



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113684940 A

(43) 申请公布日 2021. 11. 23

(21) 申请号 202110909102.5

(22) 申请日 2021.08.09

(71) 申请人 广州大学

地址 510006 广东省广州市番禺广州大学  
城外环西路230号

(72) 发明人 周云 梁秋河 张卫多 李钧睿

(74) 专利代理机构 广州三环专利商标代理有限  
公司 44202

代理人 颜希文 郝传鑫

(51) Int. Cl.

E04B 1/98 (2006.01)

E04H 9/02 (2006.01)

G06F 30/13 (2020.01)

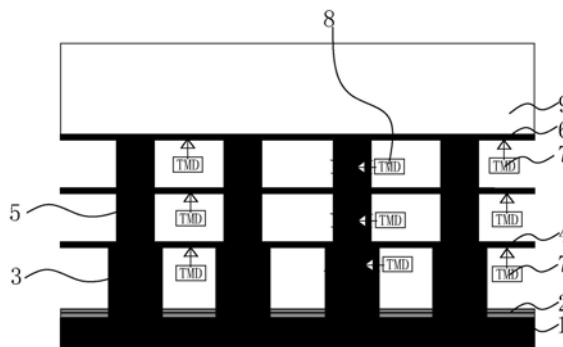
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

可减少地铁振动的既有建筑减振结构及其设计方法

(57) 摘要

本发明涉及振动及噪声控制结构技术领域，公开了一种可减少地铁振动的既有建筑减振结构，包括：底板层；减振加强层设于所述底板层上；所述减振加强层由下至上依次包括橡胶层、钢筋混凝土层和装修层；若干个所述第一支撑结构排列布设在所述减振加强层上；第一楼板设于若干个所述第一支撑结构上；若干个所述第二支撑结构排列布设在所述第一楼板上；第二楼板设于若干个所述第二支撑结构上；所述第一楼板、第二楼板上均设有所述竖向TMD减振装置。本发明提供的可减少地铁振动的既有建筑减振结构以减振加强层、竖向TMD减振装置联合应用，有效地减少振动波传递至上部结构，起到良好的减振作用，进而有效地减少该既有建筑结构的竖向振动。



1. 一种可减少地铁振动的既有建筑减振结构,其特征在于,包括:  
底板层;  
减振加强层,其设于所述底板层上;所述减振加强层由下至上依次包括橡胶层、钢筋混凝土层和装修层;  
第一支撑结构,若干个所述第一支撑结构排列布设在所述减振加强层上;  
第一楼板,其设于若干个所述第一支撑结构上;  
第二支撑结构,若干个所述第二支撑结构排列布设在所述第一楼板上;  
第二楼板,其设于若干个所述第二支撑结构上;  
竖向TMD减振装置,所述第一楼板、第二楼板上均设有所述竖向TMD减振装置。
2. 根据权利要求1所述的可减少地铁振动的既有建筑减振结构,其特征在于,所述第一楼板、第二楼板上均设有若干个所述竖向TMD减振装置。
3. 根据权利要求2所述的可减少地铁振动的既有建筑减振结构,其特征在于,所述竖向TMD减振装置包括质量块、液体粘滞阻尼器、螺旋钢弹簧、连接板、钢丝束、上固定螺栓和下固定螺栓;至少两条所述液体粘滞阻尼器连接在所述质量块和连接板之间;至少两条所述螺旋钢弹簧连接在所述质量块和连接板之间;所述上固定螺栓和下固定螺栓分别设于所述连接板和质量块上;所述钢丝束的两端分别与所述上固定螺栓和下固定螺栓连接且位于所述质量块和连接板之间。
4. 根据权利要求1所述的可减少地铁振动的既有建筑减振结构,其特征在于,所述橡胶层的厚度为13-15cm;所述钢筋混凝土层的厚度为10-15cm;所述装修层的厚度为10-15cm。
5. 根据权利要求4所述的可减少地铁振动的既有建筑减振结构,其特征在于,所述橡胶层的厚度为15cm;所述钢筋混凝土层的厚度为10cm;所述装修层的厚度为13cm。
6. 根据权利要求1所述的可减少地铁振动的既有建筑减振结构,其特征在于,所述第一支撑结构的左右宽度大于所述第二支撑结构的左右宽度。
7. 根据权利要求1所述的可减少地铁振动的既有建筑减振结构,其特征在于,所述第一支撑结构和第二支撑结构均为支墩或剪力墙。
8. 根据权利要求1至7任意一项所述的可减少地铁振动的既有建筑减振结构,其特征在于,所述第一支撑结构和第二支撑结构上均设有横向TMD减振装置。
9. 可减少地铁振动的既有建筑减振结构的设计方法,其特征在于,用于施工形成如权利要求1至7任意一项所述的可减少地铁振动的既有建筑减振结构,所述设计方法包括如下步骤:
  - S1. 对减振加强层的各层进行厚度进行设计;
  - S2. 对减振加强层的各层进行刚度进行设计,确定设计的减振加强层;
  - S3. 判断高频成分经过上述设计的减振加强层是否满足减振效果;  
若是,则执行S4步骤;  
若否,则重新执行S1步骤;
  - S4. 确定竖向TMD减振装置的减振频率点;
  - S5. 根据上述的减振频率点,确定单个竖向TMD减振装置的设计参数,其中,设计参数包括竖向TMD减振装置的阻尼比、元频率、阻尼系数和竖向总弹簧刚度;
  - S6. 布设竖向TMD减振装置的位置;

S7. 检验竖向TMD减振装置的位置是否满足设定的减振效果；  
若是，则结束，导出施工图纸；  
若否，则重新执行S4步骤。

## 可减少地铁振动的既有建筑减振结构及其设计方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及振动及噪声控制结构技术领域,特别是涉及一种可减少地铁振动的既有建筑减振结构及其设计方法。

### 背景技术

[0002] 轨道交通以其便利快捷的出行体验,在大城市得到快速发展。以轨道交通为导向的TOD物业开发模式,在我国超大城市得到飞速发展。轨道上盖住宅物业具有非常高的经济价值,开发商在大力开发地铁上盖物业时,遇到的最主要技术问题就是如何使上盖结构满足国家的振动和噪音的规范要求,这一技术问题成为开发地铁上盖物业开发最大障碍。

[0003] 人体对低频振动最敏感,最难接受低频振动的影响,低频振动最容易引发人的不适,造成居民的投诉。且现行的国家规范要求对低频振动要求的限值比中高频振动要求限值严格许多,低频振动难以减少且要求严格是现在地铁上盖结构开发遇到的最主要难题。现有的轨道交通上盖竖向减振结构的研究主要集中三维隔振减振支座或者土层减振措施,均为单一的减振措施,且未能有效减少地铁振动波诱发的结构低频振动有效措施。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是克服了现有技术的问题,提供了一种可减少地铁振动的既有建筑减振结构,该可减少地铁振动的既有建筑减振结构以减振加强层、竖向TMD减振装置联合应用,分频带减少地铁的振动波,有效地减少振动波传递至上部结构,起到良好的减振作用,进而有效地减少该既有建筑结构的竖向振动;还提供一种用于施工形成该可减少地铁振动的既有建筑减振结构的可减少地铁振动的既有建筑减振结构的设计方法。

[0005] 为了达到上述目的,本发明采用以下方案:

[0006] 一种可减少地铁振动的既有建筑减振结构,包括:

[0007] 底板层;

[0008] 减振加强层,其设于所述底板层上;所述减振加强层由下至上依次包括橡胶层、钢筋混凝土层和装修层;

[0009] 第一支撑结构,若干个所述第一支撑结构排列布设在所述减振加强层上;

[0010] 第一楼板,其设于若干个所述第一支撑结构上;

[0011] 第二支撑结构,若干个所述第二支撑结构排列布设在所述第一楼板上;

[0012] 第二楼板,其设于若干个所述第二支撑结构上;

[0013] 竖向TMD减振装置,所述第一楼板、第二楼板上均设有所述竖向TMD减振装置。

[0014] 进一步地,所述第一楼板、第二楼板上均设有若干个所述竖向TMD减振装置。

[0015] 进一步地,所述竖向TMD减振装置包括质量块、液体粘滞阻尼器、螺旋钢弹簧、连接板、钢丝束、上固定螺栓和下固定螺栓;至少两条所述液体粘滞阻尼器连接在所述质量块和连接板之间;至少两条所述螺旋钢弹簧连接在所述质量块和连接板之间;所述上固定

螺栓和下固定螺栓分别设于所述连接板和质量块上；所述钢丝束的两端分别与所述上固定螺栓和下固定螺栓连接且位于所述质量块和连接板之间。

[0016] 进一步地，所述橡胶层的厚度为13-15cm；所述钢筋混凝土层的厚度为10-15cm；所述装修层的厚度为10-15cm。

[0017] 进一步地，所述橡胶层的厚度为15cm；所述钢筋混凝土层的厚度为10cm；所述装修层的厚度为13cm。

[0018] 进一步地，所述第一支撑结构的左右宽度大于所述第二支撑结构的左右宽度。

[0019] 进一步地，所述第一支撑结构和第二支撑结构均为支墩或剪力墙。

[0020] 进一步地，所述第一支撑结构和第二支撑结构上均设有横向TMD减振装置。

[0021] 本发明还提供一种可减少地铁振动的既有建筑减振结构的设计方法，用于施工形成如上述所述的可减少地铁振动的既有建筑减振结构，所述设计方法包括如下步骤：

[0022] S1. 对减振加强层的各层进行厚度进行设计；

[0023] S2. 减振加强层的各层进行刚度进行设计，确定设计的减振加强层；

[0024] S3. 判断高频成分经过上述设计的减振加强层是否满足减振效果；

[0025] 若是，则执行S4步骤；

[0026] 若否，则重新执行S1步骤；

[0027] S4. 确定竖向TMD减振装置的减振频率点；

[0028] S5. 根据上述的减振频率点，确定单个竖向TMD减振装置的设计参数，其中，设计参数包括竖向TMD减振装置的阻尼比、元频率、阻尼系数和竖向总弹簧刚度；

[0029] S6. 布置竖向TMD减振装置的位置；

[0030] S7. 检验竖向TMD减振装置的位置是否满足设定的减振效果；

[0031] 若是，则结束，导出施工图纸；

[0032] 若否，则重新执行S4步骤。与现有的技术相比，本发明具有如下优点：

[0033] 本发明通过底板层、减振加强层、第一支撑结构、第一楼板、第二支撑结构、第二楼板和竖向TMD减振装置相结合，利用橡胶层、钢筋混凝土层和装修层形成一个柔性层和刚性层相组合的减振加强层，使减振加强层的各个介质层的刚度差异较大，可以减少振动波传递至上部结构，尤其50-100Hz以上的高频成分在经过此层时可有效得到衰减，再在减振加强层的基础上，在第一楼板和第二楼板上增设竖向TMD减振装置能够有效地减少上部结构低频的振动，特别是地铁振动波在0-30Hz频带范围内的振动成分，抑制上部结构的低频振动，防止轨道交通诱发的竖向振动激起结构的竖向一阶低频共振，避免振动及振动二次噪音超标，从而以减振加强层、竖向TMD减振装置联合应用，分频带减少地铁的振动波，有效地减少振动波传递至上部结构，起到良好的减振作用，进而有效地减少该既有建筑结构的竖向振动。

## 附图说明

[0034] 下面结合附图和具体实施方式对本申请作进一步详细的说明。

[0035] 图1是本发明的可减少地铁振动的既有建筑减振结构的结构示意图。

[0036] 图2是本发明的减振加强层的结构示意图。

[0037] 图3是本发明的竖向TMD减振装置的结构示意图。

[0038] 图4是本发明的可减少地铁振动的既有建筑减振结构的设计方法流程图。

[0039] 图中包括：

[0040] 底板层1、减振加强层2、橡胶层21、钢筋混凝土层22、装修层23、第一支撑结构3、第一楼板4、第二支撑结构5、第二楼板6、竖向TMD减振装置7、质量块71、液体粘滞阻尼器72、螺旋钢弹簧73、连接板74、钢丝束75、上固定螺栓76、下固定螺栓77、横向TMD减振装置8、上部结构9。

### 具体实施方式

[0041] 下面结合附图和实施例,对本发明的具体实施方式作进一步详细描述。以下实施用于说明本发明,但不用来限制本发明的范围。

[0042] 如图1至图4所示,一种可减少地铁振动的既有建筑减振结构,包括底板层1、减振加强层2、第一支撑结构3、第一楼板4、第二支撑结构5、第二楼板6和竖向TMD减振装置7。其中,减振加强层2设于所述底板层1上;所述减振加强层2由下至上依次包括橡胶层21、钢筋混凝土层22和装修层23;若干个所述第一支撑结构3排列布设在所述减振加强层2上;第一楼板4设于若干个所述第一支撑结构3上;若干个所述第二支撑结构5排列布设在所述第一楼板4上;该第一支撑结构3和第二支撑结构5均为支墩或剪力墙。第二楼板6设于若干个所述第二支撑结构5上;所述第一楼板4、第二楼板6上均设有所述竖向TMD减振装置7。该竖向TMD减振装置74即为竖向调谐质量阻尼器减振装置,TMD为调谐质量阻尼器的英文简称,即TMD(Tuned Mass Damper)。

[0043] 该可减少地铁振动的既有建筑减振结构通过底板层1、减振加强层2、第一支撑结构3、第一楼板4、第二支撑结构5、第二楼板6和竖向TMD减振装置7相结合,利用橡胶层21、钢筋混凝土层22和装修层23形成一个柔性层和刚性层相组合的减振加强层2,使减振加强层2的各个介质层的刚度差异较大,可以减少振动波传递至上部结构9,尤其50-100Hz以上的高频成分在经过此层时可有效得到衰减,再在减振加强层2的基础上,在第一楼板4和第二楼板6上增设竖向TMD减振装置7能够有效地减少上部结构9低频的振动,特别是地铁振动波在0-30Hz频带范围内的振动成分,抑制上部结构9的低频振动,防止轨道交通诱发的竖向振动激起结构的竖向一阶低频共振,避免振动及振动二次噪音超标,从而以减振加强层2、竖向TMD减振装置7联合应用,分频带减少地铁的振动波,有效地减少振动波传递至上部结构9,起到良好的减振作用,进而有效地减少该既有建筑结构的竖向振动。

[0044] 在本具体实施方式中,橡胶层21的刚度小,具有良好的减振效果,能够人行荷载下的舒适度和变形的要求;所述橡胶层21的厚度为13-15cm。钢筋混凝土层22具有较大的刚度,当然可以采用纯厚钢板层代替;所述钢筋混凝土层22的厚度为10-15cm。装修层23主要是软木板或瓷砖,所述装修层23的厚度为10-15cm。优选的,所述橡胶层21的厚度为15cm;所述钢筋混凝土层22的厚度为10cm;所述装修层23的厚度为13cm。依据根据振动波传递原理,即振动波在不同刚度介质中传特性差异较大,且相邻的介质刚度差异越大,振动波的传递衰减越明显,因此以橡胶层21、钢筋混凝土层22和装修层23作为三层不同刚度介质层,设定橡胶层21、钢筋混凝土层22和装修层23的优选厚度和刚度,可以形成明显的刚度变化,可以减少振动波传递至上部结构9,尤其50-100Hz以上的高频成分在经过此层时可有效得到衰减,实现减振的目的。

[0045] 为了有效地减少上部结构9低频的振动,达到减振的目的,所述第一楼板4、第二楼板6上均设有若干个所述竖向TMD减振装置7。通过在第一楼板4和第二楼板6上设置若干个竖向TMD减振装置7,可以更好地对竖向方向的低频振动起到良好的加强抑制作用,能够有效地减少上部结构9低频的振动,特别是地铁振动波在0-30Hz频带范围内的振动成分,抑制上部结构9的低频振动,达到减振的目的,防止地铁诱发的竖向振动激起结构的竖向一阶低频共振,避免振动及振动二次噪音超标。

[0046] 在本具体实施方式中,所述竖向TMD减振装置7包括质量块71、液体粘滞阻尼器72、螺旋钢弹簧73、连接板74、钢丝束75、上固定螺栓76和下固定螺栓77;该质量块71的重量为1-5吨,占用的体积为 $0.1-0.6\text{m}^3$ ;该连接板74通过定位螺栓分别与第一楼板4和第二楼板6连接;至少两条所述液体粘滞阻尼器72连接在所述质量块71和连接板74之间,作为系统耗散振动能量的结构;至少两条所述螺旋钢弹簧73连接在所述质量块71和连接板74之间,可以提供系统的竖向刚度和弹性恢复力;所述上固定螺栓76和下固定螺栓77分别设于所述连接板74和质量块71上;所述钢丝束75的两端分别与所述上固定螺栓76和下固定螺栓77连接且位于所述质量块71和连接板74之间,有助于保证质量块71不会发生过大的位移或者掉下来,保证连接的稳定可靠性,进而保证住宅用户的安全。通过质量块71、液体粘滞阻尼器72、螺旋钢弹簧73、连接板74、钢丝束75、上固定螺栓76和下固定螺栓77相结合,形成竖向TMD减振装置7,能够有效地减少上部结构9低频的振动,特别是地铁振动波在0-30Hz频带范围内的振动成分,抑制上部结构9的低频振动,达到减振的目的,防止轨道交通诱发的竖向振动激起结构的竖向一阶低频共振,避免振动及振动二次噪音超标。当然,竖向TMD减振装置7也可以为单频带减振TMD装置、多频带减振TMD装置和混合减振的STMD装置等。

[0047] 具体的,液体粘滞阻尼器72的数量具有2个,螺旋钢弹簧73的数量具有3个,通过3个螺旋钢弹簧73和2个液体粘滞阻尼器72实现结构与质量块71连接,3个螺旋钢弹簧73通过设计刚度要求实现不同的刚度取值,可以实现竖向的变形提供弹性的恢复力,保证竖向的变形和恢复。2个液体粘滞阻尼器72则是耗散竖向TMD减振装置7的变形能力,实现竖向减振耗能的目的。

[0048] 为了加强该可减少地铁振动的既有建筑减振结构的支撑稳定性,所述第一支撑结构3的左右宽度大于所述第二支撑结构5的左右宽度,支撑稳定性更好。

[0049] 在本具体实施方式中,所述第一支撑结构3和第二支撑结构5上均设有横向TMD减振装置8。所述竖向TMD减振装置7与所述横向TMD减振装置8是相同的结构,横向TMD减振装置8设置在第一支撑结构3和第二支撑结构5上。通过在第一支撑结构3和第二支撑结构5上设置横向TMD减振装置8,能够有效地减少上部结构9低频的振动,特别是地铁振动波在0-30Hz频带范围内的振动成分,对水平方向的低频振动起到良好的抑制作用,达到减振的目的。

[0050] 本发明还提供一种可减少地铁振动的既有建筑减振结构的设计方法,用于施工形成如上述所述的可减少地铁振动的既有建筑减振结构,所述设计方法包括如下步骤:

[0051] 在S1步骤之前,先利用BIM技术和有限元分析技术对待施工的地跌环境建立模型;先根据对待施工的地跌环境建立底板层、第一支撑结构、第一楼板、第二支撑结构、第二楼板的模型,再根据以下步骤对减振加强层、竖向TMD减振装置进行设计。

[0052] S1.对减振加强层的各层进行厚度进行设计;具体的,对减振加强层的厚度进行设计,主要对减振加强层的三层介质层的厚度进行确定。当然,可先在优选厚度范围内选择厚度。

[0053] S2.减振加强层的各层进行刚度进行设计,确定设计的减振加强层;具体的,主要对减振加强层的三层介质层的刚度确定,不同刚度的三层介质层可使减振加强层形成明显的刚度变化,通过对减振加强层的各层的刚度进行确定,进而确定设计的减振加强层。

[0054] S3.判断高频成分经过上述设计的减振加强层是否满足减振效果;

[0055] 若是,则执行S4步骤;

[0056] 若否,则重新执行S1步骤;

[0057] 在S3步骤中,高频成分主要指50-100Hz以上的高频成分。

[0058] S4.确定竖向TMD减振装置的减振频率点;具体的,通过有限元模拟分析,确定设置三维减振隔振层的三维隔振支座的竖向一阶振动频率 $f_{结}$ ,一般来说结构的一阶竖向振动频率点即为竖向TMD减振装置的竖向减振频率点。当然,若需要也可以额外设置二阶竖向振动频带点的竖向TMD减振装置。

[0059] S5.根据上述的减振频率点,确定单个竖向TMD减振装置的设计参数,其中,设计参数包括竖向TMD减振装置的阻尼比、元频率、阻尼系数和竖向总弹簧刚度。

[0060] 在S5步骤中,首先优选确定TMD减振频率 $f_T$ ,一般地 $f_T=f_{结}$ ,或 $f_T$ 非常接近结构的竖向一阶振动频率 $f_{结}$ ;然后竖向TMD减振装置的质量为 $m_T$ ,取TMD减振装置的阻尼比为 $\delta_T=0.05$ ,竖向TMD减振装置的元频率 $\omega_T=2\pi f_T$ ,竖向TMD减振装置的阻尼系数 $CT=2m_T\omega_T\delta_T/1000$ ,T竖向TMD减振装置的竖向总弹簧刚度 $K_T=m_T\omega_T^2/1000$ ;根据上述步骤,确定单个竖向TMD减振装置的设计参数。

[0061] S6.布设竖向TMD减振装置的位置;根据振动分析的需要和结合有限元模型分析结果,在结构振动较为明显的地方,确定结构竖向加速度较大的位置布置竖向TMD减振装置,可有效减少结构振动。根据有限元加速度云图结果,找出结构振动加速度响应较为明显的位置,在振动加速度响应较大的位置布置竖向TMD减振装置。

[0062] S7.检验竖向TMD减振装置的位置是否满足设定的减振效果;

[0063] 若是,则结束,导出施工图纸;

[0064] 若否,则重新执行S4步骤。

[0065] 在S7步骤中,对比在具有减振加强层的基础上设置竖向TMD减振装置和不设置竖向TMD减振装置两种情况的竖向加速度响应,根据现有的环境振动舒适度评价规范中(GB 50868-2013建筑工程容许振动标准、GBT 50355-2018住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准)中的1/3倍频程限值和Z振级,确定减振效果是否满足要求。

[0066] 通过上述可减少地铁振动的既有建筑减振结构的设计方法,施工形成上述所述的可减少地铁振动的既有建筑减振结构,以减振加强层、竖向TMD减振装置联合应用,分频带减少地铁的振动波,使地铁的振动波得到有效地衰减,减少振动波传递至上部结构9,起到良好的减振作用,进而有效地减少该可减少地铁振动的既有建筑减振结构的竖向振动,达到减振的目的。

[0067] 以上所述仅是本申请的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本申请技术原理的前提下,还可以做出若干改进和替换,这些改进和替

换也应视为本申请的保护范围。

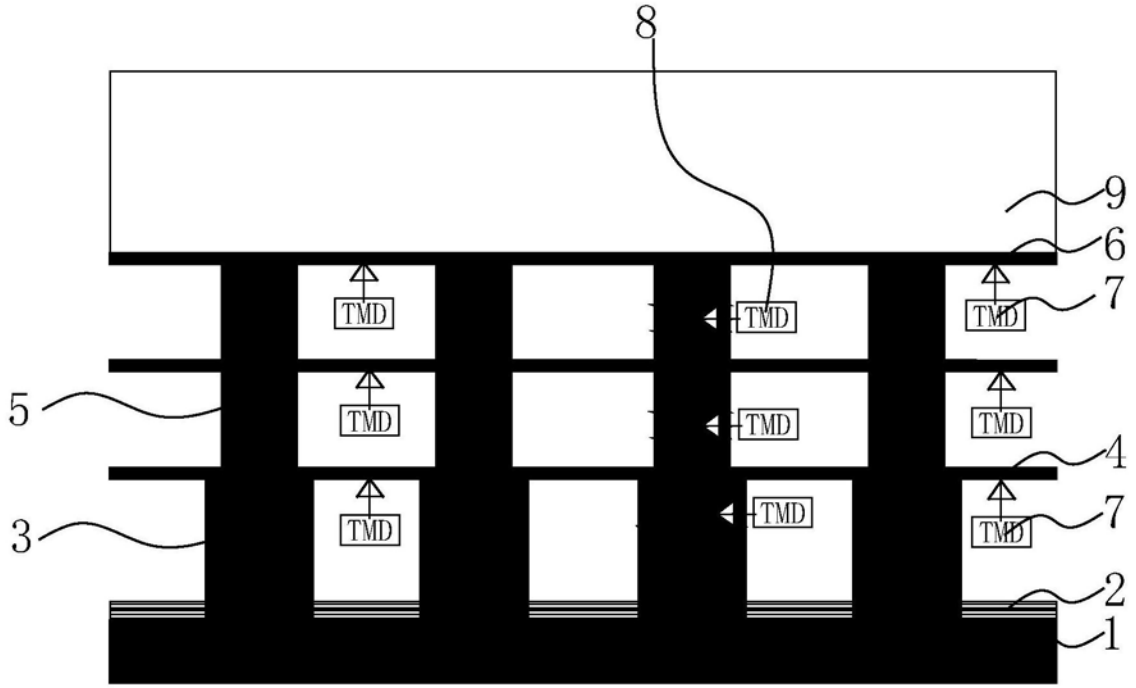


图1

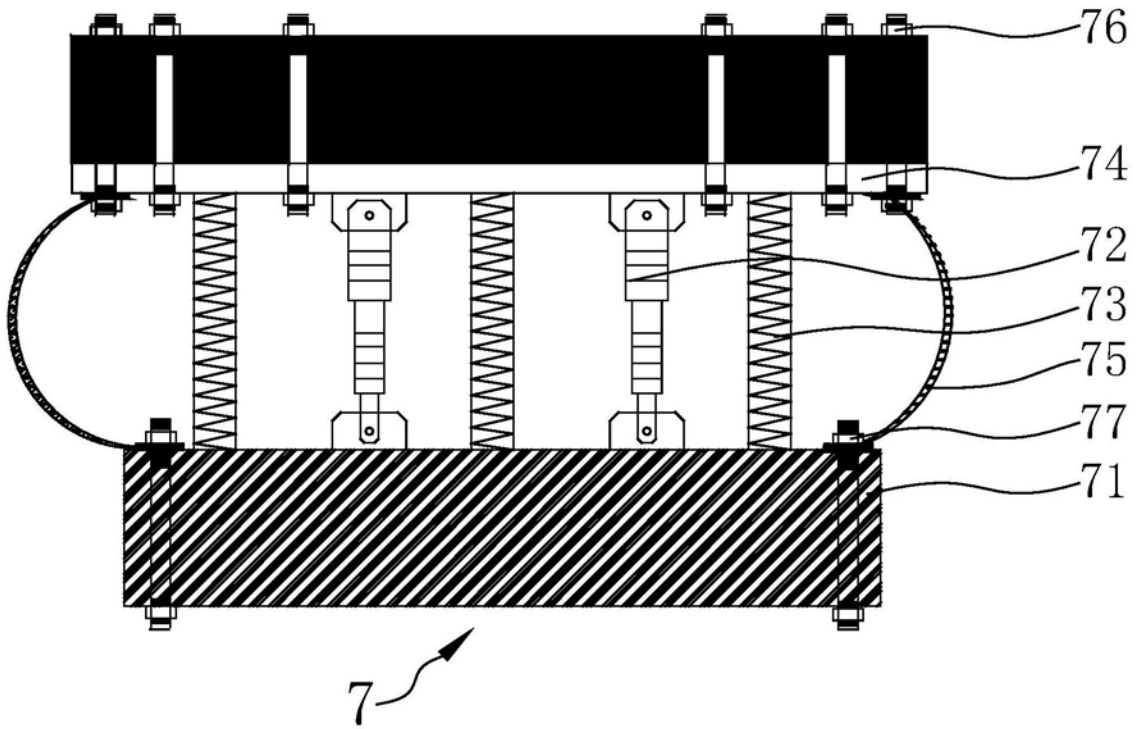


图2

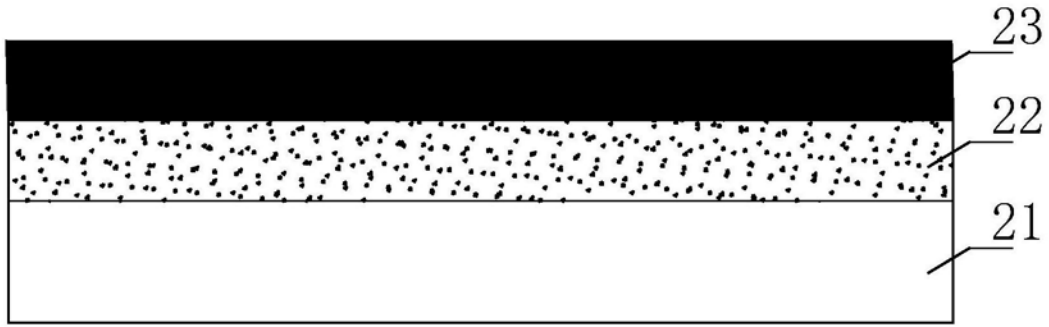


图3

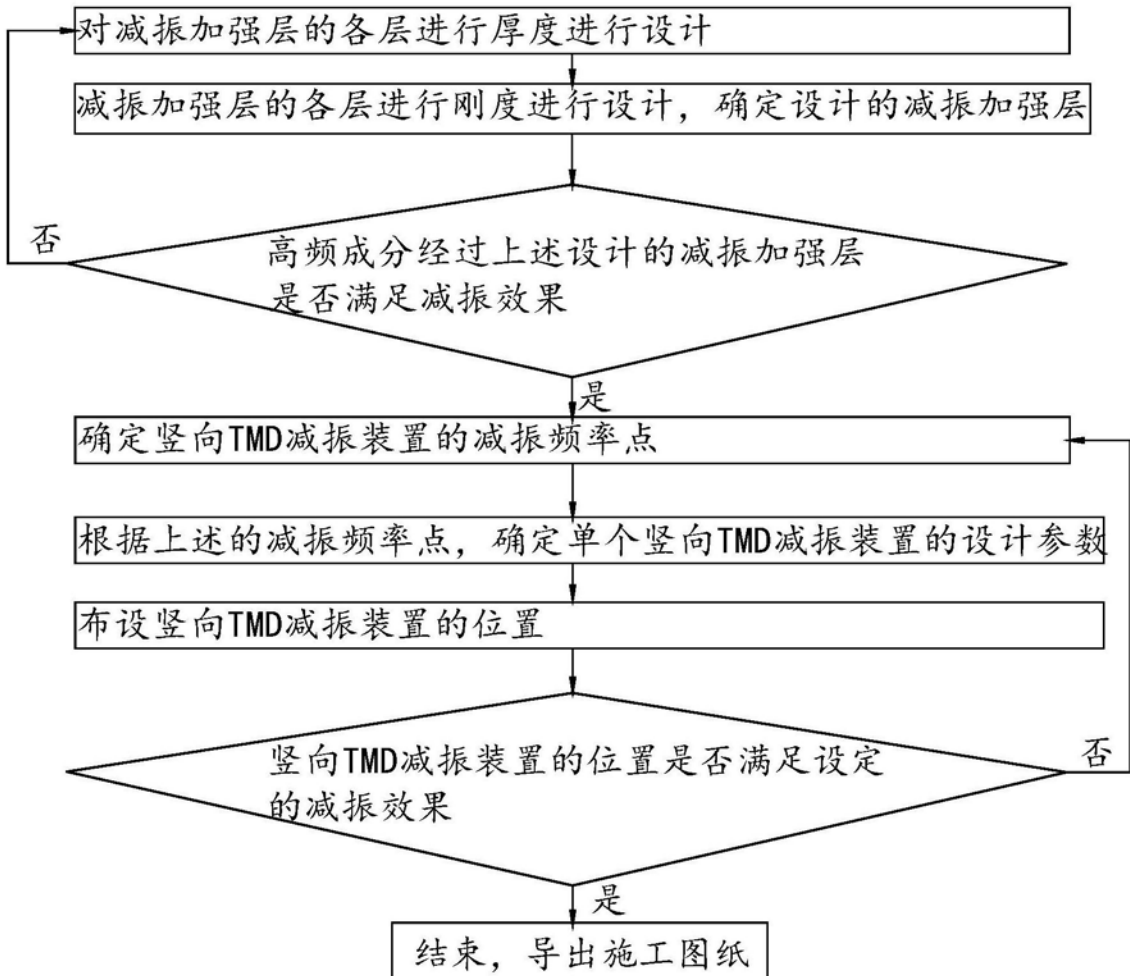


图4