

基于最佳加速振荡器阻尼器的建筑物隔离系统的性能

张秀娟

江苏中谊抗震工程股份有限公司

摘要：为了减少传统的建筑隔震系统的大位移需求，解决惯性等效方法的问题，本文研究一种新型的阻尼加速度阻尼装置。加速器减振器包括一个传动系统，一个齿条。该传输系统将建筑与地面的相对移动放大，并将其传递到副弹簧、阻尼器和质量，因此提高了吸能的性能。并选择加速振荡器阻尼器频率比和阻尼比作为设计参数，获得无阻尼主结构的闭式解并进行数值验证。针对传统的最佳加速振荡器阻尼器，调谐质量阻尼器和串行调谐惯性阻尼器基础隔离系统，在频域和时域进行了最佳振动性能比较。结果表明，最佳的加速振荡器阻尼器基座隔离系统可以有效地抑制基础位移，上层建筑的加速度以及基础底板与上层建筑之间的相对位移，而辅助质量的冲程较小。

关键词：加速振荡器阻尼器；建筑物；隔离系统；传动装置

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.18.008

一、引言

受混合控制系统概念的启发，本文提出了一种整合加速振荡器阻尼器基座隔离和TBI系统的新控制结构，以提高隔离性能^[1]。杨祖龙等人^[2]将加速振荡器阻尼器（AOD）连接到桥梁的大梁上以减少振动。结果显示，在短输入持续时间和最大地震响应方面，加速振荡器阻尼器（AOD）优于调谐质量阻尼器系统。此外，调查还表明，增加传动比可以提高阻尼效率^[3]。在本文中，所提出的加速振荡器阻尼器基座隔离系统的频率比和阻尼比被选为调谐参数。加速振荡器阻尼器基座隔离系统的优化采用规范准则，使系统在随机激励下的振动特性最小。首先，本文通过分析研究了无阻尼主结构的最佳频率比和阻尼比。接下来，研究了传动比、加速振荡器阻尼器基座隔离质量比和频率比对最佳调谐参数的影响。通过比较调谐惯性阻尼器（TMD-BI）系统、串联TID-BI系统和加速振荡器阻尼器基座隔离系统的频率响应、规范准则优化，进行了频域的隔离性能研究^[4]。随后，采用数值搜索算法研究了阻尼加速振荡器阻尼器基座隔离系统的最佳参数。最后，在一个简化的五层建筑模型上进行了最佳加速振荡器阻尼器基座隔离系统与其他系统的时程分析比较，并通过传统的有限元商业软件研究了一

种方便的方法——位移一致方程法来模拟惰化阻尼器。

二、加速振荡器阻尼器基座隔离（AOD-BI）系统

如图1所示，一个带有基地隔离系统的多层建筑结构处于水平地面加速度 $\ddot{x}_g(t)$ 的作用下。考虑到多自由度结构系统的基本振动模式，上部结构被简化为一个多自由度系统。该多自由度系统的模型由质量 m_s ，与地面的相对位移 x_s ，线性弹簧刚度 k_s ，和阻尼系数 c_s 组成。基地隔离系统也作为理想化为的一个多自由度系统，其特点是质量 m_b 、与地面的相对位移 x_b 、线性弹簧刚度 k_b 和阻尼系数 c_b 。上层建筑和底座之间的相对位移为 $x_r=x_s-x_b$ ^[5]。基地隔离系统和上层建筑形成一个双DOF系统。

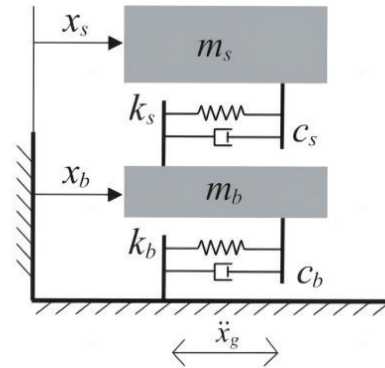


图1 TID-BI系统

图2为加速振荡器阻尼器基座隔离（AOD-BI）系统的SDOF结构。AOD是一种振动控制装置，由齿轮齿条传动系统驱动，具有辅助质量，弹簧和仪表板。它不仅表现出质量放大效应，而且表现出弹性和阻尼的增强。

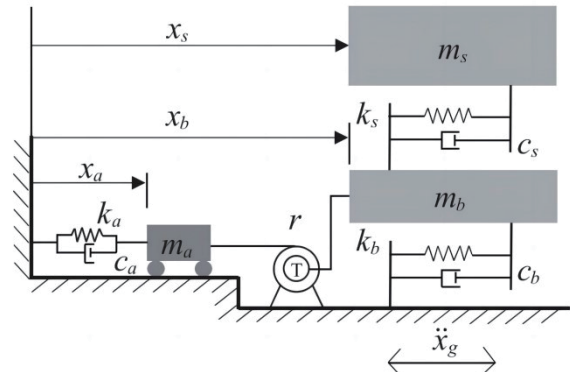


图2 AOD-BI系统

三、结果与讨论

(一) 最佳频率比与最佳阻尼比变化

图3为最佳频率比与最佳阻尼比变化，结果表明，当加速振动减振系统的重量比率和齿轮比率 r 增大时，最优的频率比 f_{aopt} 增大，而最优的减振比 f_{aopt} 则与此相反。这说明在副重量或者大齿轮时，要求弹性系数大，减振系数低。以实现最佳控制性能。在实践中，建筑参数 μ_s 和 f_b 经常随不同的建筑而变化，因此它们对最佳设计参数的影响也值得注意。且图中给出了在给定 $r=4$ 、 $\mu_a=0.1$ 和 $f_b=0.5$ 的情况下，无阻尼AOD-BI系统在不同质量比 μ_s 下的最佳调谐参数。随着 μ_s 的增加，最佳频率比 f_{aopt} 逐渐增大，而最佳阻尼比 ξ_{aopt} 减小。这表明，当加速振荡器阻尼器基座隔离（AOD-BI）系统连接到更重的上部结构时，需要更硬的弹簧和更小的阻尼的加速振荡器阻尼器（AOD）来实现最佳控制性能。且可观察到最佳频率比 f_{aopt} 随 f_b 的增加呈现非线性下降，而最佳阻尼比 ξ_{aopt} 呈现相反的趋势。这表明，当上部结构较软或底板较硬时，需要更软弹簧和更大阻尼的加速振荡器阻尼器（AOD），以获得最佳控制性能。

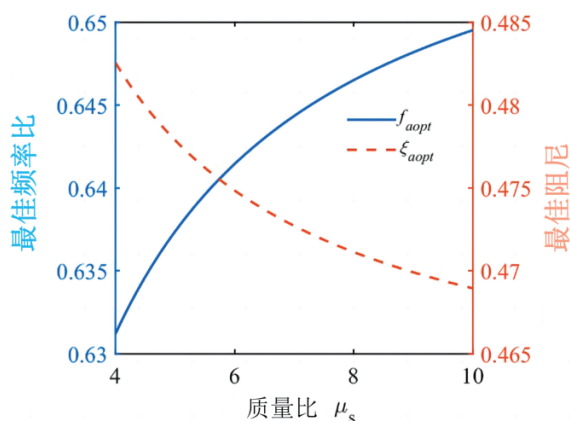


图3 最佳频率比与最佳阻尼比变化

(二) 时程分析

本文使用五层楼房为结构模型，考虑到振动的基本模式，简化为SDOF。当考虑到底层时，它可以被视为一个两SDOF系统。两个SDOF系统的参数为： $m_s=29485$ kg， $c_s=3.74$ kN·s/m， $k_s=11$ ， $m_b=6800$ kg， $c_b=23.71$ kN·s/m， $k_b=232$ kN/m。本节还对最佳加速振荡器阻尼器基座隔离系统和其他两种混合控制系统进行了性能比较。加速振荡器阻尼器系统的传动比应大于1，为方

便起见，选择一个整数，取 $r=2$ 。加速振荡器阻尼器系统、加速振荡器阻尼器基座隔离系统和串行TID-BI系统的质量比设定为等值，即 $\mu_a = \mu_t = \mu_d = 0.1$ 。通过数值优化，得到三个混合控制系统的最佳参数： $f_{aopt}=0.10$ ， $\xi_{aopt}=2.30$ ； $f_{t_{opt}}=0.12$ ， $\xi_{t_{opt}}=0.14$ ； $f_{d_{opt}}=0.13$ ， $\xi_{d_{opt}}=0.18$ 。本研究的时间历史分析是通过传统的FE。

本研究的时间历史分析是通过传统的FE软件ANSYS进行的，在该软件中，惯性部件由连接到齿条齿轮机构的旋转质量（飞轮）模拟，如图4所示。主体结构的位移表示为；飞轮的旋转角度表示为 x 。飞轮的旋转角度表示为 Ω 。耦合方程任何时刻的位移都服从 $\Omega - \beta \cdot x = 0$ ，其中 β 是放大系数。用该方法模拟的调谐惯性阻尼器（TID）被称为RTID。为了验证迭代器模拟的正确性，对MATLAB Simulink和ANSYS的仿真结果进行了比较和分析。

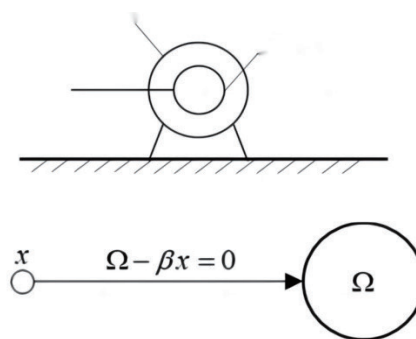


图4 旋转质量模拟方法

图5是最佳加速振荡器阻尼器系统和其他系统的时史响应比较。从图5中可以看出，最佳TMD-BI系统和串行加速振荡器阻尼器基座隔离系统表现出类似的性能，它们在控制相对位移和基底漂移方面的行为比TBI系统略有改善。然而，最佳的加速振荡器阻尼器系统在缓解基底漂移和加速度方面显示出比这些系统更大的改进，同时保持较小的相对位移。最佳加速振荡器阻尼器系统的相对位移与其他混合控制系统在远震下的相对位移几乎相同，而最佳加速振荡器阻尼器系统的相对位移比最佳加速振荡器阻尼器系统在近断层地震下的相对位移比TBI系统略大。这表明最佳加速振荡器阻尼器系统在远震中的表现非常好。无论在远断层地震还是近断层地震作用下，最佳加速振荡器阻尼器系统的基础漂移都是最小的。地震的作用下，最佳加速振荡器阻尼器系统的

基础漂移都是最小的。这意味着，与其他系统相比，最佳加速振荡器阻尼器（AOD-BI）系统在减轻基底漂移方面具有最佳特性。最佳加速振荡器阻尼器系统拥有具备控制加速度的优良特性。

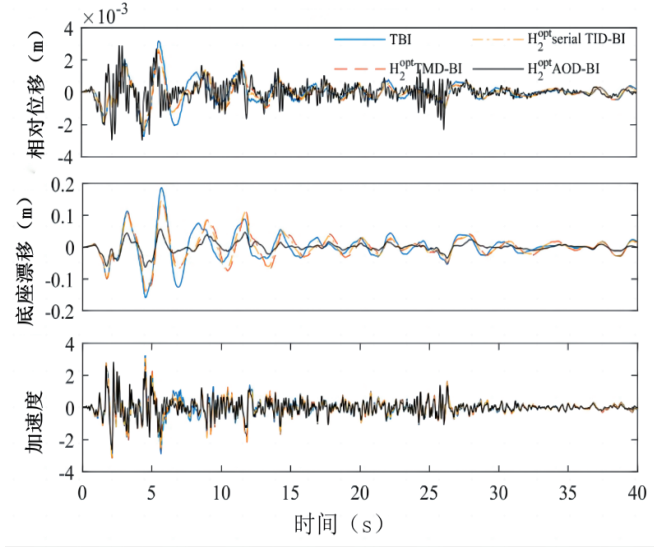


图5 相对位移、基底漂移和加速度变化

(三) 阻尼器相对位移、基础漂移和加速度

图6为在远震和近震作用下，在不同的阻尼器质量比 μ_a 下，最佳AOD-BI系统的相对位移、基础漂移和加速度的有效值。上部结构的相对位移随着AOD质量比 μ_a 的增加而单调增加，基底漂移单调减少，这与图5的结

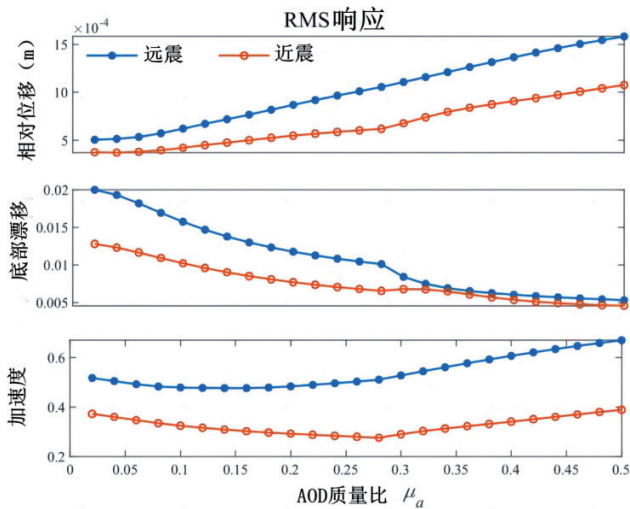


图6 阻尼器相对位移、基底漂移和加速度的均方根值

论基本一致。增加AOD质量比与基座位移的影响结果一致。基座位移的减少也意味着上部结构与底层的连接接近于上部结构与地面的直接连接，相对位移自然会比较大。对于较低的质量比，上部结构的加速度几乎呈现线性下降的趋势，但对于较高的质量比，其加速度随后增加。因此，在给出AOD质量比时，有必要综合考虑AOD质量比与相对位移、基底漂移和加速度的影响。

四、结论

本文提出了一种新型的混合振动控制系统，即加速振荡器阻尼器基座-隔离系统。首先，通过规范准则得到无阻尼结构的最佳参数。并通过FE方法和MATLAB仿真，对阻尼主结构-AOD-BI系统的性能进行了数值研究。结果表明，最佳的AOD-BI系统可以有效地减少基底漂移，并在较少的辅助质量行程下降低上部结构的加速度。在相对位移方面，最佳AOD-BI系统在远场地震中的减震效果与其他系统相同，但在近场地震中的效果稍差。因此，传统的FE方法可以用于分析加速度依赖的阻尼器系统，如基于惰轮的系统。

参考文献

- [1] 刘海超, 闫明, 张春辉, 刘慧芳. 液压限位隔离系统冲击响应特性研究[J]. 机械设计与制造, 2021 (12): 38-42.
- [2] 杨祖龙, 苏有文. 基于磁流变阻尼器与弹性基础隔震耦合建筑的地震响应分析[J]. 地震工程学报, 2018, 40 (05): 932-940.
- [3] 黄斌, 蒲武川, 张海洋, 宋钢兵. 基于超弹性SMA螺旋弹簧的基础隔震研究[J]. 地震工程与工程振动, 2014, 34 (02): 209-215.
- [4] 谭文荣. 公共建筑物中强电系统的接地问题及改进措施探讨[J]. 低碳世界, 2019, 9 (09): 229-230.
- [5] 陈思. 公共建筑强电系统综合接地布设施工技术研究[J]. 设备管理与维修, 2021 (18): 151-152.