

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
E04B 1/98 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200710063252.9

[45] 授权公告日 2009 年 10 月 21 日

[11] 授权公告号 CN 100552155C

[22] 申请日 2007.1.5

[21] 申请号 200710063252.9

[73] 专利权人 北京工业大学

地址 100022 北京市朝阳区平乐园 100 号

[72] 发明人 秦丽 周锡元 闫维明

[56] 参考文献

CN2571852Y 2003.9.10

JP2003-227540A 2003.8.15

CN200999399Y 2008.1.2

JP10-8771A 1998.1.13

审查员 惠磊

[74] 专利代理机构 北京思海天达知识产权代理有限公司

代理人 刘萍

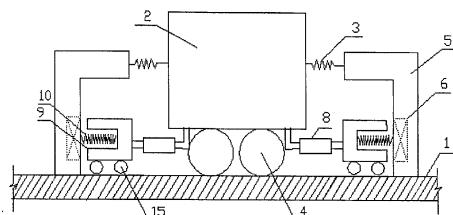
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 2 页

[54] 发明名称

调速型调谐质量阻尼器

[57] 摘要

调速型调谐质量阻尼器属于抗震减灾领域。现有 TMD 存在启动慢、在频率失调情况下控制效果差的问题。本发明技术路线是：通过给 TMD 质量块冲量，使 TMD 迅速达到需要的运动幅度，提高其对冲击型荷载的控制效果；利用磁流变阻尼器可以锁紧 TMD 与主体结构的功能，调节 TMD 和结构的相位关系，减少频率失调带来的控制效果的降低。本发明在冲击型荷载作用和 TMD 失调情况下的控制效果明显好于传统被动 TMD；不存在大震时主动控制难以解决的能量问题。本发明易于实现，成本低。



1、一种调速型调谐质量阻尼器，包括质量块（2）、2个TMD弹簧（3）、滚动支承（4）和2个阻尼器，质量块（2）通过滚动支承（4）连接结构楼板（1）；每个TMD弹簧（3）一端连接质量块（2），另一端连接结构楼板（1）或与结构楼板（1）固结的刚性支架（5），每个阻尼器一端连接质量块（2）；其特征在于：

所述的阻尼器为磁流变阻尼器（8）；每个所述的磁流变阻尼器（8）另一端连接一个冲量发生装置；2个所述的冲量发生装置对称布置；

所述的冲量发生装置由水平主电磁铁和水平主弹簧（10）组成，主电磁铁包括主电磁铁线圈（6）和主电磁铁衔铁（9），主电磁铁线圈（6）安装在刚性支架（5）上，主电磁铁衔铁（9）通过衔铁滚动支承（15）连接结构楼板（1）；水平主弹簧（10）放置在主电磁铁线圈（6）和主电磁铁衔铁（9）之间，主弹簧（10）一端与刚性支架（5）相连，另一端与主电磁铁衔铁（9）接触但不连接。

2、根据权利要求1所述的调速型调谐质量阻尼器，其特征在于：所述的冲量发生装置还增加与主电磁铁方向垂直的辅助电磁铁，辅助电磁铁包括辅助电磁铁线圈（7）和辅助电磁铁衔铁（12），辅助电磁铁线圈（7）安装在刚性支架（5）上，辅助弹簧（13）放置在辅助电磁铁线圈（7）和辅助电磁铁衔铁（12）之间，两端分别连接刚性支架（5）和辅助电磁铁衔铁（12）；上楔形块（14）上表面与辅助电磁铁衔铁（12）固结，下表面为斜面，下楔形块（11）的下表面与主电磁铁衔铁（9）固结，上表面为斜面，下楔形块（11）的斜面和上楔形块（14）的斜面倾斜角度相等，两斜面无摩擦接触。

3、根据权利要求1所述的调速型调谐质量阻尼器，其特征在于：所述磁流变阻尼器（8）采用直线型磁流变阻尼器串联使用，或者采用旋转型磁流变阻尼器。

调速型调谐质量阻尼器

技术领域

本发明涉及一种调速型调谐质量阻尼器，主要用于高耸结构、桥梁塔架等的抗震减灾领域。

背景技术

自 1972 年美国学者 Yao 提出结构控制概念以来，结构振动控制的研究得到了快速发展，在众多的控制装置中，调谐质量阻尼器 (Tuned Mass Damper, TMD) 安装时不需要修改结构设计，一般可以直接安装在结构的顶层，因为灵活方便，成本低，应用比较广泛。

目前，理论和实验研究普遍认为 TMD 能有效地减轻高耸结构的风振，但不少研究表明 TMD 对地震等冲击荷载的控制效果十分有限。主要原因有：(1) 地震等冲击型载荷通常在很短时间内达到峰值，而 TMD 在充分发挥作用之前需要较长的时间来得到一定的速度和位移，导致 TMD 的减震效果滞后 (2) 大震作用下结构动力特性会因屈服发生变化，导致 TMD 失调。

主动调谐质量阻尼器(ATMD)引入外部能量使 TMD 质量块获得加速度，产生合适的惯性力，从而提高减震效果。ATMD 优于被动 TMD，但需要可靠的大功率外部能源供给，操作维护昂贵，对常用的控制律，时滞也很敏感。又由于控制力、作动器行程等方面的限制，ATMD 多数是用来减小风振和中等程度的地震。

根据 TMD 的工作原理，TMD 对结构的控制力等于其惯性力，而惯性力与恢复力、阻尼力之和大小相等，方向相反。当阻尼不大时，阻尼力与恢复力相比很小，那么控制力与 TMD 的恢复力方向大致相反。如果 TMD 的相位能始终保持落后主体结构 90 度，那么 TMD 对结构的控制力就始终是阻力，抑制主体结构振动；另外，控制力与 TMD 的相对位移成正比，只有 TMD 的运动达到一定的幅度，才能保证给主体结构足够大的控制力。

考虑到被动 TMD 地震控制效果不好，而 ATMD 又受到能量、控制力和行程的限制，本发明从被动 TMD 的工作原理出发，提出调速型 TMD，通过在适当时候给 TMD 适当的冲量，调整 TMD 的速度，

使其在较短时间内达到需要的运动幅值，在一定程度上解决了 TMD 在地震作用下启动慢的问题，并且可以保持 TMD 和主体结构的最优相位关系，从而减少了 TMD 因频率失调带来的不利影响。

现有 TMD 存在启动慢、在频率失调情况下控制效果差的问题。

发明内容

为了克服上述问题，本发明目的是提供一种调速型 TMD，其基本技术路线是：通过给 TMD 质量块冲量，使 TMD 迅速达到需要的运动幅度，提高其对冲击型荷载的控制效果；利用磁流变阻尼器可以锁紧 TMD 与主体结构的功能，调节 TMD 和结构的相位关系，减少频率失调带来的控制效果的降低。

本发明提供了一种调速型调谐质量阻尼器，包括质量块 2、2 个 TMD 弹簧 3、滚动支承 4 和 2 个阻尼器，质量块 2 通过滚动支承 4 连接结构楼板 1；每个 TMD 弹簧 3 一端连接 TMD 质量块 2，另一端连接结构楼板 1 或与结构楼板 1 固结的刚性支架 5，每个阻尼器一端连接质量块 2；其特征在于：

所述的阻尼器为磁流变阻尼器 8；所述的每个磁流变阻尼器 8 另一端连接一个冲量发生装置；所述的 2 个冲量发生装置对称布置；

所述的冲量发生装置由水平主电磁铁和水平主弹簧 10 组成，主电磁铁包括主电磁铁线圈 6 和主电磁铁衔铁 9，主电磁铁线圈 6 安装在刚性支架 5 上，主电磁铁衔铁 9 通过衔铁滚动支承 15 连接结构楼板 1；水平主弹簧 10 放置在主电磁铁线圈 6 和主电磁铁衔铁 9 之间，主弹簧 10 一端与刚性支架 5 相连，另一端与主电磁铁衔铁 9 接触但不连接。

磁流变阻尼器 8 具有离合功能，磁流变液在零磁场时类似于粘滞液体，只提供较小的阻尼力，不阻止磁流变阻尼器 8 两端的相对运动，称为‘离’状态；磁场突然增大时，磁流变液瞬间变成屈服力很大的半固体，阻止了磁流变阻尼器两端的相对运动，称为‘合’状态。另外，磁流变阻尼器的响应时间只有几毫秒，满足瞬间离合的要求。

TMD 正常运行时，主电磁铁处于吸合状态，主弹簧 10 处于压缩状态，磁流变阻尼器 8 处于“离”状态。需要提供冲量时，线圈 6 断电，电磁铁吸力瞬间消失，同时磁流变阻尼器 8 瞬间“合”上，主

弹簧 10 强大的恢复力通过衔铁 9 和磁流变阻尼器 8 传给 TMD 质量；很短的时间（如 0.02 秒）后，磁流变阻尼器回到“离”状态，电磁铁恢复吸合状态，弹簧被再次压缩。弹簧从释放到再次被压缩时间很短，也就是说冲量发生装置作用在 TMD 上的力很大但持续时间很短，相当于给 TMD 质量块一个冲量，可以增加其速度。当 TMD 速度为零时，判断 TMD 和主体结构的相位关系，如果相位关系最优，则不做任何处理，反之，磁流变阻尼器 8 “合”上，锁定 TMD 于主体结构之上，等待相位关系达到最优时，再释放质量块。

为了提高冲量发生装置的可靠性，还可增加与主电磁铁方向垂直的辅助电磁铁，辅助电磁铁包括辅助电磁铁线圈 7 和辅助电磁铁衔铁 12，辅助电磁铁线圈 7 安装在刚性支架 5 上，辅助弹簧 13 放置在辅助电磁铁线圈 7 和辅助电磁铁衔铁 12 之间，两端分别连接刚性支架 5 和辅助电磁铁衔铁 12；上楔形块 14 上表面与衔铁 12 固结，下表面为斜面，下楔形块 11 的下表面与衔铁 9 固结，上表面为斜面，下楔形块 11 的斜面和上楔形块 14 的斜面倾斜角度相等，两斜面无摩擦接触。

释放弹簧 10 后，如果衔铁 9 位移较大，与线圈 6 的距离较远，产生的吸引力不足以克服弹簧的推力，这时可以切断辅助电磁铁线圈 7 的电流，辅助电磁铁吸引力消失，衔铁 12 和上楔形块 14 在弹簧 13 恢复力的作用下向下运动，推动下楔形块 11 带动衔铁 9 朝压缩弹簧 10 的方向运动。当衔铁 9 与线圈 6 距离足够近，就可以依靠主电磁铁的吸引力把弹簧压缩回原位了，同时弹簧 13 再次被压缩，辅助电磁铁恢复吸合状态。为了顺利将弹簧 13 压回原位，衔铁 12 的向下位移不能太大。

目前，常见的直线型磁流变阻尼器行程不是很大，可以将磁流变阻尼器串联使用，以增大行程。或者也可以采用旋转型磁流变阻尼器，并用齿轮、齿条机构将转动转化为平动，将旋转型磁流变阻尼器 17 的外壳直接做成齿轮状，齿条与 TMD 质量块 2 固结，如附图 3。

调速 TMD 的调速策略是根据被动 TMD 的基本工作原理制订的。一般 TMD 的特点是：如果其相位能始终保持落后主体结构 90 度，那么它对结构的控制力就始终是阻力，抑制主体结构振动，也就是说，

TMD 与结构的最优相位关系是-90 度；另外，TMD 的控制力大小与其相对位移成正比，只有 TMD 达到一定的运动幅度，才能保证给主体结构足够大的控制力。依据以上 TMD 的工作原理，调速总目标定为：尽量保持 TMD 相位落后主体结构 90 度，同时保证 TMD 有合适的运动幅值。

本发明与被动 TMD 以及传统 AMD/ATMD 相比有如下优点：

(1) 结构遭遇地震等冲击性荷载时，调速型 TMD 可以迅速启动并发挥其控制作用。被动 TMD 一般需要一定的时间才能达到足以发挥作用的速度和位移，如果在这段时间里地震作用最为强烈，控制效果就会变得很差。

(2) 当主体结构动力特性或者激励频率在被控时间段内有所变化时，传统 TMD 会由于频率失调而没有或者只有很小的控制效果。而调速型 TMD 可以通过调整 TMD 与主体结构的相位关系，保持较好的控制效果。

(3) 调速型 TMD 可以避免大震时 AMD/ATMD 因为作动器行程限制导致的控制效果的降低。数值研究表明，大震时要想达到理想的控制效果，AMD 的行程在±1m 甚至更长，而大多数作动器难以达到如此大的行程，从而导致 AMD 控制效果降低，甚至失效。实际工程中也多用 AMD 控制结构在风振或中小地震下的响应。而本专利提出的调速装置只给 TMD 施加冲量，无需作动器，对 TMD 的行程没有附加的限制。

(4) 调速型 TMD 与 AMD/ATMD 相比所需能量很小，这是因为调速装置中的电磁装置和磁流变阻尼器所需能量都很小。而 AMD/ATMD 需要很大的能量，一旦电力中断，就无法工作。事实上，地震时断电是很普遍的事情。

本发明在冲击型荷载作用和 TMD 失调情况下的控制效果明显好于传统被动 TMD；又由于所需能量很少，不存在大震时主动控制难以解决的能量问题。本发明思路清晰，原理和算法简单，技术、装置易于实现，成本低，具有很好的理论研究和应用价值。

附图说明

图 1 表示本发明调速型 TMD 的构造图

图 2 表示本发明增加了辅助电磁铁的调速型 TMD 的构造图

图 3 表示本发明采用旋转型磁流变阻尼器和齿轮、齿条机构的局部示意图

图 4 表示本发明控制效果和被动 TMD 对比图

图中 1. 结构楼板 2. TMD 质量块 3.TMD 弹簧

4.滚动支承 5. 刚性支架 6. 主电磁铁线圈 7. 辅助电
磁铁线圈 8. 直线型磁流变阻尼器 9. 主电磁铁衔铁

10. 主弹簧 11.下楔形块 12. 辅助电磁铁衔铁

13. 辅助弹簧 14. 上楔形块 15. 衔铁滚动支承

16. 齿条 17.旋转型磁流变阻尼器

具体实施方式

下面将结合说明书附图对本发明实施方法作进一步说明：

为了验证本发明提出的调速型 TMD 的控制效果，以单自由度结构的地震响应控制为例，分析比较了调速型 TMD 与被动 TMD 的控制效果。结构与 TMD 的参数选取如下：结构质量 430ton，结构刚度为 60300KN/m，结构周期为 0.53s，结构阻尼比为 0.02；TMD 质量为 4.3ton，TMD 弹簧刚度为 603KN/m，TMD 阻尼比为 0.1。TMD 质量与结构质量比为 0.01，频率比定为 1。假设装置每次调速能提供的最大速度增量是 1m/s。对于 4.3ton 的 TMD，所需要的冲量为 4.3KN · s，冲量发生装置主弹簧选用 的碟形弹簧，弹簧压缩量为 0.1m 时，可产生 300KN 的恢复力，作用 0.014s 的时间就可达到 4.3KN · s 的冲量，这里假设在 0.014s 的时间内，弹簧恢复力大小不变。弹簧 10 的恢复力要通过磁流变阻尼器 8 传给 TMD 质量块 2，磁流变阻尼器 8 必须能够传递 300KN 的力，哈尔滨工业大学的欧进萍教授制造了最大阻尼力为 200KN 的磁流变阻尼器，理论上讲，制造更大出力的磁流变阻尼器是没有困难的。当然并联使用两个出力 150KN 的磁流变阻尼器也可以传递 300KN 的力。主电磁铁线圈 6 匝数为 10000，电流为 3A，衔铁 9 的磁极面积为 0.18m²，根据电磁铁吸力计算公式得出间隙为 0.009m 的时候，电磁吸力是 314KN，而间隙为 0.01 时，电磁力为 254KN。可见，如果采用上述主电磁铁，弹簧 10 释放后，衔铁 9 的位移在 0.009m 之内可以靠主电磁铁的吸引力压缩弹簧 10，而衔铁 9

的位移超过 0.009m 就得启动辅助电磁铁帮助压缩弹簧 10 了。这里需要声明一下，冲量发生装置的各种参数选择是针对所选例子的。对于不同的实例，需要对参数进行优选。

地震输入选用 El-Centro 波（图 4 中 1、4）、澜沧耿马波（图 4 中 2、5）、迁安波（图 4 中 3、6）三条常见的地震波，被动 TMD 和调速型 TMD 的控制效果的比较，见附图 4。图中第 1、2 和 3 三组分别表示结构不屈服的情况下，三种地震波作用下结构绝对加速度的控制效果；第 4、5 和 6 组分别表示结构屈服的情况下，三种地震波作用下结构绝对加速度的控制效果。

从图中可以看到结构不屈服时，被动 TMD 在 El-Centro 波作用下控制效果最好，原因是在这种情况下结构和 TMD 频率一致，同时 El-Centro 波的主频又和结构频率接近，TMD 处于近似调谐状态。其它 5 种情况下，被动 TMD 的控制效果都只有百分之几，这是由于地震激励主频与结构频率不一致，或者结构屈服引起结构频率变化导致 TMD 失调。调速型 TMD 在所有的情况下都比被动 TMD 的控制效果好，这正是由于它启动迅速和可以调整 TMD 和结构相位关系这两个特点提高了它对地震作用的控制效果。

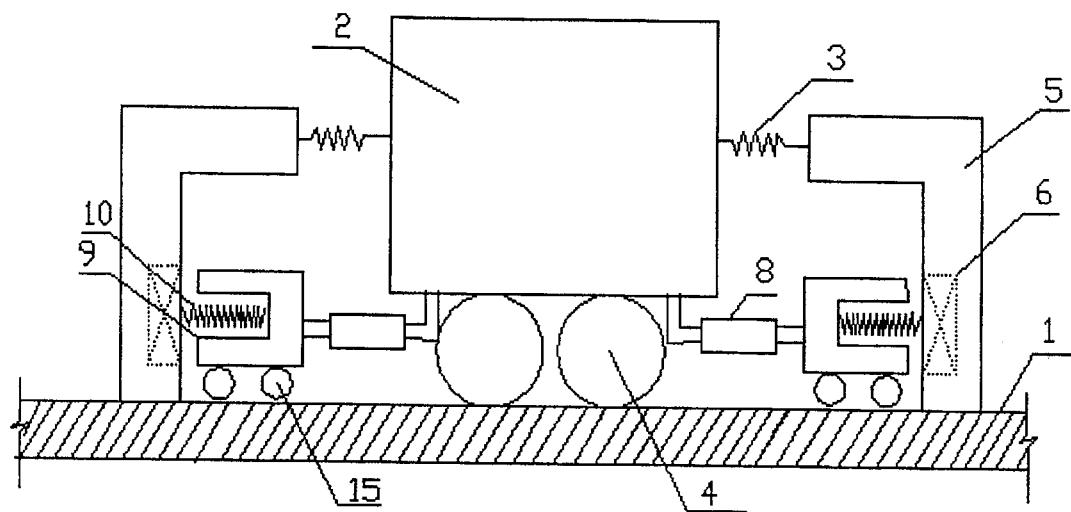


图 1

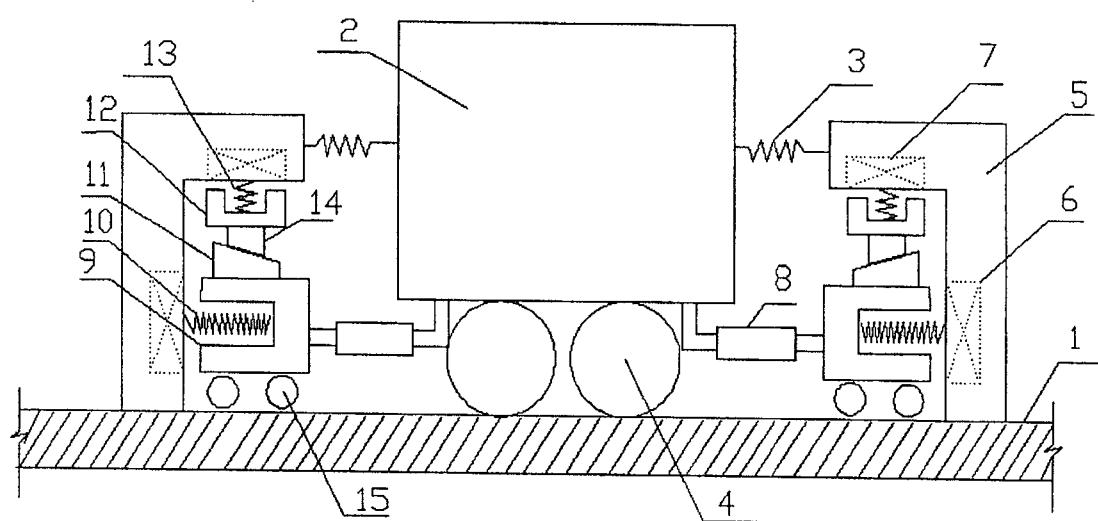


图 2

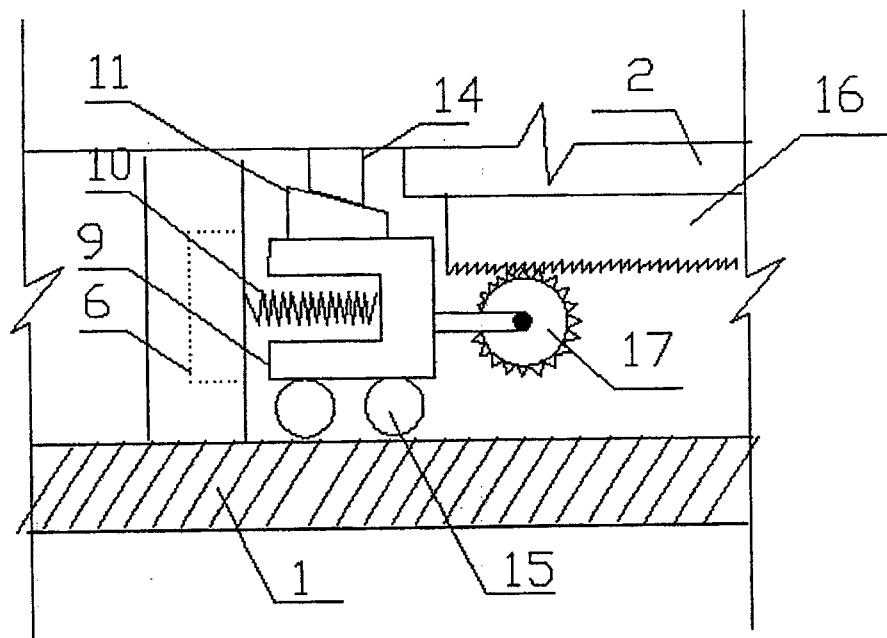


图 3

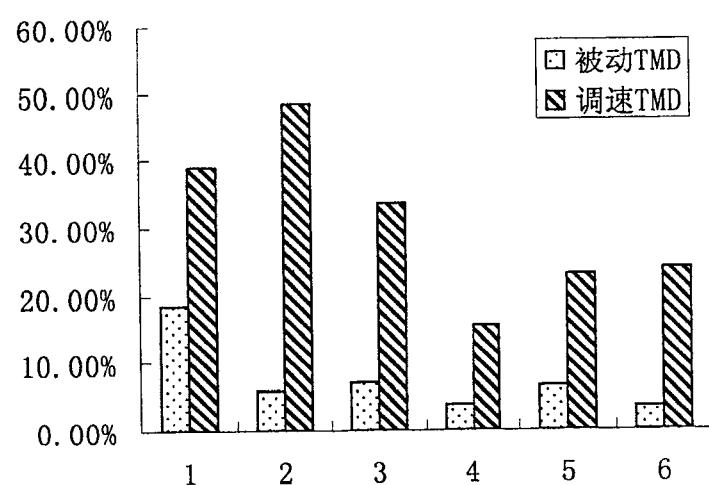


图 4