



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113500920 B

(45) 授权公告日 2025. 03. 14

(21) 申请号 202110887108.7

(22) 申请日 2021.08.03

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113500920 A

(43) 申请公布日 2021.10.15

(73) 专利权人 西南交通大学
地址 610031 四川省成都市二环路北一段
111号

(72) 发明人 邓自刚 赵景忠 李海涛 张鹏辉

(74) 专利代理机构 北京集智东方知识产权代理
有限公司 11578
专利代理师 陈亚斌 关兆辉

(51) Int. Cl.
B60L 13/04 (2006.01)
F16F 15/03 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 215436015 U, 2022.01.07
余金波. 基于电磁分流阻尼器的高温超导磁
悬浮系统减振特性研究. 工程科技 II 辑. 2021,
(第7期), 13-51.

审查员 陈江兰

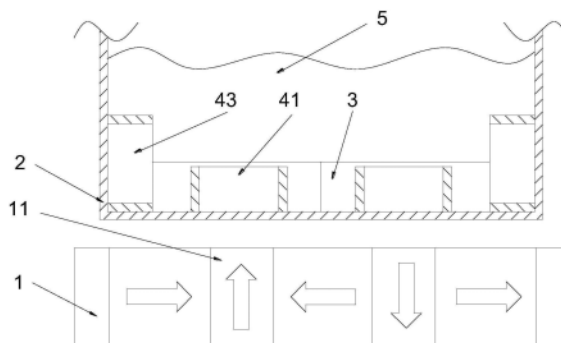
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

一种超导磁悬浮减震系统及其控制方法

(57) 摘要

本发明提供了一种超导磁悬浮减震系统及其控制方法, 涉及超导磁悬浮技术领域, 包括永磁轨道、悬浮杜瓦、超导体块和分流阻尼系统, 所述超导体块设置于所述悬浮杜瓦内, 所述超导体块在所述悬浮杜瓦提供的温度环境下, 与所述永磁轨道相斥为列车提供悬浮力; 以及所述分流阻尼系统设置于所述悬浮杜瓦的内壁上, 在列车运行时, 所述分流阻尼系统产生与所述永磁轨道的磁场相斥的感应磁场, 通过在悬浮杜瓦中设置竖向平稳组件, 通过电磁感应现象, 利用永磁轨道在竖直方向产生的磁场梯度, 减少列车竖向的振动, 提升车的动态稳定性, 提升使用本实施例列车的舒适性。



1. 一种超导磁悬浮减震系统的控制方法,其特征在于,包括:

实时获取列车的行驶速度、行驶状态和列车悬浮高度,所述行驶状态包括振动或平稳;

根据所述行驶速度,计算得到列车当前的速度状态,所述速度状态包括匀速行驶或非匀速行驶;

根据所述速度状态、所述行驶速度和所述列车悬浮高度,计算得到第一信息,所述第一信息包括第一开关(44)的开合状态、第二开关(45)的开合状态和第三开关(47)的开合状态;

发送第一控制命令,所述第一控制命令包括根据所述第一信息对超导磁悬浮减震系统内的开关进行开合的命令;

所述超导磁悬浮减震系统包括永磁轨道(1);悬浮杜瓦(2);超导体块(3),所述超导体块(3)设置于所述悬浮杜瓦(2)内,所述超导体块(3)在所述悬浮杜瓦(2)提供的温度环境下,与所述永磁轨道(1)相斥为列车提供悬浮力;以及分流阻尼系统,所述分流阻尼系统设置于所述悬浮杜瓦(2)内,所述分流阻尼系统设置于所述悬浮杜瓦(2)的内壁上,在列车处于振动工况时,所述分流阻尼系统产生与所述永磁轨道(1)的磁场相斥的感应磁场;所述分流阻尼系统包括至少一个竖向平稳组件,每个所述竖向平稳组件均包括第一阻尼体(41)和第一耗能电阻(42),所述第一耗能电阻(42)与所述第一阻尼体(41)电连接,所述第一阻尼体(41)和所述第一耗能电阻(42)均位于液氮(5)的液面之下,在列车运行时,所述第一阻尼体(41)切割永磁轨道(1)产生在竖直方向上的磁场分量;所述分流阻尼系统还包括第一开关(44)、第二开关(45)和电源(46),所述第一阻尼体(41)为线圈;所述电源(46)与所述第一开关(44)串联后,与所述第一阻尼体(41)并联;所述第一耗能电阻(42)与所述第二开关(45)串联后,与所述第一阻尼体(41)并联;竖向平稳组件还包括第三开关(47)和负载,所述第三开关(47)和所述负载串联后,与所述第一阻尼体(41)并联。

2. 根据权利要求1所述的超导磁悬浮减震系统的控制方法,其特征在于,实时获取列车的行驶速度,之前包括:

获取第二信息,所述第二信息包括悬浮系统刚度、悬浮系统磁场强度、列车质量、第一阻尼体(41)的电感值、第一阻尼体(41)的匝数、第一阻尼体(41)的单匝长度、第二阻尼体(43)的电感值、第二阻尼体(43)的匝数和第二阻尼体(43)的单匝长度;

根据第二信息计算,得到第三信息,所述第三信息包括第一耗能电阻(42)的电阻值和第二耗能电阻的电阻值;

发送第二控制命令,所述第二控制命令包括基于所述第三信息改变分流阻尼系统中所述第一耗能电阻(42)的电阻值和所述第二耗能电阻的电阻值的命令。

3. 根据权利要求1所述的超导磁悬浮减震系统的控制方法,其特征在于,所述根据所述速度状态、所述行驶速度和所述列车悬浮高度,计算得到第一信息,包括:

若所述列车悬浮高度小于第一阈值,则第一信息包括第一开关(44)闭合,第二开关(45)断开和第三开关(47)断开;

若所述行驶速度大于阈值且所述速度状态为匀速行驶,则第一信息包括所述第一开关(44)断开、所述第二开关(45)断开和所述第三开关(47)闭合;

若所述行驶状态为振动,则第一信息包括所述第一开关(44)断开、所述第二开关(45)闭合和所述第三开关(47)断开。

4. 根据权利要求1所述的超导磁悬浮减震系统的控制方法,其特征在于:所述永磁轨道(1)包括至少一个磁化方向为竖直方向的竖直永磁体(11),所述第一阻尼体(41)设置在所述竖直永磁体(11)的正上方。

5. 根据权利要求4所述的超导磁悬浮减震系统的控制方法,其特征在于:每个所述竖直永磁体(11)的正上方均设置有一个第一阻尼体(41)。

6. 根据权利要求1所述的超导磁悬浮减震系统的控制方法,其特征在于:所述第一阻尼体(41)靠近永磁轨道(1)的端面与所述超导体块(3)靠近永磁轨道(1)的端面位于同一水平高度上。

7. 根据权利要求1所述的超导磁悬浮减震系统的控制方法,其特征在于:所述分流阻尼系统至少一个滚振平稳组件,每个所述滚振平稳组件均包括第二阻尼体(43)和第二耗能电阻,所述第二耗能电阻与所述第二阻尼体(43)电连接,所述第二阻尼体(43)和所述第二耗能电阻均位于液氮(5)的液面之下,所述第二阻尼体(43)切割永磁轨道(1)产生在水平方向上的磁场分量。

一种超导磁悬浮减震系统及其控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及超导磁悬浮技术领域,具体而言,涉及一种超导磁悬浮减震系统及其控制方法。

背景技术

[0002] 随着超导技术的发展,以无摩擦、低能耗、低污染为主要特点的高温超导磁悬浮技术具有成为新型高速轨道交通运输方式的巨大潜力。悬浮系统作为高温超导磁悬浮系统的核心子系统,其性能表现决定了整车的性能。目前关于提高动态特性方面:主要针对列车。但是,主要就是在悬浮架和车体之间采用减振部件连接,如空气弹簧,但是其结构复杂不利于实际实施。

发明内容

[0003] 本发明的目的在于提供一种超导磁悬浮减震系统及其控制方法,以改善上述问题。为了实现上述目的,本发明采取的技术方案如下:

[0004] 一方面,本申请提供了一种超导磁悬浮减震系统,包括:永磁轨道、悬浮杜瓦、超导体块和分流阻尼系统,所述超导体块设置于所述悬浮杜瓦内,所述超导体块在所述悬浮杜瓦提供的温度环境下,与所述永磁轨道相斥为列车提供悬浮力;所述分流阻尼系统设置于所述悬浮杜瓦内,所述分流阻尼系统设置于所述悬浮杜瓦的内壁上,在列车处于振动工况时,所述分流阻尼系统产生与所述永磁轨道的磁场相斥的感应磁场。

[0005] 进一步地,所述分流阻尼系统包括至少一个竖向平稳组件,每个所述竖向平稳组件均包括第一阻尼体和第一耗能电阻,所述第一耗能电阻与所述第一阻尼体电连接,所述第一阻尼体和所述第一耗能电阻均位于液氮的液面之下,在列车运行时,所述第一阻尼体切割永磁轨道产生在竖直方向上的磁场分量。

[0006] 进一步地,所述分流阻尼系统还包括第一开关、第二开关和电源,所述第一阻尼体为线圈;所述电源与所述第一开关串联后,与所述第一阻尼体并联;所述第一耗能电阻与所述第二开关串联后,与所述第一阻尼体并联。

[0007] 进一步地,所述永磁轨道包括至少一个磁化方向为竖直方向的竖直永磁体,所述第一阻尼体设置在所述竖直永磁体的正上方。

[0008] 进一步地,每个所述竖直永磁体的正上方均设置有一个第一阻尼体。

[0009] 进一步地,所述第一阻尼体靠近永磁轨道的端面与所述超导体块靠近永磁轨道的端面位于同一水平高度上。

[0010] 进一步地,所述分流阻尼系统至少一个滚振平稳组件,每个所述滚振平稳组件均包括第二阻尼体和第二耗能电阻,所述第二耗能电阻与所述第二阻尼体电连接,所述第二阻尼体和所述第二耗能电阻均位于液氮的液面之下,所述第二阻尼体切割永磁轨道产生在水平方向上的磁场分量。

[0011] 另一方面,本申请还提供了一种超导磁悬浮减震系统的控制方法,包括:

[0012] 实时获取列车的行驶速度、行驶状态和列车悬浮高度,所述行驶状态包括振动或平稳;

[0013] 根据所述行驶速度,计算得到列车当前的速度状态,所述速度状态包括匀速行驶或非匀速行驶;

[0014] 根据所述速度状态、所述行驶速度和所述列车悬浮高度,计算得到第一信息,所述第一信息包括第一开关的开合状态、第二开关的开合状态和第三开关的开合状态;

[0015] 发送第一控制命令,所述第一控制命令包括根据所述第一信息对超导磁悬浮减震系统内的开关进行开合的命令。

[0016] 进一步地,所述实时获取行驶速度,之前包括:

[0017] 获取第二信息,所述第二信息包括悬浮系统刚度、悬浮系统磁场强度、列车质量、第一阻尼体的电感值、第一阻尼体的匝数、第一阻尼体的单匝长度、第二阻尼体的电感值、第二阻尼体的匝数和第二阻尼体的单匝长度;

[0018] 根据第二信息计算,得到第三信息,所述第三信息包括所述第一耗能电阻的电阻值和所述第二耗能电阻的电阻值;

[0019] 发送第二控制命令,所述第二控制命令包括基于所述第三信息改变分流阻尼系统中所述第一耗能电阻的电阻值和所述第二耗能电阻的电阻值的命令。

[0020] 进一步地,所述根据所述速度状态、所述行驶速度和所述列车悬浮高度,计算得到第一信息,包括:

[0021] 若所述列车悬浮高度小于第一阈值,则第一信息包括第一开关闭合,第二开关断开和第三开关断开;

[0022] 若所述行驶速度大于阈值且所述速度状态为匀速行驶,则第一信息包括所述第一开关断开、所述第二开关断开和所述第三开关闭合;

[0023] 若所述行驶状态为振动,则第一信息包括所述第一开关断开、所述第二开关闭合和所述第三开关断开。

[0024] 本发明的有益效果为:

[0025] 本发明通过,通过在悬浮柱瓦中设置竖向平稳组件切割永磁轨道在竖直方向产生的磁场分量,减少列车在竖向的振动,提升列车的动态稳定性,提升使用本实施例列车的舒适性,通过在竖向平衡组件加入电源,通过电生磁,在悬浮力不足时,产生于永磁轨道相斥的磁场,以此提供悬浮力补偿由于车载超导磁体内部出现交流损耗导致悬浮力减小,提升使用本申请列车的安全性能。

[0026] 本发明的其他特征和优点将在随后的说明书阐述,并且,部分地从说明书中变得显而易见,或者通过实施本发明实施例了解。本发明的目的和其他优点可通过在所写的说明书、权利要求书、以及附图中所特别指出的结构来实现和获得。

附图说明

[0027] 为了更清楚地说明本发明实施例的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,应当理解,以下附图仅示出了本发明的某些实施例,因此不应被看作是对范围的限定,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他相关的附图。

[0028] 图1为本申请中所述超导磁悬浮减震系统的结构示意图；

[0029] 图2为本申请中所述悬浮杜瓦的结构示意图；

[0030] 图3为本申请中所述竖向平稳组件的电路连接示意图。

[0031] 图中标记:1、永磁轨道;11、竖直永磁体;2、悬浮杜瓦;3、超导体块;41、第一阻尼体;42、第一耗能电阻;43、第二阻尼体;44、第一开关;45、第二开关;46、电源;47、第三开关;5、液氮。

具体实施方式

[0032] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。通常在此处附图中描述和示出的本发明实施例的组件可以以各种不同的配置来布置和设计。因此,以下对在附图中提供的本发明的实施例的详细描述并非旨在限制要求保护的本发明的范围,而是仅仅表示本发明的选定实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0033] 应注意到:相似的标号和字母在下面的附图中表示类似项,因此,一旦某一项在一个附图中被定义,则在随后的附图中不需要对其进行进一步定义和解释。同时,在本发明的描述中,术语“第一”、“第二”等仅用于区分描述,而不能理解为指示或暗示相对重要性。

[0034] 随着磁悬浮技术的进一步发展,集诸多优势于一身的高温超导磁悬浮技术得到了良好发展,需要说明的是,高温即为液氮5环境,针对高温超导磁悬浮车系统应用的研究越来越丰富,然而,以往的研究表明,悬浮系统的阻尼较低,在外界干扰下容易发生大幅度的非线性振动。随着研究的进一步深入和中远距离试验线的建成,在运动情况下特别是高速运行工况下,类似于铁路等传统轨道交通,超导磁悬浮系统中使用的永磁轨道1也存在轨道不平顺的问题,这种轨道不平顺将会极大地影响列车运行的平稳性。同时,轨道不平顺将直接导致轨道表面磁场沿运行方向不均匀,运行于永磁轨道1上方的磁悬浮车将不可避免地经历不规则变化的磁场,导致车载超导磁体内部出现交流损耗乃至内部温升现象,导致列车悬浮力减小,造成列车悬浮高度下降,影响行车安全;并且永磁体磁化不均(充磁的理论误差 $\pm 1\%$)及表面剥离,接头缝隙、错位等装配误差,运行在永磁轨道1上方的高温超导磁悬浮列车高速运行时便会经历高频的交变磁场激励。由此引起超导体块3内部捕获磁通流动和蠕动,导致出现以磁滞损耗为主、涡流损耗次之的能量损耗的情况,带来磁滞将会产生的阻尼,进而无法满足磁悬浮车辆工程化应用的乘坐舒适性要求。基于上述情况,针对悬浮系统悬浮力减小及容易发生振动的情况,本申请提供如下实施例达到改善系统的动态特性。

[0035] 如图1所示,本实施例中提供了一种超导磁悬浮减震系统。

[0036] 参见图1,图中示出了本实施例包括永磁轨道1、悬浮杜瓦2、超导体块3以及分流阻尼系统。其中在本实施例中采用的永磁轨道1为采用Ha 1 bach阵列结构,其中永磁轨道1包括至少一个磁化方向为竖直方向的竖直永磁体11,可以将更多的磁场聚集在轨道上方,为超导体块3提供更大的磁场,同时可以为分流阻尼系统提供需要的磁场。采用的超导体块3为YBCO高温超导材料制成。具体而言,在本实施例中,超导体块3设置于悬浮杜瓦2内,超导

体块3在悬浮杜瓦2提供的温度环境下,与永磁轨道1相斥为列车提供悬浮力,具体而言,上述超导体块3设置在悬浮杜瓦2的底壁之上;以及分流阻尼系统设置于悬浮杜瓦2内,分流阻尼系统设置于悬浮杜瓦2的内壁上,在列车处于振动工况时,由于分流阻尼系统设置在列车之上,伴随着列车运动而运动,当列车处于振动工况时,即遇到磁场不顺时,磁场发生变化时,分流阻尼系统也会切割不均匀的磁场,进而造成分流阻尼系统磁通量的改变,使得分流阻尼系统产生阻碍永磁轨道1的磁场变化的感应磁场,即产生与永磁轨道1的磁场相斥的感应磁场,减缓永磁轨道1的磁场不均匀性带来的阻尼,提升乘坐舒适性。

[0037] 具体而言,参见图1,在本实施例中,分流阻尼系统包括至少一个竖向平稳组件。需要说明的是,竖向平稳组件的具体数量选择是根据实际情况进行选择,其选择数量是根据永磁轨道1的宽度以及列车的长度确定,所以在本实施例中,不对竖向平稳组件的数量做出具体的限制。其中在本实施例中,每个竖向平稳组件均包括第一阻尼体41和第一耗能电阻42(图中未示出),具体而言,在本实施例中第一阻尼体41优选为线圈,具体而言优选为漆包线绕成,导电率高,缠绕紧密平整,在与永磁轨道1的相互作用中可以较好地受力;在本实施例中,第一耗能电阻42与第一阻尼体41电连接,第一阻尼体41和第一耗能电阻42均位于液氮5的液面之下,在列车处于振动工况时,第一阻尼体41切割永磁轨道1产生在竖直方向上的磁场分量。

[0038] 通过以上技术方案,则构成了线圈-第一耗能电阻42电路,悬浮于永磁轨道1上方的列车在运行经过永磁轨道1的磁场变化区域时,列车相对于轨道的位置就会发生变化。这种情况下线圈也处于一个变化的磁场中,并发生磁生电现象,线圈就是充当了“发电机”的角色,当感应电流产生时,由于系统只有线圈自身的电阻,且电阻有限,因此电流无法被有效消耗,一直存在与电路中,当外接有第一耗能电阻42时,每一次运动产生的电能都可以被第一耗能电阻42有效转化为热能,能量的转化效率得到了提升,所以,每一次线圈切割变化磁场的运动能量在宏观上都表现为被缓解了,运动的能量得到了高效转化,磁滞将会产生的阻尼运动就会表现得十分“轻缓”。

[0039] 但是由于上述的设置还未能解决,由于轨道不平顺将直接导致轨道表面磁场沿运行方向不均匀,运行于永磁轨道1上方的浮车将不可避免地经历不规则变化的磁场,导致车载超导磁体内部出现交流损耗乃至内部温升现象,导致列车悬浮力减小,造成列车悬浮高度下降,影响行车安全的问题,所以在本实施例中,参见图3,分流阻尼系统还包括第一开关44、第二开关45和电源46,第一阻尼体41为线圈;电源46与第一开关44串联后,与第一阻尼体41并联;第一耗能电阻42与第二开关45串联后,与第一阻尼体41并联。

[0040] 通过以上设置,第一开关44和第二开关45可以分别控制第一阻尼体41是与第一耗能组件连接还是和电源46连接,当线圈外接电源46时,由于电流的磁效应,就可以激发出一个磁场,产生的磁场与感应线圈的匝数,通电电流大小及该点到线圈的距离相关。这种情况下,本实施例中通过电生磁,磁场和磁场作用的关系就可以获得需要的电磁力。产生的电磁力可以作用于高温超导磁悬浮系统,起到悬浮力的作用,提升系统的悬浮性能。相比现有技术抑制超导体块3高度下降的方法,虽然有效地抑制转子高度下降问题,但只能减缓悬浮力减小的趋势,而本实施例通过根据列车的实际情况,可以选择补偿悬浮力或者减缓列车振动,即选着线圈不同的外接电路,可以根据需求在稳定列车的运行高度和确保舒适性上进行选择,提升使用本实施例的列车的安全性能和舒适性。

[0041] 而在本实施例中,通过将线圈引入超导磁悬浮系统,可以使得超导悬浮系统发挥出更大的悬浮性能,并且为了提升第一阻尼体41产生的磁场发挥出最大能效,在本实施例中,第一阻尼体41被设置在竖直永磁体11的正上方。通过以上设置可以实现线圈与永磁轨道1作用力最大。并且为了充分利用每个竖直永磁体11,在本实施例中,每个竖直永磁体11的正上方均设置有一个第一阻尼体41。通过以上设置,与Halbach阵列结构的永磁轨道1配合,其竖直永磁体11上方的磁场较大,在竖直磁化方向的竖直永磁体11的上方有较大磁场可以与第一阻尼体41产生的磁场相互作用形成更大的排斥力,以此达到最大化提高分流阻尼系统的悬浮力。同时,第一阻尼体41产生的电磁力与超导体块3和永磁轨道1的作用力相似,同属于非接触力,在作用特性上会有很多相似性。

[0042] 进一步地,为了提升第一阻尼体41产生的磁场发挥出最大能效,在本实施例中,第一阻尼体41靠近永磁轨道1的端面与超导体块3靠近永磁轨道1的端面位于同一水平高度上,换言之,由于第一阻尼体41和超导体块3放置在同一平面,超导体块3的工作高度和载流线圈的工作高度一样,根据毕奥-萨法尔定律可以得知,电流元在空间中某点处产生的磁感应强度B的大小与电流元到该点距离的平方成反比,因此,当超导体块3达到最大悬浮力的时候,第一阻尼体41与永磁轨道1产生的排斥力值也将达到最大值。此外,第一阻尼体41和超导体块3同处于液氮5环境,第一阻尼体41的电阻值会较室温下的电阻值更小,因此第一阻尼体41产生的焦耳热也会变得更小,对于相同电流强度下,由于第一阻尼体41产热而造成的液氮5消耗也会减小。并且由于第一阻尼体41和超导体块3处于同一高度,这样可以使第一阻尼体41最大化地靠近永磁轨道1表面,第一阻尼体41和超导体块3同处于液氮5环境,第一阻尼体41的电阻会较常温下降低更多,可以采用相对于常温状态下更细的线径。因此,对于相同体积的第一阻尼体41,处于液氮5环境的第一阻尼体41可以拥有更多的匝数,从而获得更大的磁场利用效率,产生更大的阻尼。

[0043] 通过以上设置,进行悬浮力补偿以及减震的实现均是由第一阻尼体41实现,所以在本实施例中,在进行两个功能实现时候,不需要重新设计第一阻尼体41的位置或者对其位置进行移动,只需要通过本实施例中第一开关44以及第二开关45实现。并且由于第一阻尼体41和磁场实现共用悬浮力补偿以及减震,这也极大地简化了本实施例结构形式,减少了系统复杂性同时在实际情况中增加了可操作性。

[0044] 综上,将线圈引入超导磁悬浮系统,不会将系统复杂化,反而让轨道的磁场被充分利用,同时超导磁悬浮系统的液氮5环境也可以使线圈的电阻更低,产热更小。

[0045] 由于上述设置的第一阻尼体41,并不能较好地处理当列车发生滚振现象。其由于第一阻尼体41只能切割垂直于永磁轨道1的磁场分量,并不能处理平行于永磁轨道1的磁场分量,所以在列车发生滚振现象时候,并不能减缓磁场带来的水平方向的分力。针对以上问题,在本实施例中,分流阻尼系统至少一个滚振平稳组件,具体而言,滚振平稳组件的数量选择根据滚振平稳组件的安装位置以及列车的长度所确定,参见图2,在本实施例中,滚振平稳组件设置于悬浮杜瓦2的侧壁上,并且了为了最大化利用永磁轨道1在水平方向的分量,滚振平稳组件至少有两个,并分别设置于悬浮杜瓦2的侧壁之上,并且每个滚振平稳组件均包括第二阻尼体43和第二耗能电阻(图中未示出),第二耗能电阻与第二阻尼体43电连接,第二阻尼体43和第二耗能电阻均位于液氮5的液面之下,第二阻尼体43切割永磁轨道1产生在水平方向上的磁场分量。通过以上设置,第二阻尼体43切合切割永磁轨道1产生在水

平方向上的磁场分量,当永磁轨道1的磁场发生变化时,那么第二阻尼体43将会实现与第一阻尼体41相同的功能,本申请中不在赘述。

[0046] 本实施例中,通过在悬浮柱瓦2中设置竖向平稳组件切割永磁轨道1在竖直方向产生的磁场分量,减少列车在竖向的振动,通过设置滚振平稳组件切割永磁轨道1在水平方向产生的磁场分量,减少列车在水平的振动,以此达到稳固列车的目的,提升使用本实施例列车的舒适性,通过在竖向平衡组件加入电源46,通过电生磁,产生于永磁轨道1相斥的磁场,以此提供悬浮力补偿由于车载超导磁体内部出现交流损耗导致减小的悬浮力,提升使用本实施例列车的安全性能。

[0047] 实施例2:

[0048] 本实施中提供了一种使用实施例1的超导磁悬浮减震系统的方法,使用了实施例1的超导磁悬浮减震系统。

[0049] 并且,在本实施例中,竖向平稳组件还包括第三开关47和负载,具体而言,在本实施例中,负载是指的用电设备,包括但不限于蓄电池、空调、照明系统以及空气净化系统等。

[0050] 具体而言,在本实施例中,包括步骤S100、步骤S200、步骤S300、步骤S400、步骤S500、步骤S600和步骤S700。

[0051] S100、获取第二信息,第二信息包括悬浮系统刚度、悬浮系统磁场强度、列车质量、第一阻尼体41的电感值、第一阻尼体41的匝数、第一阻尼体41的单匝长度、第二阻尼体43的电感值、第二阻尼体43的匝数和第二阻尼体43的单匝长度;

[0052] S200、根据第二信息计算,得到第三信息,第三信息包括第一耗能电阻42的电阻值和第二耗能电阻的电阻值;

[0053] 需要说明的是,由于第一阻尼体41与第一耗能电阻42构成电路以及第二阻尼体43与第二耗能电阻构成电路,当列车的质量一定时,电路的电阻将直接决定系统的阻尼效果。电阻值过小,电能不能被有效消耗掉,造成减震效果不明显;电阻值过大,电路相当于开路状态,无法进行减震。因此,确定第一耗能电阻42和第二耗能电阻的阻值是尤为重要的。

[0054] 其中,第一耗能电阻42和第二耗能电阻的最优电阻值通过如下公式计算:

$$[0055] \quad R_{opt} = \sqrt{\frac{2kL + \phi}{2mL}} * L$$

[0056] 式中, R_{opt} 为最优电阻值,k为磁悬浮系统刚度,L为电感值,m为列车质量, ϕ 为磁通量。

[0057] 其中, ϕ 与线圈匝数,永磁轨道1磁场强度以及线圈的单匝长度有关,并且其计算公式为现有技术,本申请中不再赘述。

[0058] S300、发送第二控制命令,第二控制命令包括基于第三信息改变分流阻尼系统中第一耗能电阻42的电阻值和第二耗能电阻的电阻值的命令。

[0059] S400、实时获取列车的行驶速度、行驶状态和列车悬浮高度,所述行驶状态包括振动或平稳;

[0060] 需要说明说,对于本领域技术人员,在本步骤中获取的列车悬浮高度可以另选为列车底部距离轨道的距离,其主要目的为判断列车的高度是否下降。

[0061] S500、根据所述行驶速度,计算得到列车当前的速度状态,所述速度状态包括匀速

行驶或非匀速行驶；

[0062] S600、根据所述速度状态、所述行驶速度和所述列车悬浮高度，计算得到第一信息，第一信息包括第一开关44的开合状态、第二开关45的开合状态和第三开关47的开合状态；

[0063] 具体而言，在S600步骤中还包括步骤S610、S620和S630。

[0064] S610、若列车悬浮高度小于第一阈值，则第一信息包括第一开关44闭合，第二开关45断开和第三开关47断开。

[0065] 需要说明是的，通过上述的逻辑判断，当列车悬浮高度低于阈值时，其超导体可能发生自身过热，悬浮力已经开始有减小的趋势，若是列车持续运行，其整个列车的安全性将无法得到保证，所以当列车悬浮高度小于第一阈值时，就可以开启分流阻尼系统的悬浮力补偿功能，以减少列车发生危险的可能性。需要说明的是，在本实施例第一阈值为10mm。

[0066] S620、若列车悬浮高度大于第一阈值且速度大于第二阈值且行驶状态为匀速行驶，则第一信息包括第一开关44断开、第二开关45断开和第三开关47闭合；

[0067] 需要说明是的，由于在列车在运行时，即第二阈值为450km/h，第一阻尼体41将切割竖直方向的磁场分量，伴随着列车运行速度的提升，其永磁轨道1产生的不均匀的磁场对于第一阻尼体41激励产生的电流频率将提升，并且伴随着激励电流的频率增大，电磁线圈产生的感应电流最大值，先增大而后逐渐趋于稳定，同时感应电流强度数值可观，所以在本实施例，通过改变第一阻尼体41产生的电流输入区域，不再由第一耗能电阻42消耗，转而提供给负载，可以有效利用不平顺的磁场进行能量回收，提升能量转化效率。

[0068] S620、若所述行驶状态为振动，则第一信息包括第一开关44断开、第二开关45闭合和第三开关47断开；

[0069] 可以理解是，在本步骤中即为当列车非匀速行驶时，通过第一耗能电阻42以及第二耗能电阻进行减震。在实际运行中，非匀速行驶时，磁场对第一阻尼体41的电磁激励不稳定，电流大小不稳定，若是再接入负载其会造成电阻值过大，电路相当于开路状态，无法进行减震。

[0070] S700、发送第一控制命令，第一控制命令包括根据第一信息对超导磁悬浮减震系统内的开关进行开合的命令。

[0071] 综上，本实施例中通过利用实施例1的磁悬浮减震系统，可以有效实现磁悬浮列车的减震、悬浮力补偿以及能量回收。在提高动态稳定性同时还能提升列车的安全性能。

[0072] 以上仅为本发明的优选实施例而已，并不用于限制本发明，对于本领域的技术人员来说，本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

[0073] 以上，仅为本发明的具体实施方式，但本发明的保护范围并不局限于此，任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内，可轻易想到变化或替换，都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此，本发明的保护范围应以权利要求的保护范围为准。

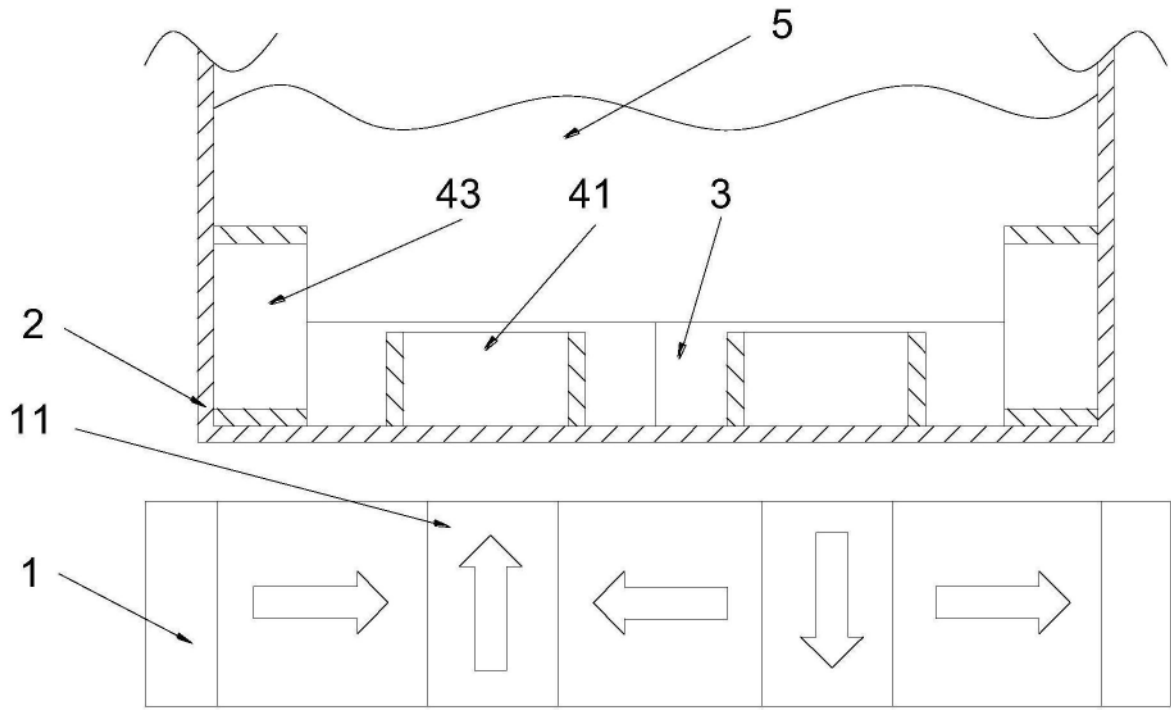


图1

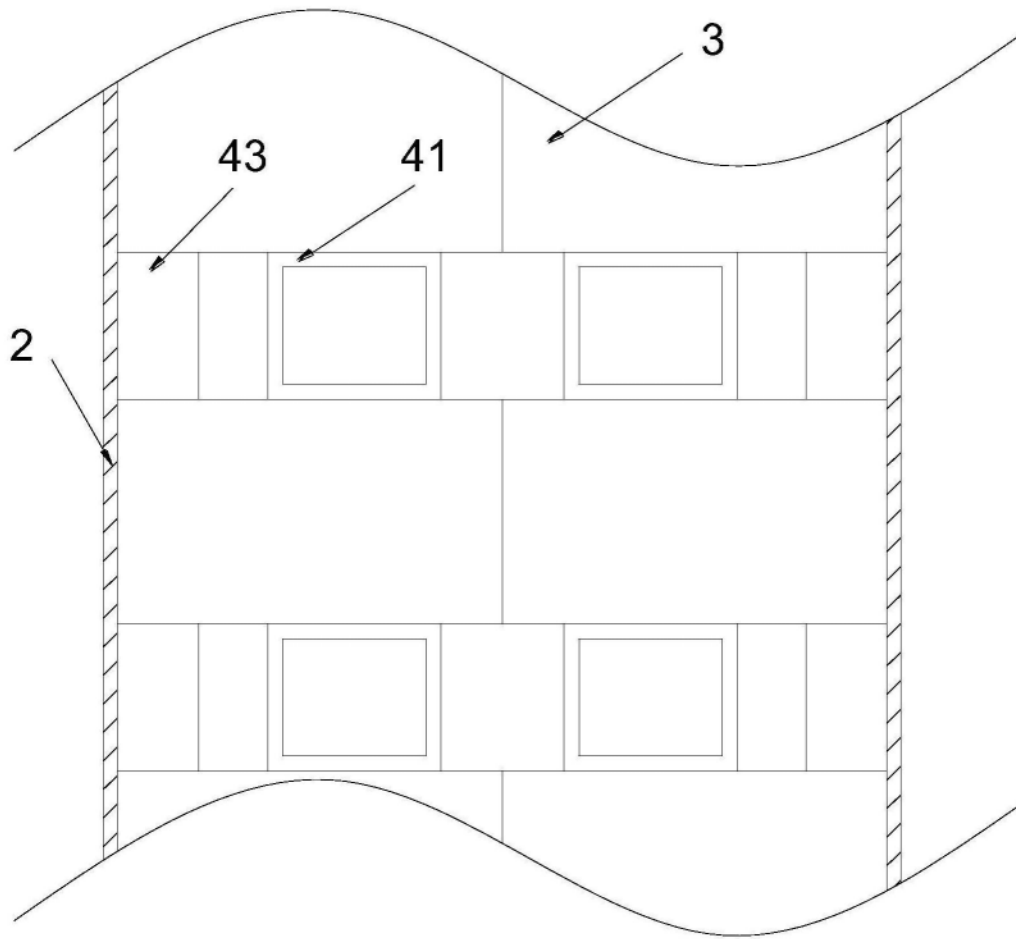


图2

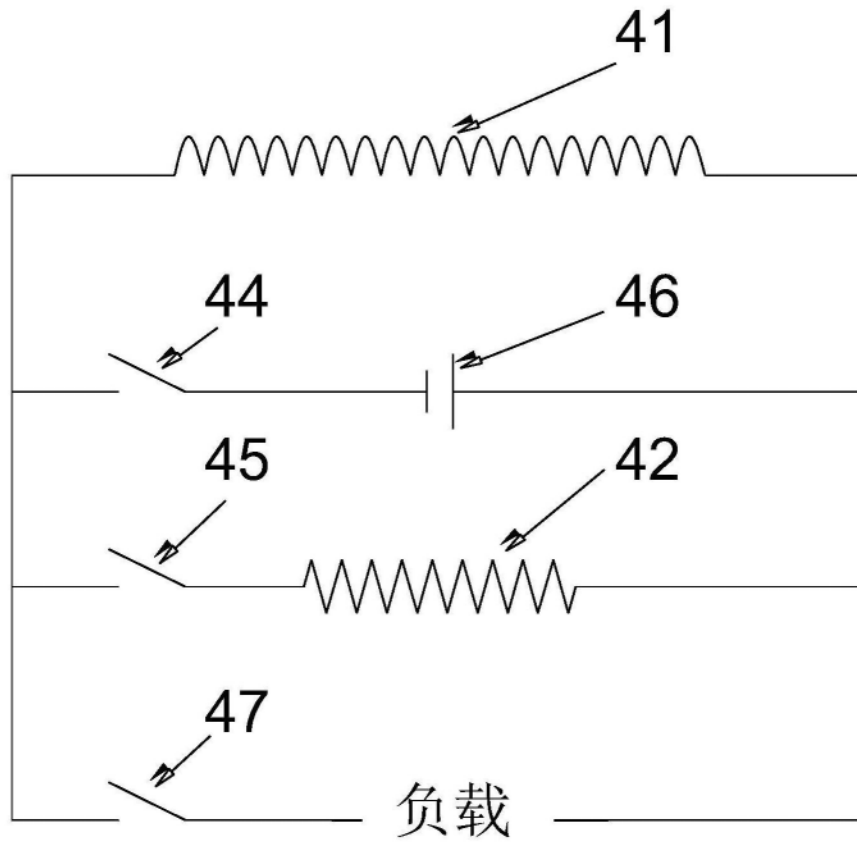


图3