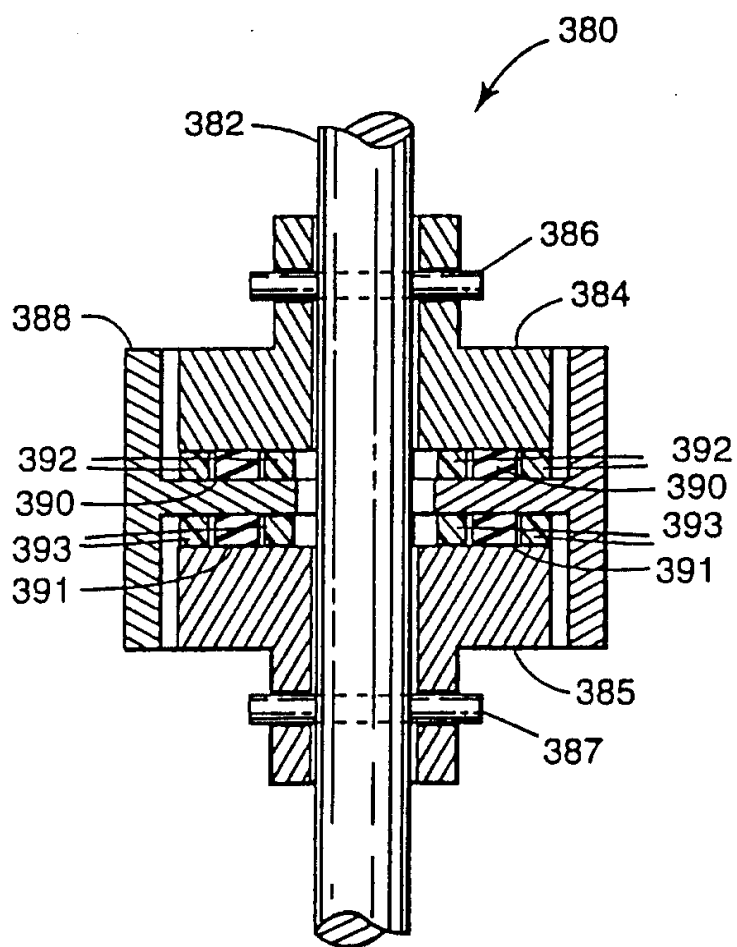


图 16

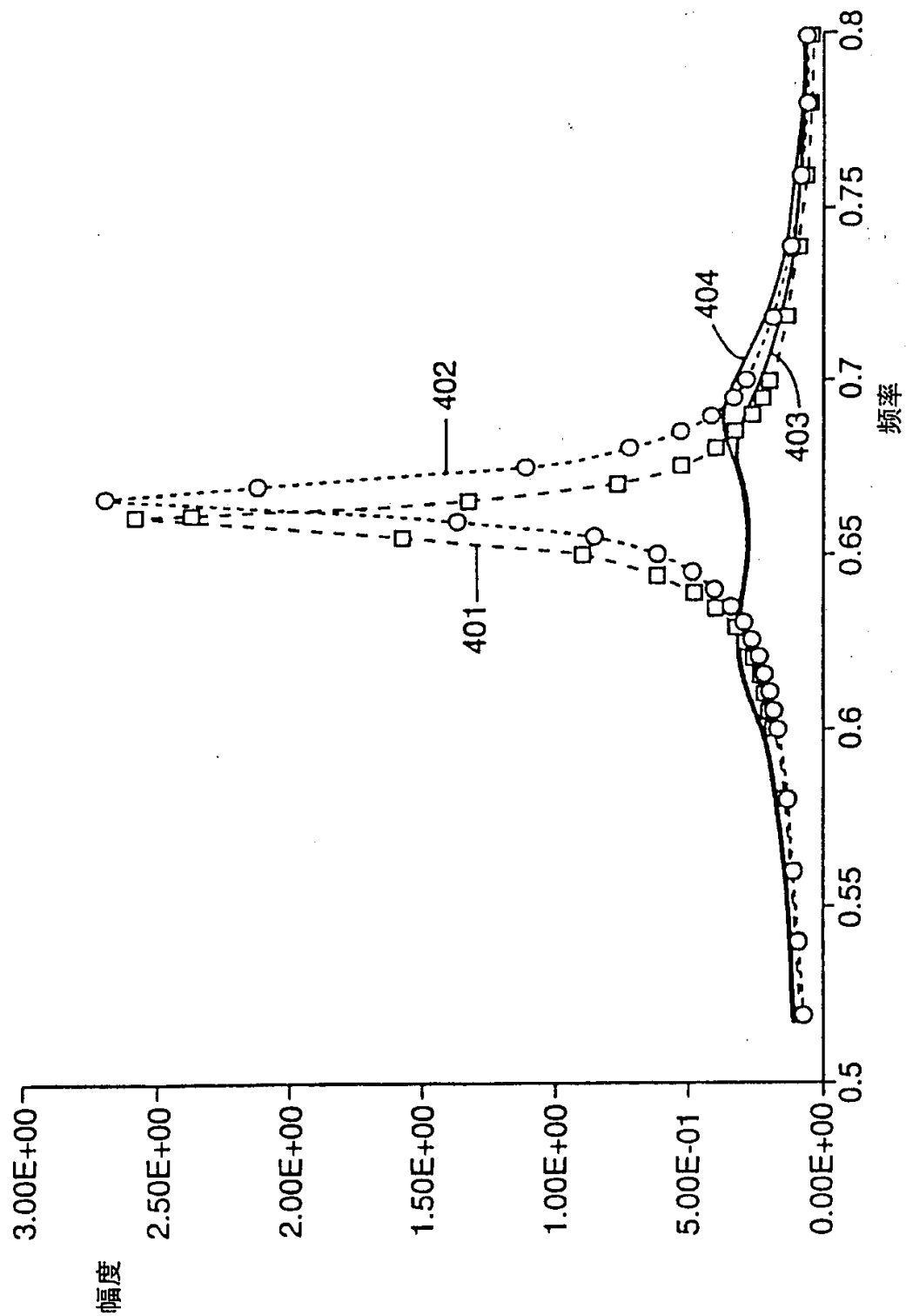


图 17

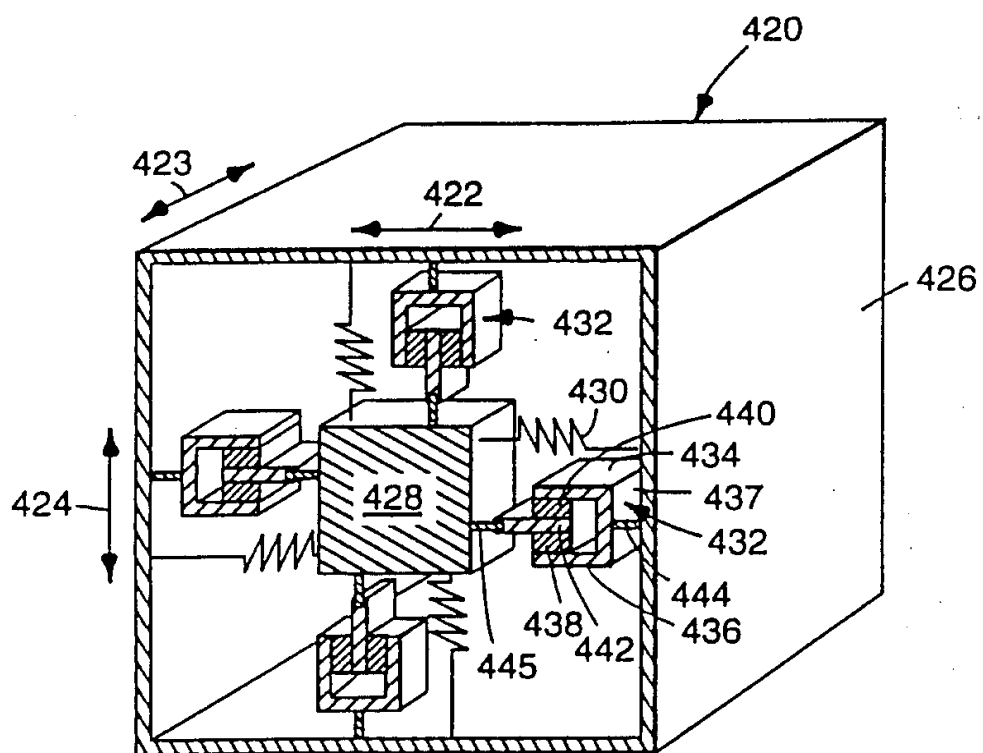


图 18