



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109094422 B

(45)授权公告日 2020.04.07

(21)申请号 201810884767.3

B61B 13/08(2006.01)

(22)申请日 2018.08.06

(56)对比文件

CN 1431117 A, 2003.07.23,

CN 101134440 A, 2008.03.05,

CN 1861444 A, 2006.11.15,

CN 1833907 A, 2006.09.20,

WO 2017205546 A1, 2017.11.30,

JP S61128706 A, 1986.06.16,

审查员 康娜

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109094422 A

(43)申请公布日 2018.12.28

(73)专利权人 江西理工大学

地址 341000 江西省赣州市章贡区红旗大道86号

(72)发明人 杨斌 杨杰 张振利 胡海林
石恒

(74)专利代理机构 北京德崇智捷知识产权代理
有限公司 11467

代理人 黄雪

(51)Int.Cl.

B60L 13/04(2006.01)

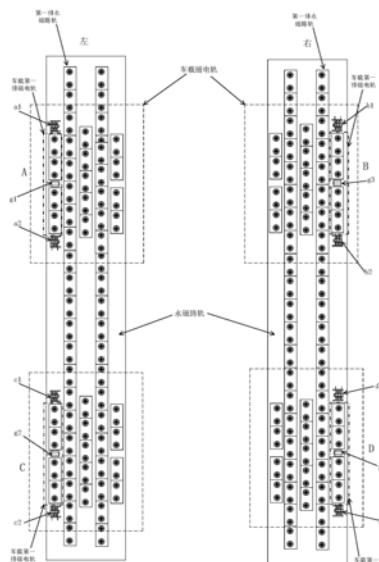
权利要求书3页 说明书10页 附图10页

(54)发明名称

悬挂式轨道交通设备以及其中的磁电混合
悬浮轨系统

(57)摘要

一种悬挂式轨道交通设备以及其中的磁电混合悬浮轨系统，包括控制单元、路轨和车载磁电轨。所述车载磁电轨，包括至少两列沿所述轿厢的运行方向排列的车载永磁体阵列、电磁铁以及距离传感器；所述路轨，包括有路轨永磁体阵列，所述路轨永磁体阵列与所述车载永磁体阵列间隔交错，通过互斥的磁极使所述路轨和车载磁电轨实现自稳。同时，所述距离传感器、控制单元和电磁铁形成闭环控制系统，其中的控制单元通过距离传感器的数据控制电磁铁中的励磁电流的大小，使所述励磁电流激发磁场保持所述路轨永磁体阵列与所述车载永磁体阵列不接触，以实现悬停。本发明悬停刚度大，路轨和车载磁电轨构成自稳的系统，载重时振动小。



1. 一种悬挂式轨道交通设备，包括支撑结构(1)；
 悬挂天梁(2)，由所述支撑结构支撑在空中；
 轿厢(3)；
 转向架(4)，所述转向架的第一端设置于所述悬挂天梁内，所述转向架的第二端连接所述轿厢；
 控制单元(5)，用于控制所述轿厢沿所述悬挂天梁运行；
 其特征在于，
 所述悬挂天梁的内壁设有路轨(21)；
 所述转向架的表面，与所述路轨相对的位置设有车载磁电轨(41)；所述车载磁电轨，包括至少两列沿所述轿厢的运行方向排列的车载永磁体阵列(411)；所述车载永磁体阵列上，沿所述轿厢的运行方向还对称地设有至少一对电磁铁(412)；所述车载永磁体阵列上还设有距离传感器(413)；所述电磁铁和所述距离传感器分别与所述控制单元连接；
 所述路轨，包括至少一列路轨永磁体阵列，所述路轨永磁体阵列与所述车载永磁体阵列间隔交错，所述路轨永磁体阵列的磁极与所述车载永磁体阵列的磁极互斥；
 所述距离传感器用于检测所述车载永磁体阵列与所述路轨永磁体阵列之间的间隙，或用于检测车载永磁体阵列与所述悬挂天梁的内壁之间的间隙，并根据所述间隙的大小输出电信号至所述控制单元；所述控制单元还用以根据所述距离传感器的电信号控制所述电磁铁中的励磁电流的大小，所述励磁电流激发磁场保持所述路轨永磁体阵列与所述车载永磁体阵列不接触；所述电磁铁(412)的至少一侧设有橡胶弹簧(414)；所述路轨包括相互平行的至少两条，所述车载磁电轨包括至少四组；所述转向架的第一端还包括有横梁和构架，所述各组车载磁电轨通过所述横梁和所述构架连接；所述控制单元分别接收所述各组车载磁电轨中的距离传感器的电信号，根据所述电信号获得所述各组车载磁电轨中车载永磁体阵列与路轨永磁体阵列之间的间隙 s_1, s_2, \dots, s_n ，其中，n表示所述车载磁电轨的组数；
 所述控制单元根据所述间隙 s_1, s_2, \dots, s_n 控制所述各电磁铁中的励磁电流的大小：
 其中，位于一侧的所述电磁铁中的励磁电流 $I_1 \propto k_p(s_i - s_0) + k_i \int (s_i - s_0) dt + k_d \int (s_i - s_0)^'' dt, i \in [1, n]$ ；其中， s_i 表示该电磁铁所在的车载磁电轨所对应的间隙；
 位于另一侧的所述电磁铁中的励磁电流 $I_m \propto k_p(\bar{s} - s_0) + k_i \int (\bar{s} - s_0) dt + k_d \int (\bar{s} - s_0)^'' dt, m \in [1, n]$ ，
 其中， $\bar{s} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N s_i, N \leq n$ ，
 所述位于另一侧的所述电磁铁中的励磁电流 I_m 和位于一侧的所述电磁铁中的励磁电流 I_1 分别激发方向相反的磁场，所述方向相反的磁场分别产生互斥的作用力，使所述路轨永磁体阵列与所述车载永磁体阵列不接触；
 其中， k_p 为比例系数， k_i 为间隙积分反馈系数， k_d 为微分系数， s_0 为额定导向间隙；
 所述比例系数 k_p ，所述间隙积分反馈系数 k_i ，所述微分系数 k_d ，所述额定导向间隙 s_0 均预设于所述控制单元内。
 2. 如权利要求1所述的悬挂式轨道交通设备，其特征在于，所述路轨永磁体阵列或所述车载永磁体阵列在垂直方向上包括有至少两层永磁体，所述各层永磁体之间还设有环氧树

脂隔层。

3. 如所述权利要求1或2所述的悬挂式轨道交通设备,其特征在于,转向架的外侧还连接有导向轮(22);所述悬挂天梁的内壁,与所述导向轮相对的位置还设有轮轨(23),所述导向轮与所述轮轨之间留有空隙。

4. 一种磁电混合悬浮轨系统,包括控制单元(5),其特征在于,还包括:

路轨(21)和车载磁电轨(41),所述路轨和所述车载磁电轨相对设置;

所述车载磁电轨,包括至少两列车载永磁体阵列(411);所述车载永磁体阵列上还设有至少一个电磁铁(412),所述电磁铁的磁极垂直于所述路轨的方向;所述车载永磁体阵列上还设有距离传感器(413);所述电磁铁和所述距离传感器分别与所述控制单元连接;所述路轨,包括至少一列路轨永磁体阵列,所述路轨永磁体阵列与所述车载永磁体阵列间隔交错,所述路轨永磁体阵列的磁极与所述车载永磁体阵列的磁极互斥;

所述距离传感器用于检测所述车载永磁体阵列与所述路轨永磁体阵列之间的间隙s,并根据所述间隙s的大小输出电信号至所述控制单元;

所述控制单元还连接有斩波器(51);所述控制单元用以根据所述距离传感器的电信号输出占空比信号至所述斩波器;

所述斩波器连接所述控制单元与所述电磁铁,所述斩波器用以根据所述占空比信号输出相应大小的励磁电流至所述电磁铁,所述励磁电流激发磁场,保持所述路轨永磁体阵列与所述车载永磁体阵列不接触;所述占空比信号的占空比 $PWM = k_p(s - s_0) + k_i \int (s - s_0) dt + k_d \int (s - s_0)^2 dt$,其中,k_p为比例系数,k_i为间隙积分反馈系数,k_d为微分系数,s₀为额定导向间隙;

所述比例系数k_p,所述间隙积分反馈系数k_i,所述微分系数k_d,所述额定导向间隙s₀均预设于所述控制单元内;所述距离传感器的数量至少为2个,所述电磁铁包括相对设置的至少2对;所述控制单元分别接收所述各距离传感器的电信号,根据所述电信号获得所述车载磁电轨中车载永磁体阵列与路轨永磁体阵列之间的间隙s₁,s₂,...,s_n,其中,n表示所述距离传感器的数量;

所述控制单元根据所述间隙s₁,s₂,...,s_n控制所述各电磁铁中的励磁电流的大小:

其中,位于前侧的所述电磁铁中的励磁电流 $I_1 \propto k_p(s_1 - s_0) + k_i \int (s_1 - s_0) dt + k_d \int (s_1 - s_0)^2 dt$, $l \in [1, n]$;其中,s₁表示位于前侧的所述距离传感器所采集到的间隙大小;

位于后侧的所述电磁铁中的励磁电流 $I_m \propto k_p(\bar{s} - s_0) + k_i \int (\bar{s} - s_0) dt + k_d \int (\bar{s} - s_0)^2 dt$, $m \in [1, n]$,

$$\text{其中, } \bar{s} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N s_i, \quad N \leq n$$

所述位于前侧的所述电磁铁中的励磁电流I₁和所述位于后侧的所述电磁铁中的励磁电流I_m分别激发方向相反的磁场,所述方向相反的磁场分别产生互斥的作用力,使所述路轨永磁体阵列与所述车载永磁体阵列不接触。

5. 如权利要求4所述的磁电混合悬浮轨系统,其特征在于,所述路轨的表面设有不锈钢固定板;所述路轨永磁体阵列通过不锈钢螺栓固定于所述不锈钢固定板的表面;

车载磁电轨的表面设有不锈钢固定板;所述车载永磁体阵列由不锈钢螺栓固定于所述不锈钢固定板的表面。

6. 如权利要求5所述的磁电混合悬浮轨系统,其特征在于,所述路轨永磁体阵列或所述

车载永磁体阵列包括有沿直线排列的至少一列钕铁硼永磁体,每一列中的所述各钕铁硼永磁体之间留有第一间隙;所述沿直线排列的钕铁硼永磁体至少包括两层,所述各层钕铁硼永磁体之间还设有环氧树脂隔层,所述环氧树脂隔层的厚度至少为所述钕铁硼永磁体厚度的3/10。

悬挂式轨道交通设备以及其中的磁电混合悬浮轨系统

技术领域

[0001] 本发明涉及轨道交通领域,尤其涉及利用磁悬浮驱动的轨道交通设备。

背景技术

[0002] 轨道交通,因其线路相对独立,调度便捷,承载能力可观等优势,逐渐受到广泛关注。而利用磁悬浮技术驱动的轨道交通设备,则因其速度快、爬坡能力强、转弯半径小及其在经济环保等方面的优势,普遍被认为是21世纪交通工具的发展方向。

[0003] 目前技术比较成熟的磁悬浮轨道交通设备,按照其电磁力作用原理进行划分,主要包括有以下两种驱动方式:电磁悬浮驱动,和电动悬浮驱动。电磁悬浮(Electromagnetic suspension,简称EMS),是利用常导电磁铁与强导磁体之间的吸引力来实现悬浮。EMS型磁悬浮列车的悬浮高度一般为8-12mm,此种悬浮方式,通过车载位于轨道下方的电磁铁与轨道产生电磁吸引力从而实现列车的悬浮。但,EMS型列车不能自稳定悬浮。采用EMS驱动的轨道交通设备必须以较大励磁电流激励电磁铁中产生与轨道相匹配的磁场,才能实现列车的稳定悬浮。虽然现在大部分的磁悬浮列车都是采用EMS型悬浮方式,例如德国的TR型磁悬浮列车、日本的HSST型磁悬浮列车。但,EMS型磁悬浮列车耗能较高。并且,由于电磁装置必须承载较大励磁电流才能维持稳定悬浮,而励磁电流会在电子器件上产生较大热量,因此,EMS方式驱动的轨道交通设备较难在长时间内维持其内各种悬浮传感器稳定工作。

[0004] 另一种磁悬浮方式是电动悬浮(Electrodynamics suspension,简称EDS),此种悬浮力产生的原理是:变化的电磁场在金属导体中感应涡流,涡流磁场与原磁场的激励磁场方向相反,产生排斥力。EDS型磁悬浮列车的悬浮间隙较大,一般为100-150mm。但,EDS型磁悬浮列车无法实现静浮,列车必须达到一定运行速度后才能产生足够的悬浮力使列车悬浮起来。因此通常需要额外的机械结构以避免涡流导体因相互接触而磨损。

[0005] 基于上述的磁悬浮技术,悬挂式轨道列车交通运输系统正悄然走近人们的生活。区别于传统的、在铁轨上运行的列车,悬挂式轨道交通设备的轨道由钢梁或者混凝土浇筑的立柱支撑在空中,悬挂式轨道交通设备的轿厢由上述轨道支撑,吊起在空中运行。悬挂式轨道列车交通运输系统,因其占地面积少,有利于改善城市公共交通环境,并且能够给乘客带来良好的空间视觉感受,使乘客有很好的乘车体验,而被广泛关注。

[0006] 但是,由于EMS悬浮方式无法实现自稳,而EDS悬浮方式无法静浮,因此,目前的悬挂式轨道列车还需要轮轨支承来实现悬停。但轮轨支承,运行时机械磨损大,维修难度高,运行过程中也经常因轮轨摩擦而产生噪音,影响乘车体验。

[0007] 因此,目前急需一种能够克服上述驱动方式弊端的、能够应用于悬挂式轨道交通设备的磁悬浮技术。

发明内容

[0008] 为了解决现有技术存在的不足,本发明的目的在于提供一种悬挂式轨道交通设

备以及其中的磁电混合悬浮轨系统。

[0009] 首先,为实现上述目的,提出一种悬挂式轨道交通设备,包括支撑结构(1);悬挂天梁(2),由所述支撑结构支撑在空中;轿厢(3);转向架(4),所述转向架的第一端设置于所述悬挂天梁内,所述转向架的第二端连接所述轿厢;控制单元(5),用于控制所述轿厢沿所述悬挂天梁运行;其中,所述悬挂天梁的内壁设有路轨(21);所述转向架的表面,与所述路轨相对的位置设有车载磁电轨(41);所述车载磁电轨,包括至少两列沿所述轿厢的运行方向排列的车载永磁体阵列(411);所述车载永磁体阵列上,沿所述轿厢的运行方向还对称地设有至少一对电磁铁(412);所述车载永磁体阵列上还设有距离传感器(413);所述电磁铁和所述距离传感器分别与所述控制单元连接;所述路轨,包括至少一列路轨永磁体阵列,所述路轨永磁体阵列与所述车载永磁体阵列间隔交错,所述路轨永磁体阵列的磁极与所述车载永磁体阵列的磁极互斥;所述距离传感器用于检测所述车载永磁体阵列与所述路轨永磁体阵列之间的间隙,或用于检测车载永磁体阵列与所述悬挂天梁的内壁之间的间隙,并根据所述间隙的大小输出电信号至所述控制单元;所述控制单元还用以根据所述距离传感器的电信号控制所述电磁铁中的励磁电流的大小,所述励磁电流激发磁场保持所述路轨永磁体阵列与所述车载永磁体阵列不接触。

[0010] 可选的,上述的悬挂式轨道交通设备中,所述路轨永磁体阵列或所述车载永磁体阵列在垂直方向上包括有至少两层永磁体,所述各层永磁体之间还设有环氧树脂隔层。

[0011] 可选的,上述的悬挂式轨道交通设备中,所述电磁铁(412)的至少一侧设有橡胶弹簧。

[0012] 可选的,上述的悬挂式轨道交通设备中,所述路轨包括相互平行的至少两条,所述车载磁电轨包括至少四组;所述转向架的第一端还包括有横梁和构架,所述各组车载磁电轨通过所述横梁和所述构架连接。

[0013] 可选的,上述的悬挂式轨道交通设备中,所述控制单元分别接收所述各组车载磁电轨中的距离传感器的电信号,根据所述电信号获得所述各组车载磁电轨中车载永磁体阵列与路轨永磁体阵列之间的间隙 s_1, s_2, \dots, s_n , 其中, n 表示所述车载磁电轨的组数;所述控制单元根据所述间隙 s_1, s_2, \dots, s_n 控制所述各电磁铁中的励磁电流的大小:其中,位于一侧的所述电磁铁中的励磁电流 $I_1 \propto k_p(s_i - s_0) + k_i \int (s_i - s_0) dt + k_d \int (s_i - s_0)^2 dt, i \in [1, n]$; 其中, s_i 表示该电磁铁所在的车载磁电轨所对应的间隙;位于另一侧的所述电磁铁中的励磁电流 $I_m \propto k_p(\bar{s} - s_0) + k_i \int (\bar{s} - s_0) dt + k_d \int (\bar{s} - s_0)^2 dt, m \in [1, n]$, 其中, $\bar{s} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N s_i, N \leq n$;

所述位于另一侧的所述电磁铁中的励磁电流 I_m 和位于一侧的所述电磁铁中的励磁电流 I_1 分别激发方向相反的磁场,所述方向相反的磁场分别产生互斥的作用力,使所述路轨永磁体阵列与所述车载永磁体阵列不接触;其中, k_p 为比例系数, k_i 为间隙积分反馈系数, k_d 为微分系数, s_0 为额定导向间隙;所述比例系数 k_p , 所述间隙积分反馈系数 k_i , 所述微分系数 k_d , 所述额定导向间隙 s_0 均预设于所述控制单元内。

[0014] 可选的,上述的悬挂式轨道交通设备中,转向架的外侧还连接有导向轮;所述悬挂天梁的内壁,与所述导向轮相对的位置还设有轮轨,所述导向轮与所述轮轨之间留有空隙。

[0015] 同时,本发明还提供一种磁电混合悬浮轨系统,包括控制单元(5)以及:路轨(21)

和车载磁电轨(41),所述路轨和所述车载磁电轨相对设置;所述车载磁电轨,包括至少两列车载永磁体阵列(411);所述车载永磁体阵列上还设有至少一个电磁铁(412),所述电磁铁的磁极垂直于所述路轨的方向;所述车载永磁体阵列上还设有距离传感器(413);所述电磁铁和所述距离传感器分别与所述控制单元连接;所述路轨,包括至少一列路轨永磁体阵列,所述路轨永磁体阵列与所述车载永磁体阵列间隔交错,所述路轨永磁体阵列的磁极与所述车载永磁体阵列的磁极互斥;所述距离传感器用于检测所述车载永磁体阵列与所述路轨永磁体阵列之间的间隙s,并根据所述间隙s的大小输出电信号至所述控制单元;所述控制单元还连接有斩波器(51);所述控制单元用以根据所述距离传感器的电信号输出占空比信号至所述斩波器;所述斩波器连接所述控制单元与所述电磁铁,所述斩波器用以根据所述占空比信号输出相应大小的励磁电流至所述电磁铁,所述励磁电流激发磁场,保持所述路轨永磁体阵列与所述车载永磁体阵列不接触;所述占空比信号的占空比 $PWM = k_p(s - s_0) + k_i \int (s - s_0) dt + k_d \int (s - s_0)'' dt$,其中,k_p为比例系数,k_i为间隙积分反馈系数,k_d为微分系数,s₀为额定导向间隙;所述比例系数k_p,所述间隙积分反馈系数k_i,所述微分系数k_d,所述额定导向间隙s₀均预设于所述控制单元内。

[0016] 可选的,如上所述的磁电混合悬浮轨系统中,所述路轨的表面设有不锈钢固定板;所述路轨永磁体阵列通过不锈钢螺栓固定于所述不锈钢固定板的表面;车载磁电轨的表面设有不锈钢固定板;所述车载永磁体阵列由不锈钢螺栓固定于所述不锈钢固定板的表面。

[0017] 可选的,如上所述的磁电混合悬浮轨系统中,所述距离传感器的数量至少为2个,所述电磁铁包括相对设置的至少2对;所述控制单元分别接收所述各距离传感器的电信号,根据所述电信号获得所述车载磁电轨中车载永磁体阵列与路轨永磁体阵列之间的间隙s₁,s₂,...,s_n,其中,n表示所述距离传感器的数量;所述控制单元根据所述间隙s₁,s₂,...,s_n控制所述各电磁铁中的励磁电流的大小:其中,位于前侧的所述电磁铁中的励磁电流 $I_1 \propto k_p(s_1 - s_0) + k_i \int (s_1 - s_0) dt + k_d \int (s_1 - s_0)'' dt$, $1 \in [1, n]$;其中,s_i表示位于前侧的所述距离传感器所采集到的间隙大小;位于后侧的所述电磁铁中的励磁电流 $I_m \propto k_p(\bar{s} - s_0) + k_i \int (\bar{s} - s_0) dt + k_d \int (\bar{s} - s_0)'' dt$, $m \in [1, n]$,其中, $\bar{s} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N s_i$, $N \leq n$ 所述位;

于前侧的所述电磁铁中的励磁电流I₁和所述位于后侧的所述电磁铁中的励磁电流I_m分别激发方向相反的磁场,所述方向相反的磁场分别产生互斥的作用力,使所述路轨永磁体阵列与所述车载永磁体阵列不接触。

[0018] 可选的,如上所述的磁电混合悬浮轨系统中,所述路轨永磁体阵列或所述车载永磁体阵列包括有沿直线排列的至少一列钕铁硼永磁体,每一列中的所述各钕铁硼永磁体之间留有第一间隙;所述沿直线排列的钕铁硼永磁体至少包括两层,所述各层钕铁硼永磁体之间还设有环氧树脂隔层,所述环氧树脂隔层的厚度至少为所述钕铁硼永磁体厚度的3/10。

[0019] 本发明具有如下有益效果:

[0020] 本发明通过路轨和车载磁电轨悬浮的系统,以及应用该系统的悬挂式轨道设备。所述车载磁电轨,包括至少两列沿所述轿厢的运行方向排列的车载永磁体阵列、至少一对电磁铁以及距离传感器;所述路轨,包括有路轨永磁体阵列,所述路轨永磁体阵列与所述

车载永磁体阵列间隔交错，通过互斥的磁极使所述路轨和车载磁电轨实现自稳。同时，所述距离传感器、控制单元和电磁铁形成闭环控制系统，其中的控制单元通过距离传感器的数据控制电磁铁中的励磁电流的大小，使所述励磁电流激发磁场保持所述路轨永磁体阵列与所述车载永磁体阵列不接触，以实现悬停。

[0021] 由于本发明永磁体阵列本身构成了自稳的悬浮系统，因此，载重运行时振动更小。并且，由于闭环控制，电磁铁能够通过较小的励磁电流激发互斥的磁场以保证所述路轨永磁体阵列与所述车载永磁体阵列不接触，可保护本发明不会出现吸死的现象，器件机械磨损以及电热损耗更小，使用寿命更长。

[0022] 本发明的其它特征和优点将在随后的说明书中阐述，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而了解。

附图说明

[0023] 附图用来提供对本发明的进一步理解，并且构成说明书的一部分，并与本发明的实施例一起，用于解释本发明，并不构成对本发明的限制。在附图中：

- [0024] 图1a是本发明的两层永磁体磁阵列右视结构图。
- [0025] 图1b是本发明的两层永磁体磁阵列主视结构图。
- [0026] 图2是本发明的悬挂式磁悬浮列车的车载磁电轨俯视图。
- [0027] 图3是本发明的悬挂式磁悬浮列车的转向架示意图。
- [0028] 图4是本发明的安装在悬挂式磁悬浮列车天梁内的永磁路轨。
- [0029] 图5a是本发明的车载磁电轨无接触的插入到永磁路轨中的截面图。
- [0030] 图5b是本发明的车载磁电轨无接触的插入到永磁路轨中的三维图。
- [0031] 图6是本发明的车载磁电轨在x反方向吸死永磁路轨的截面图。
- [0032] 图7是本发明的车载磁电轨在x正方向吸死永磁路轨的截面图。
- [0033] 图8是本发明的悬挂式磁悬浮列车的悬挂天梁及磁电混合悬浮轨 截面图。
- [0034] 图9a是本发明采用机械导向的车载磁轨俯视图。
- [0035] 图9b是本发明采用机械导向的车载磁轨插入到永磁路轨中的三 维图。
- [0036] 图10是本发明安装在悬挂式磁悬浮列车转向架ABCD四个位置的 车载磁电轨无接触的插入到永磁路轨中所构成的四个磁电混合悬浮轨 俯视图。
- [0037] 图11是本发明的磁电混合悬浮轨系统的导向控制系统原理结构图。
- [0038] 图12是本发明的两组三角形悬挂构架结构图。
- [0039] 图13是本发明空气弹簧位置俯视图。

具体实施方式

[0040] 以下结合附图对本发明的优选实施例进行说明，应当理解，此处所描述的优选实施例仅用于说明和解释本发明，并不用于限定本发明。

[0041] 图8为根据本发明的悬挂式轨道交通设备，包括支撑结构1；悬挂天梁2，由支撑结构支撑在空中；轿厢3，轿厢3顶部设置有若干根轿厢吊杆13，轿厢吊杆13的顶端和底端均设置有接扣；转向架4，转向架的第一端设置于所述悬挂天梁内，转向架的第二端连接轿厢3，通过吊杆13衔接悬浮转向架4与轿厢3。

[0042] 支撑结构1包括立柱14和悬挂梁15,立柱14的顶部朝向一侧弧形过渡形成水平的悬挂梁15,天梁2悬挂在悬挂梁15下方,立柱14的底部与地面接触固定。

[0043] 如图13所示,轿厢吊杆13之间设置有若干个空气弹簧12,空气弹簧12从悬浮转向架4的一侧倾斜链接到轿厢3的相对侧,悬浮转向架4的中间也设置空气弹簧12接扣,连接转向架和轿厢前后(行进方向为前)从轿厢吊杆13的顶端连接到另一个轿厢吊杆13的底端。

[0044] 轿厢3的顶部设置有轿厢机顶盒,轿厢机顶盒通过机顶盒控件固定在轿厢3的顶部,轿厢机顶盒设置有若干个空气弹簧12,该空气弹簧12沿轿厢3前进方向倾斜,且其上端通过空气弹簧12接扣与悬浮转向架4连接。

[0045] 如图12所示,轿厢还设置有吊挂接扣8,吊杆13的接扣与轿厢吊挂接扣8连接,吊杆13与轿厢之间设置有两组三角形悬挂构架6,三角形悬挂构架6的一个短边相对布置,且沿轨道延伸方向布置,三角形悬挂构架6的每个顶点均设置有球绞结构9,在三角形悬挂构架6的两端设置有与轨道延伸方向垂直的水平布置的横梁10,三角形悬挂构架6相对布置的短边公用一个横梁10,三角形悬挂构架6通过与横梁10的中心或者两侧连接,每个横梁10的两端均位于悬浮点11上方。

[0046] 控制单元5,用于控制所述轿厢沿所述悬挂天梁运行;其中,所述悬挂天梁的内壁设有路轨21;所述转向架的表面,与所述路轨相对的位置设有车载磁电轨41;所述车载磁电轨,包括至少两列沿所述轿厢的运行方向排列的车载永磁体阵列411;所述车载永磁体阵列上,沿所述轿厢的运行方向还对称地设有至少一对电磁铁412;所述车载永磁体阵列上还设有距离传感器413;所述电磁铁和所述距离传感器分别与所述控制单元连接;所述路轨,包括至少一列路轨永磁体阵列,所述路轨永磁体阵列与所述车载永磁体阵列间隔交错,所述路轨永磁体阵列的磁极与所述车载永磁体阵列的磁极互斥;所述距离传感器用于检测所述车载永磁体阵列与所述路轨永磁体阵列之间的间隙,或用于检测车载永磁体阵列与所述悬挂天梁的内壁之间的间隙,并根据所述间隙的大小输出电信号至所述控制单元;所述控制单元还用以根据所述距离传感器的电信号控制所述电磁铁中的励磁电流的大小,所述励磁电流激发磁场保持所述路轨永磁体阵列与所述车载永磁体阵列不接触。

[0047] 上述的设备中,由于其中的磁电混合悬浮轨系统,可依靠间隔交错的永磁阵列实现悬浮列车悬浮,依靠电磁铁的绕组产生电磁力,电磁力和永磁体侧向力共同实现列车导向,由此构成永磁悬浮和磁电混合导向为一体的一种新型磁电混合悬浮轨系统。此种磁电混合悬浮轨主要分为车载磁电轨和永磁路轨,车载磁电轨的俯视图和三维图如图2所示,车载磁电轨由多组永磁阵列、传感器和电磁绕组等组成;永磁阵列如图1a和图1b所示,永磁阵列由两层永磁体叠加构成。如图8所示,车载磁电轨安装在悬挂式磁悬浮列车的转向架上,永磁路轨安装在悬挂天梁内的底座上;如图5a、图5b所示,将车载磁电轨处于正中间悬浮位置无接触的插入到永磁路轨中,由此在y方向产生排斥力 F_y 使悬挂式列车稳定悬浮,当车载磁电轨在正中间位置悬浮时在x正方向会产生吸引力 F_{+x} ,在x反方向也会产生吸引力 F_{-x} ,此时 $F_{+x}=F_{-x}$;在车载磁电轨不施加电磁导向调节的情况下,车载磁电轨向x反方向偏离正中间悬浮位置时 $F_{-x} > F_{+x}$,此时车载磁电轨会如图6所示吸死在永磁路轨上;车载磁电轨向x正方向偏离正中间悬浮位置时 $F_{+x} > F_{-x}$,此时车载磁电轨会如图7所示吸死在永磁路轨上。车载磁电轨上施加电磁导向力的作用就是保持其在额定导向间隙运行,

且不吸死轨道。

[0048] 可选的,上述的悬挂式轨道交通设备中,所述路轨永磁体阵列或所述车载永磁体阵列在垂直方向上包括有至少两层永磁体73,所述各层永磁体之间还设有环氧树脂隔层72。由此可确保永磁体能够提供足够的悬浮力以及悬浮结构简单化。本专利选用型号为N48的钕铁硼永磁材料,按图1a和图1b示意图所示,将两块材料牌号为N48钕铁硼永磁体通过不锈钢螺栓71固定在一起构成两层永磁体磁阵列结构,根据悬浮载重的需要也可以构成三层或多层磁阵列结构,本发明以两层永磁阵列展开叙述,两块永磁体73之间用厚度为3mm的环氧树脂板隔开,其目的是避免上下两层永磁体的磁场线被过度短路。其中螺栓为不锈钢螺栓,其目的是不锈钢为非铁磁性材料,可减少对永磁体磁路的影响。钕铁硼永磁体为长为30mm,宽为15mm,厚为10mm的长方体。

[0049] 可选的,上述的悬挂式轨道交通设备中,所述电磁铁(412)的至少一侧设有橡胶弹簧。

[0050] 可选的,上述的悬挂式轨道交通设备中,所述路轨包括相互平行的至少两条,所述车载磁电轨包括至少四组;所述转向架的第一端还包括有横梁43和构架42,所述各组车载磁电轨通过所述横梁和所述构架连接。

[0051] 可选的,上述的悬挂式轨道交通设备中,所述控制单元分别接收所述各组车载磁电轨中的距离传感器的电信号,根据所述电信号获得所述各组车载磁电轨中车载永磁体阵列与路轨永磁体阵列之间的间隙 s_1, s_2, \dots, s_n ,其中,n表示所述车载磁电轨的组数;所述控制单元根据所述间隙 s_1, s_2, \dots, s_n 控制所述各电磁铁中的励磁电流的大小:其中,位于一侧的所述电磁铁中的励磁电流 $I_1 \propto k_p(s_i - s_0) + k_i \int (s_i - s_0) dt + k_d \int (s_i - s_0)^2 dt, i \in [1, n]$;其中, s_i 表示该电磁铁所在的车载磁电轨所对应的间隙;位于另一侧,例如左侧或前侧,的所述电磁铁中的励磁电流 $I_m \propto k_p(\bar{s} - s_0) + k_i \int (\bar{s} - s_0) dt + k_d \int (\bar{s} - s_0)^2 dt, m \in [1, n]$,其中,

$$\bar{s} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N s_i, \quad N \leq n \quad ; \quad \text{所述位于另一侧的所述电磁铁中的励磁电流 } I_m \text{ 和位于一侧的所述电磁}$$

铁中的励磁电流 I_1 分别激发方向相反的磁场,所述方向相反的磁场分别产生互斥的作用力,使所述路轨永磁体阵列与所述车载永磁体阵列不接触;其中, k_p 为比例系数, k_i 为间隙积分反馈系数, k_d 为微分系数, s_0 为额定导向间隙;所述比例系数 k_p ,所述间隙积分反馈系数 k_i ,所述微分系数 k_d ,所述额定导向间隙 s_0 均预设于所述控制单元内。

[0052] 作为一种可选的实施方式,本发明可选择如图5a、图5b、图8和图10所示,将车载磁电轨无接触的插入到永磁路轨中构成一个磁电混合悬浮轨系统,该系统在竖直y方向能够稳定悬浮,且有很强的悬浮刚度。但是在x方向上不能构成稳定的导向悬浮,只要车载磁电轨偏离中间悬浮位置就会吸死在永磁路轨上。如图6所示为车载磁电轨向x反方向偏离后吸死在永磁路轨上,图7所示为车载磁电轨向x正方向偏离后吸死在永磁路轨上。为对列车进行导向,避免吸死,本发明可通过控制电磁铁中的电流大小,从而控制电磁铁中磁场大小,最终控制电磁铁的电磁力大小,使车载磁电轨保持在额定导向间隙运行。其中,因为永磁磁阵列的宽度为15mm,两排永磁路轨间的距离为21mm,当车载磁电轨无接触的插入到永磁路轨中处于正中间位置时,车载磁电轨与两排永磁路轨的间隙为3mm,将此间隙设定为额定导向间隙。

[0053] 具体如图10所示,对于安装在悬挂式磁悬浮列车转向架A、C两处 的车载磁电轨采用等间隙控制,使得A、C两处的车载磁电轨保持额定 的导向间隙运行;安装在悬挂式磁悬浮列车转向架B、D两处的车载磁 电轨则综合B、D两处车载磁电轨的状态进行协同控制,使得B、D两处 的车载磁电轨的导向平均间隙保持为额定的导向间隙运行。如图10所 示,A、C 两处的间隙传感器g1、g3分别测量的是左边第一排永磁路轨 和A端第一排车载磁电轨的导向间隙、左边第一排永磁路轨和C端第一 排车载磁电轨的导向间隙;B、D两处的间隙传感器 g2、g4分别测量的 是右边第一排永磁路轨和B端第一排车载磁电轨的导向间隙、右边第一 排永磁路轨和D端第一排车载磁电轨的导向间隙。其导向控制系统原理 图结构如图11所示,首先将转向架A端的电磁铁a1、a2串联起来,使 其等效为一个单电磁铁,同理分别将转向架B端b1、b2,转向架C端的 c1、c2,转向架D端的d1、d2也分别串联起来使各端的两个电磁铁等效 为一个电磁铁。间隙传感器g1测量得到转向架A端的导向间隙 s_1 ,导向 控制器根据 导向间隙 s_1 通过控制算法 $PWM.A = k_p(s_1 - s_0) + k_i \int (s_1 - s_0) dt + k_d \int (s_1 - s_0)^2 dt$ 得到转向架A端电 磁铁的控 制量 $PWM.A$, k_p 为比例系数, k_i 为间隙积分反馈系数, k_d 为微分系数, s_0 为 额定导 向间隙。将 $PWM.A$ 以 PWM 波的形式输出到导向斩波器A,控制转 向架A端电磁铁a1、a2电流大小,进而控制转向架A端电磁力大小, 保证转向架A端在额定导向间隙运行;间隙传感器g2 测量得到转向架 C 端的导向间隙 s_2 ,导向控制器根据导向间隙 s_2 通过控制算法 $PWM.C = k_p(s_2 - s_0) + k_i \int (s_2 - s_0) dt + k_d \int (s_2 - s_0)^2 dt$ 得到转向架C端电磁铁的 控制量 $PWM.C$,将 $PWM.C$ 以 PWM 波的形式输出到导向斩波器C,控制转向 架C端电磁铁c1、c2电流大小,进而控制转向架C端电磁力大小,保 证转向架C端在额定导向间隙运行;间隙传感器g3测量得到转向架B 端的 导向间隙 s_3 ,间隙传感器g4测量得到转向架D端的导向间隙 s_4 ,导 向控制器根据导向间隙 s_3 和 s_4 通过控制算法 $PWM.B = k_p(s_3 - s_0) + k_i \int (s_3 - s_0) dt + k_d \int (s_3 - s_0)^2 dt$ 得到转向架B端电磁铁的 控制量 $PWM.B$,将 $PWM.B$ 以 PWM 波的形式输出到导向斩波器B,控制转向 架B端电磁铁 b1、b2电流大小,进而控制转向架B端电磁力大小,保 证转向架B端在额定导向间隙运行。 s_{34}

为转向架B、D端的平均导向间 隙, $s_{34} = \frac{s_3 + s_4}{2}$ 。 导向控制器根据导向间隙 s_3 和 s_4 通过控制 算法 $PWM.D = k_p(s_{34} - s_0) + k_i \int (s_{34} - s_0) dt + k_d \int (s_{34} - s_0)^2 dt$ 得到转向架D端电磁铁的 控制量 $PWM.D$,将 $PWM.D$ 以 PWM 波的形式输出到导向斩波器D,控制转向 架D端电磁铁b1、b2电流大小,进而控制转向架D端电磁力大小,保 证转向架D端在额定导向间隙运行。同时悬浮控制器将各个导向间隙的 状态实时传输给车载总控系统,车载总控系统会实时监控列车的导 向状 态。通过车载总控系统向导向控制器发送复位及停止等指令。

[0054] 可选的,上述的悬挂式轨道交通设备中,转向架的外侧还连接有 导向轮;所述悬 挂天梁的内壁,与所述导向轮相对的位置还设有轮轨, 所述导向轮与所述轮轨之间留有空 隙。如图9a所示,为采用机械导 向 轮导 向的车载磁轨,在车载磁电轨的四端安装上导轮即 可实现机械方式 的导 向。如图9b所示,为采用机械导 向的车载磁轨插入到永磁路轨中 从 而实现悬浮和导 向。车载磁电轨安装导 向轮的机械导 向方式和车载磁 电轨安装电磁铁的 电磁导 向方式能够使悬挂式磁悬浮列车在沿运行方 向受到侧向力较小时提供导 向作用, 当侧向力较大时由转向架上的导 向 调整轮给列车提供导 向,使其能够平稳运行,其结构如 图8所示。本发 明的悬挂式磁悬浮列车采用电磁导 向的车载磁电轨对列车进行悬浮支 承和导 向。

[0055] 同时,本发明还提供一种磁电混合悬浮轨系统,包括控制单元(5)以及:路轨(21)和车载磁电轨(41),所述路轨和所述车载磁电轨相对设置;所述车载磁电轨,包括至少两列车载永磁体阵列(411);所述车载永磁体阵列上还设有至少一个电磁铁(412),所述电磁铁的磁极垂直于所述路轨的方向;所述车载永磁体阵列上还设有距离传感器(413);所述电磁铁和所述距离传感器分别与所述控制单元连接;所述路轨,包括至少一列路轨永磁体阵列,所述路轨永磁体阵列与所述车载永磁体阵列间隔交错,所述路轨永磁体阵列的磁极与所述车载永磁体阵列的磁极互斥;所述距离传感器用于检测所述车载永磁体阵列与所述路轨永磁体阵列之间的间隙s,并根据所述间隙s的大小输出电信号至所述控制单元;所述控制单元还连接有斩波器(51);所述控制单元用以根据所述距离传感器的电信号输出占空比信号至所述斩波器;所述斩波器连接所述控制单元与所述电磁铁,所述斩波器用以根据所述占空比信号输出相应大小的励磁电流至所述电磁铁,所述励磁电流激发磁场,保持所述路轨永磁体阵列与所述车载永磁体阵列不接触;所述占空比信号的占空比 $PWM = k_p(s - s_0) + k_i \int (s - s_0) dt + k_d \int (s - s_0)^2 dt$,其中,k_p为比例系数,k_i为间隙积分反馈系数,k_d为微分系数,s₀为额定导向间隙;所述比例系数k_p,所述间隙积分反馈系数k_i,所述微分系数k_d,所述额定导向间隙s₀均预设于所述控制单元内。

[0056] 上述系统中,车载磁电轨的俯视图和三维图如图2所示,将车载磁电轨安装在如图3所示的转向架A、B、C、D四个位置,构成四点悬浮系统,但是也可以通过实际悬挂式磁悬浮列车的转向架结构和载重要求构成六点或者多点悬浮系统。以四点悬浮系统为例,永磁路轨如图4所示,应用于悬挂式磁悬浮设备时,可将永磁路轨可安装在悬挂天梁内部,将车载磁电轨无接触的插入到永磁路轨中,由此产生排斥力使列车稳定悬浮。车载磁电轨插入到永磁路轨的截面图和三维图如图5a、图5b所示,在悬挂式磁悬浮列车的悬挂天梁内磁电混合悬浮轨的截面图与悬挂列车转向架和其他装置的截面图如图8所示。车载磁电轨插入到永磁路轨后构成一个磁电混合悬浮轨系统,该系统在y方向上有很高的稳定性,刚度大,载重悬浮时不会产生较大振动。但是在该磁电混合悬浮轨的x方向上会造成车载磁电轨偏离悬浮中心位置后吸死在永磁路轨上,如图6、图7所示,图6为车载磁电轨偏离中心悬浮位置后吸死在x反方向的永磁路轨上,图7为车载磁电轨偏离中心悬浮位置后吸死在x正方向上的永磁路轨上。吸死会带来很严重的后果,不仅会对磁轨产生危害,而且对运行中的悬浮列车也会带来安全隐患。为解决吸死问题,本方案在车载磁电轨上安装电磁铁和间隙传感器,电磁铁和间隙传感器的安装位置示意图如图2所示,之所以电磁铁和间隙传感器采用图2所示的安装位置排列方式是因为安装了车载磁电轨的悬挂式磁悬浮列车转向架在悬挂天梁内是对称的,电磁铁和间隙传感器采用图2所示的排列方式易于控制电磁铁,从而使悬挂式磁悬浮列车在额定的导向间隙运行。间隙传感器测量车载磁电轨与永磁路轨在x方向上的相对距离,通过调节电磁铁中电流的大小控制电磁铁产生磁场的大小,最终控制电磁铁在x方向上的电磁力大小,由此达到对车载磁电轨导向的作用,使悬浮列车在x方向上保持额定的导向间隙运行。除了采用电磁导向的方式外,还可以采用机械导向的方式。

[0057] 可选的,如上所述的磁电混合悬浮轨系统中,所述路轨的表面设有不锈钢固定板7;所述路轨永磁体阵列通过不锈钢螺栓固定于所述不锈钢固定板的表面;车载磁电轨的表面设有不锈钢固定板;所述车载永磁体阵列由不锈钢螺栓固定于所述不锈钢固定板的

表面。如图2所示,可选择将两层永磁体磁阵列结构用不锈钢螺栓安装固定在一块厚5mm的不锈钢钢板表面,不锈钢钢板板上共安装3排图1a所示的永磁阵列,第一排永磁阵列与第二排永磁阵列间隔21mm,第二排永磁阵列与第三排永磁阵列间隔21mm;如图2所示,第一排与第三排各安装4组永磁磁阵列,且各组永磁阵列间隔1mm;第二排安装5组永磁磁阵列,且各组永磁阵列间隔1mm。在第一排的永磁磁阵列中还要安装电磁铁和间隙传感器。间隙传感器安装在第一排永磁磁阵列的中间位置,电磁铁安装在第一排永磁磁阵列的两端构成一个两点的电磁导向系统,同时电磁铁的一极固定在橡胶弹簧414上,达到减振效果,电磁铁的另一极则为工作极产生电磁力,进而提供导向力。距离传感器可具体采用一种间隙传感器,其作用是测量车载磁电轨和永磁路轨间的距离,从而给控制系统提供一个导向间隙反馈量,达到控制电磁铁中电流的目的,实现悬挂式磁悬浮列车稳定导向的目的。车载磁电轨安装在列车转向架上是通过橡胶弹簧连接。

[0058] 如图4所示,将两层永磁体磁阵列结构用不锈钢螺栓固定在一块厚5mm的不锈钢钢板上面得到永磁路轨。永磁路轨由两排永磁磁阵列构成,两排永磁磁阵列间距为21mm,各组永磁阵列沿列车行进方向间隔1mm。

[0059] 可选的,如上所述的磁电混合悬浮轨系统中,所述距离传感器的数量至少为2个,所述电磁铁包括相对设置的至少2对。具体至本实施例,可选择将车载磁电轨安装在悬挂式磁悬浮列车的转向架的A、B、C、D四个位置,构成一个四点磁悬浮系统,然后将车载磁电轨无接触的插入到永磁路轨中构成一个磁电混合悬浮轨系统,从而实现列车的悬浮。所述控制单元分别接收所述各距离传感器的电信号,根据所述电信号获得所述车载磁电轨中车载永磁体阵列与路轨永磁体阵列之间的间隙 s_1, s_2, \dots, s_n ,其中,n取4,表示所述距离传感器的数量;所述控制单元根据所述间隙 s_1, s_2, \dots, s_n 控制所述各电磁铁中的励磁电流的大小:其中,位于前侧的所述电磁铁中的励磁电流 $I_1 \propto k_p(s_i - s_0) + k_i \int (s_i - s_0) dt + k_d \int (s_i - s_0)^2 dt, l \in [1, n]$;其中, s_i 表示位于前侧的所述距离传感器所采集到的间隙大小;位于后侧的所述电磁铁中的励磁电流 $I_m \propto k_p(\bar{s} - s_0) + k_i \int (\bar{s} - s_0) dt + k_d \int (\bar{s} - s_0)^2 dt, m \in [l, n]$,

其中, $\bar{s} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N s_i, N \leq n$ 所述位于前侧的所述电磁铁中的励磁电流 I_1 和所述位于后侧的

所述电磁铁中的励磁电流 I_m 分别激发方向相反的磁场,所述方向相反的磁场分别产生互斥的作用力,使所述路轨永磁体阵列与所述车载永磁体阵列不接触。

[0060] 可选的,如上所述的磁电混合悬浮轨系统中,所述路轨永磁体阵列或所述车载永磁体阵列包括有沿直线排列的至少一列钕铁硼永磁体,每一列中的所述各钕铁硼永磁体之间留有第一间隙;所述沿直线排列的钕铁硼永磁体至少包括两层,所述各层钕铁硼永磁体之间还设有环氧树脂隔层,所述环氧树脂隔层的厚度至少为所述钕铁硼永磁体厚度的3/10。

[0061] 本发明的优势在于:

[0062] (1) 悬挂式磁悬浮列车在竖直y方向上能够稳定悬浮,y方向具有很大的悬浮刚度,在y方向上不需要人为的控制即可稳定悬浮。

[0063] (2) 磁电混合悬浮轨系统采用模块化方式加工生产,结构简单、调试方便,易安装、维修方便。

[0064] (3) 磁电混合悬浮轨系统由永磁体提供悬浮力,由安装在车载磁 电轨上的电磁铁的电磁力、永磁体在x方向的吸引力 F_{+x} 、永磁体在x 反方向吸引力 F_{-x} 提供导向力,该系统耗能低,符合现代“绿色交通”理念。

[0065] 本领域普通技术人员可以理解:以上所述仅为本发明的优选实施例 而已,并不用于限制本发明,尽管参照前述实施例对本发明进行了详细 的说明,对于本领域的技术人员来说,其依然可以对前述各实施例记载 的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换。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。

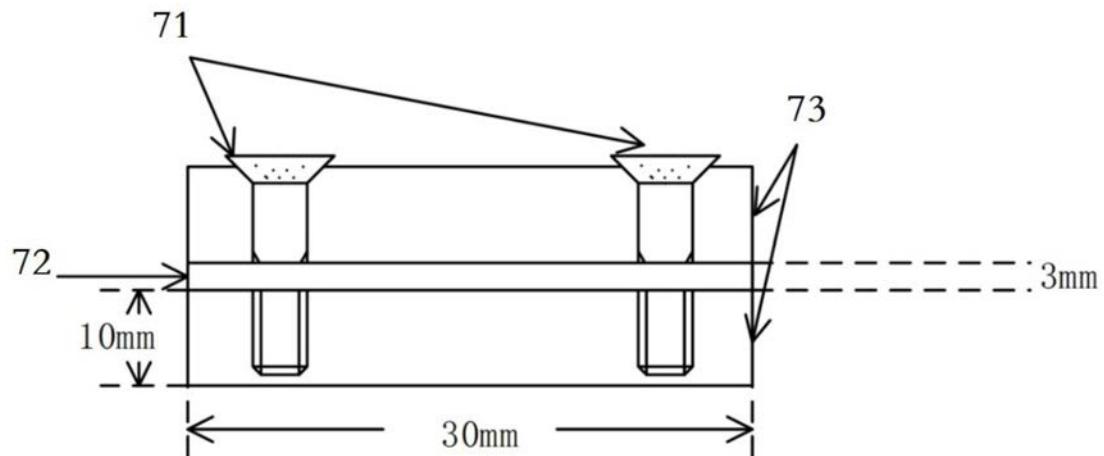


图1a

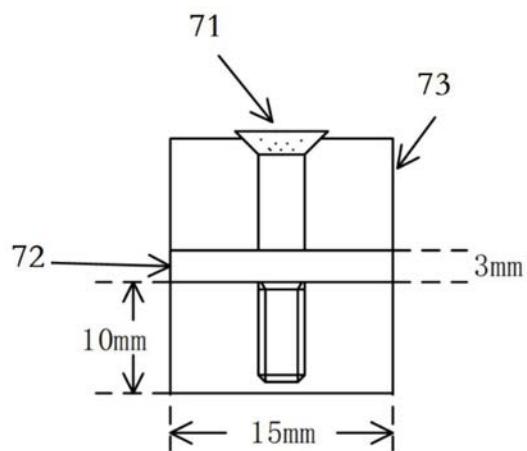


图1b

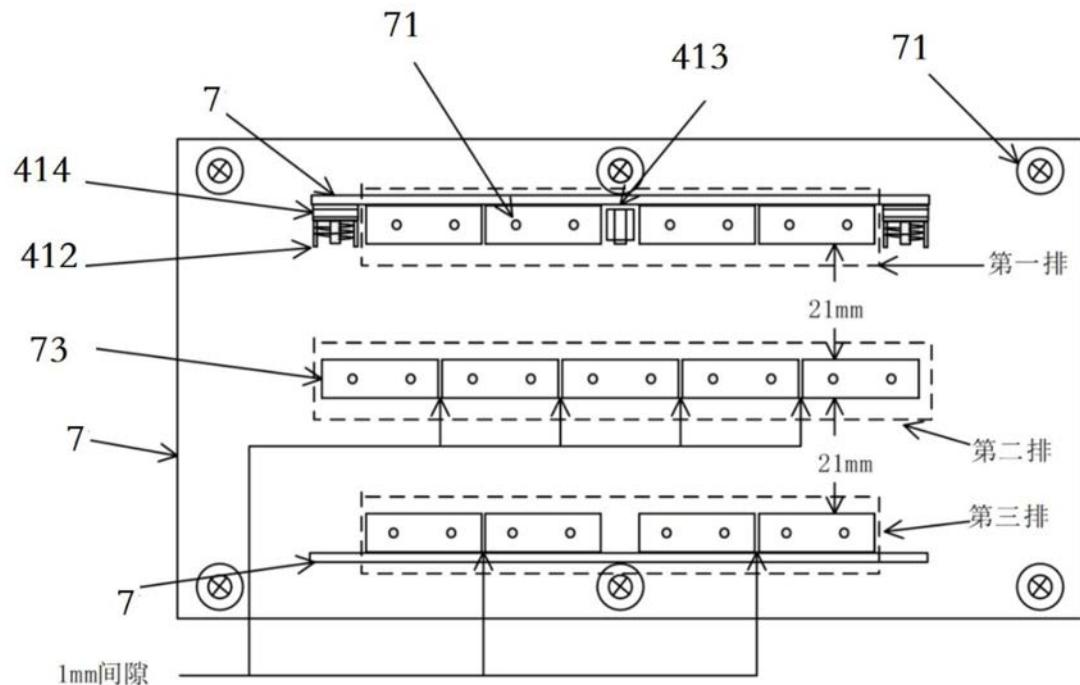


图2

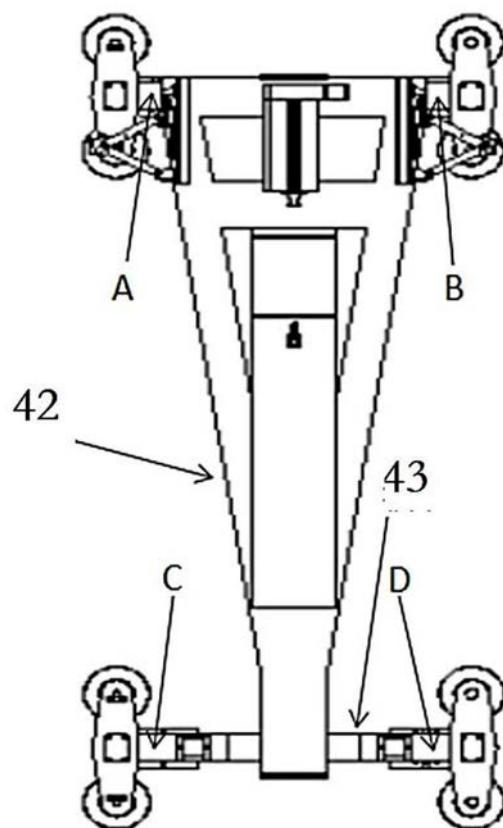


图3

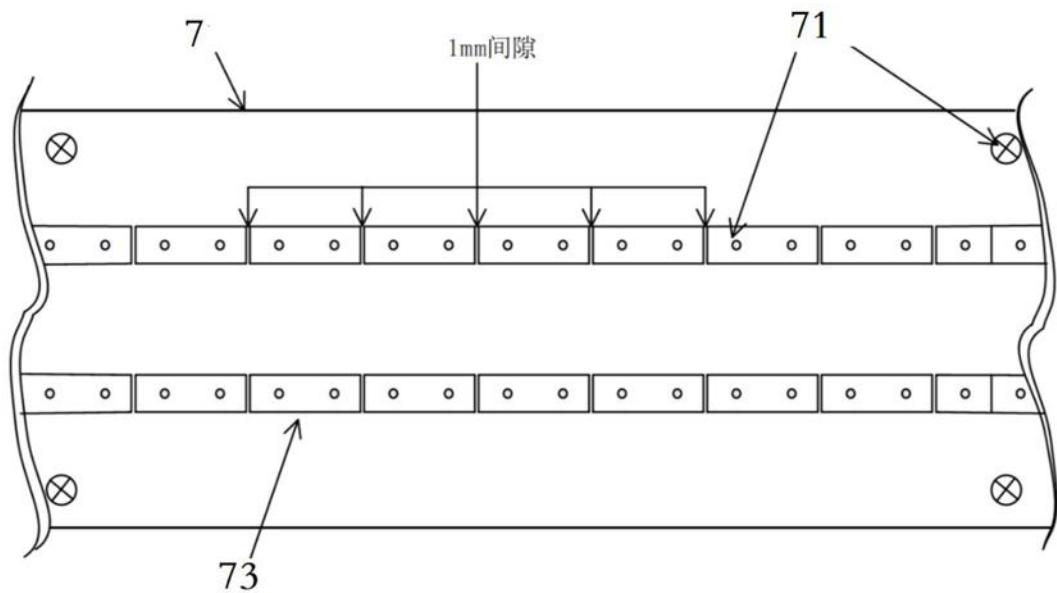


图4

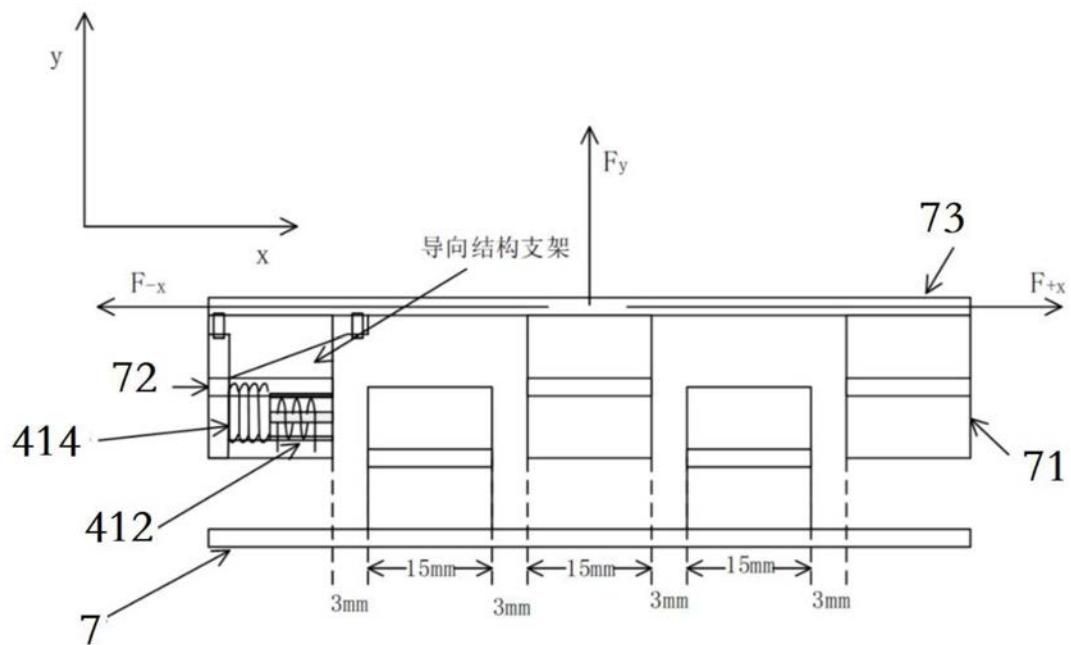


图5a

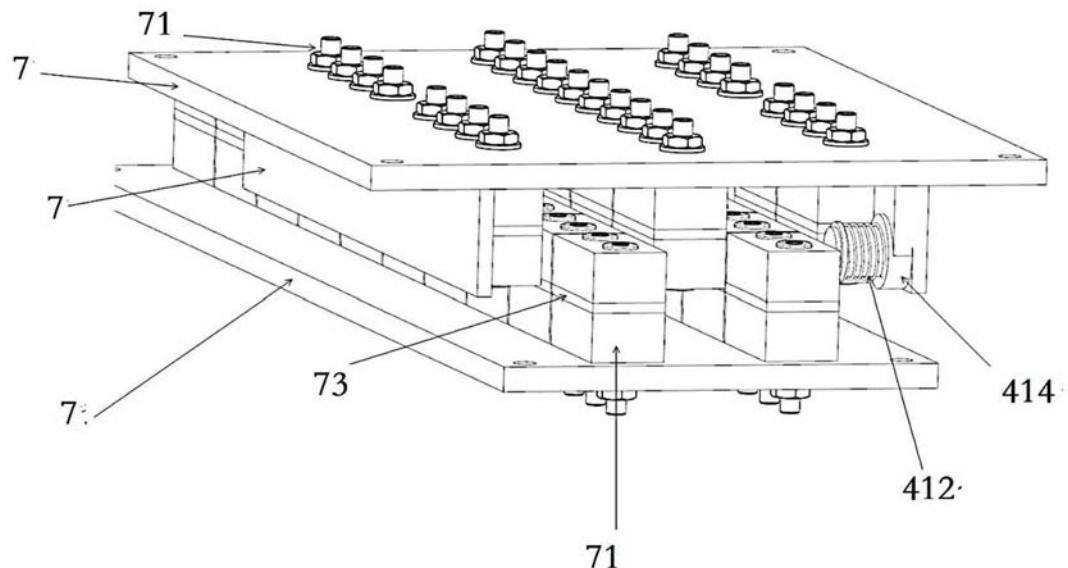


图5b

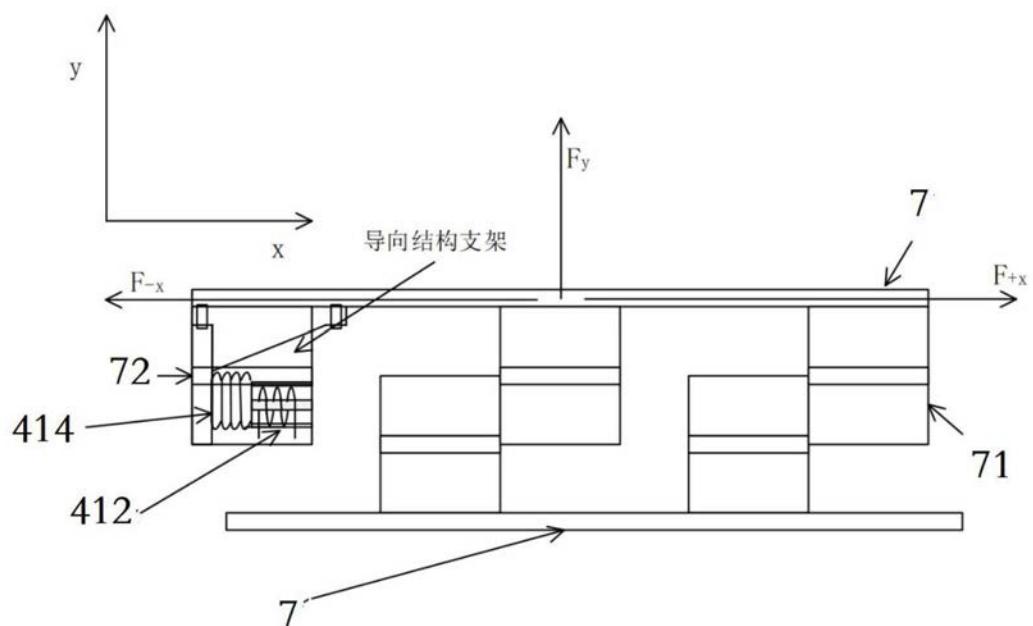


图6

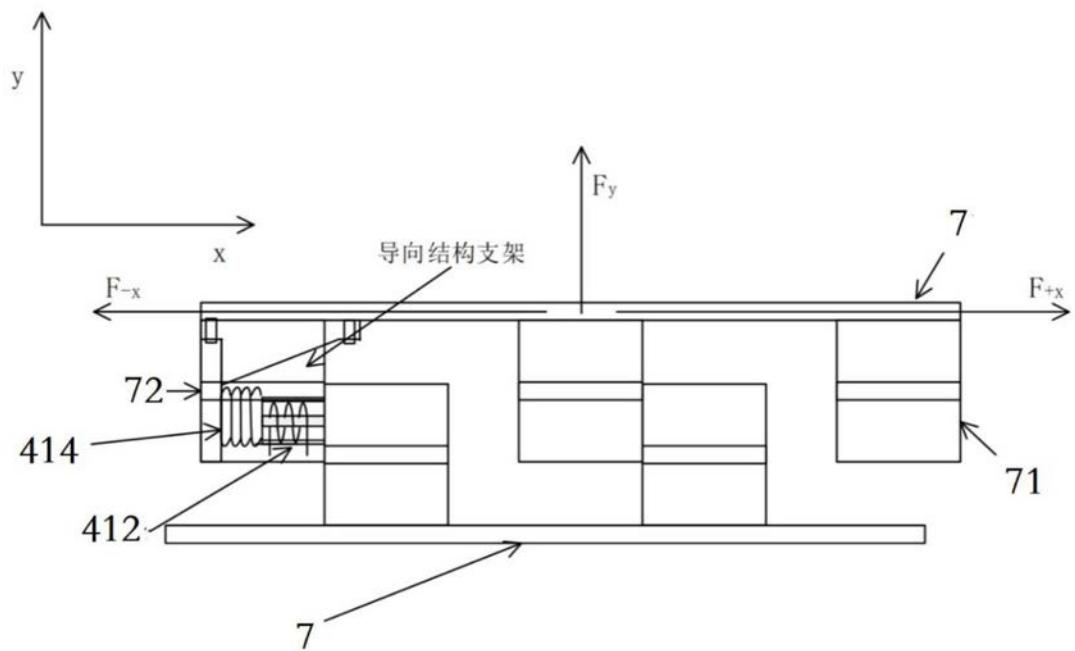


图7

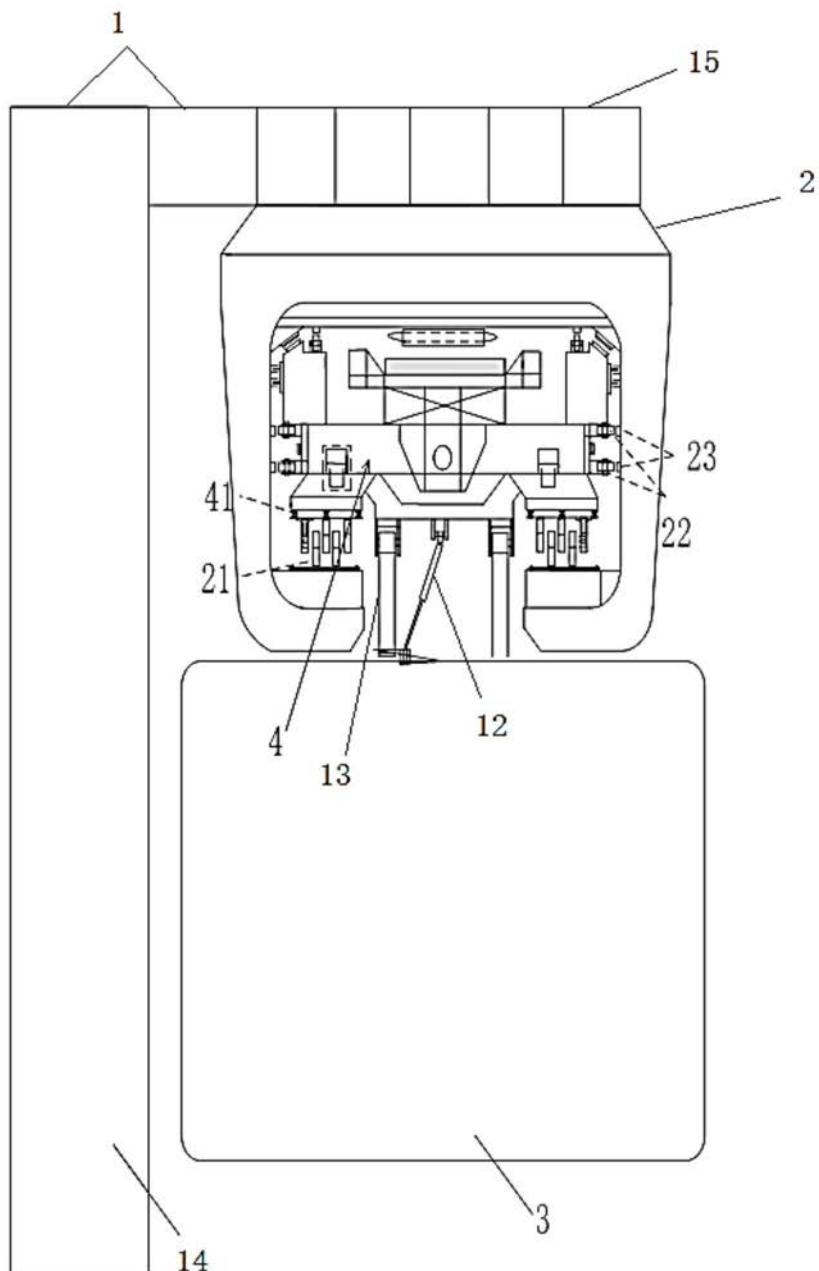


图8

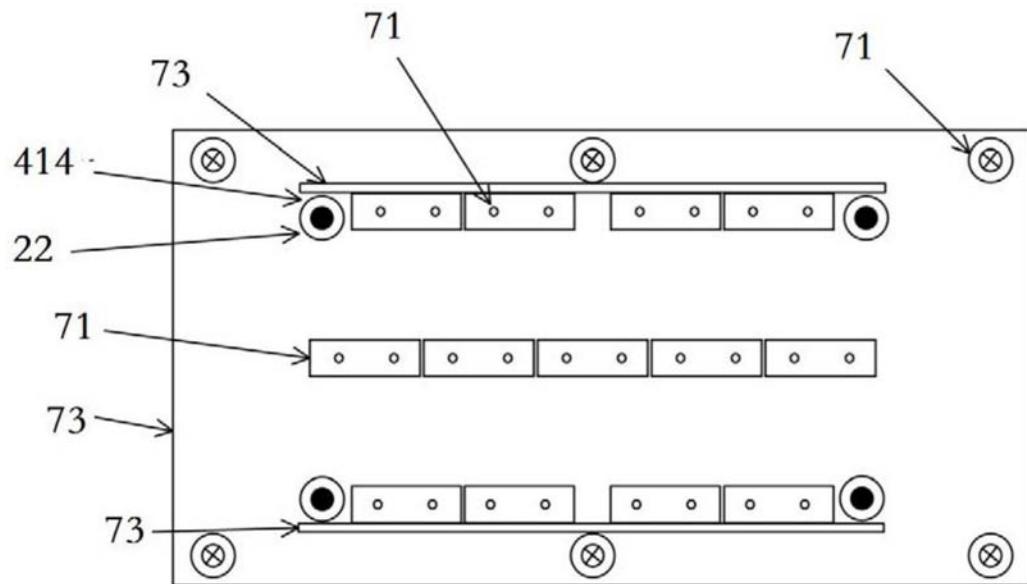


图9a

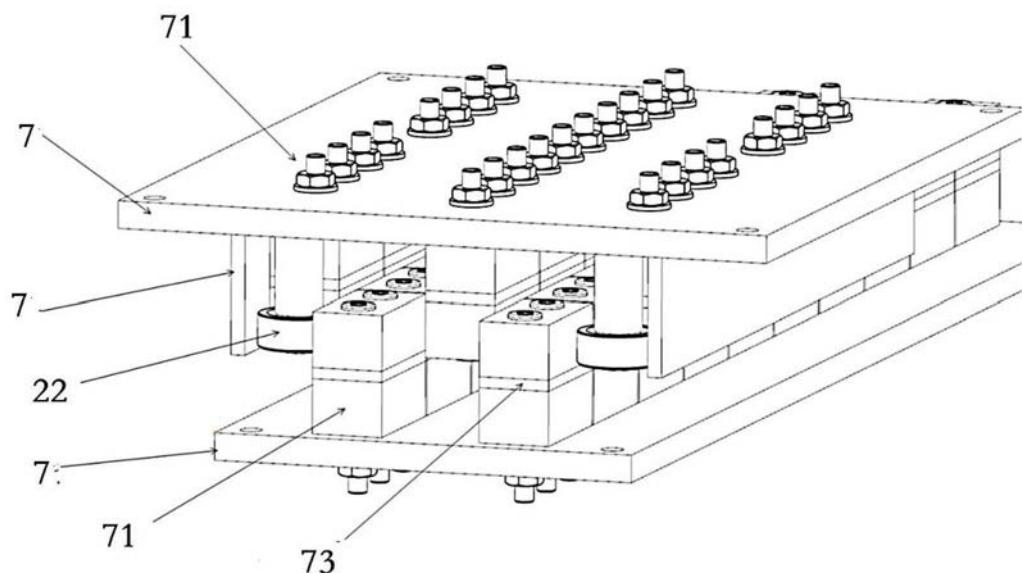


图9b

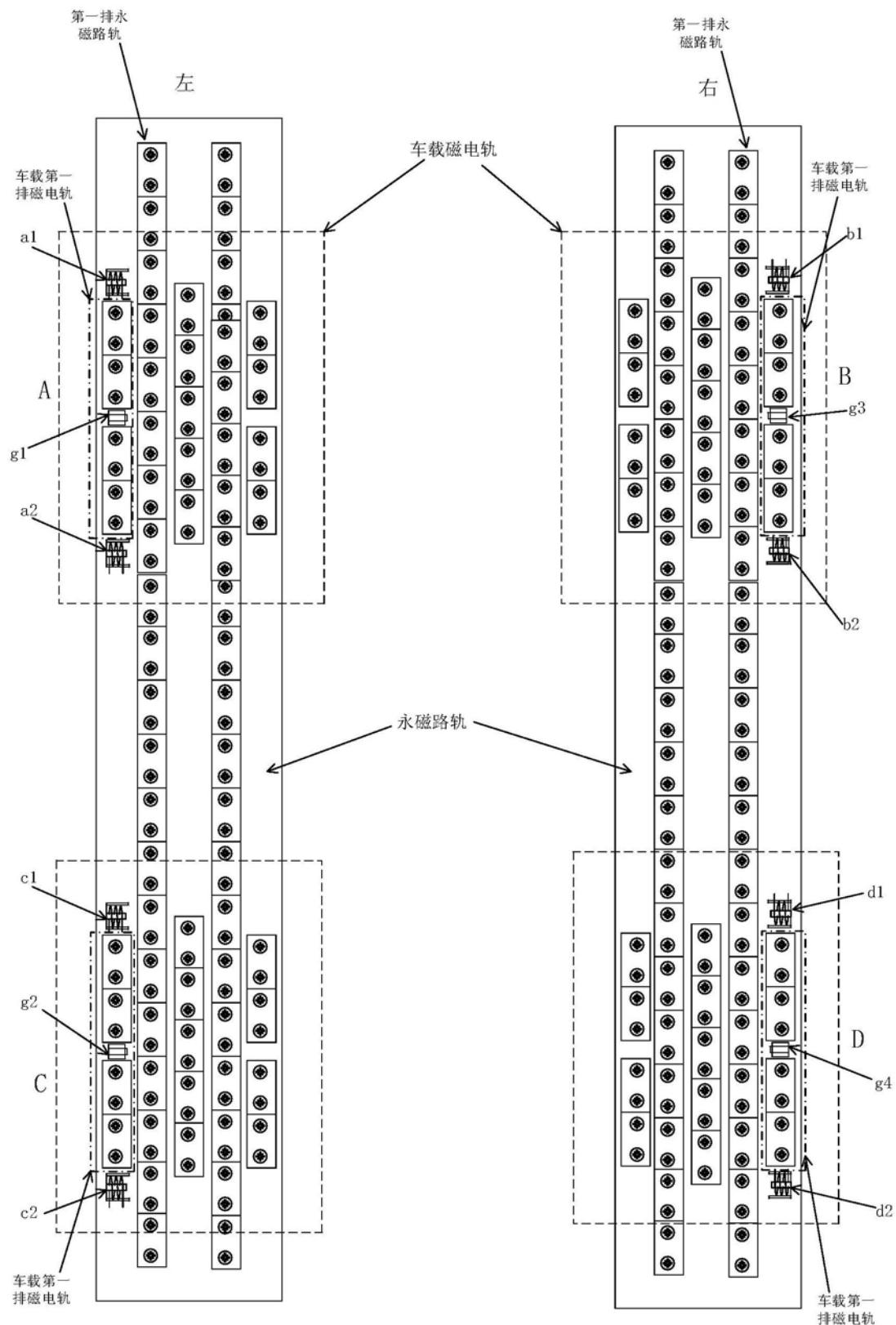


图10

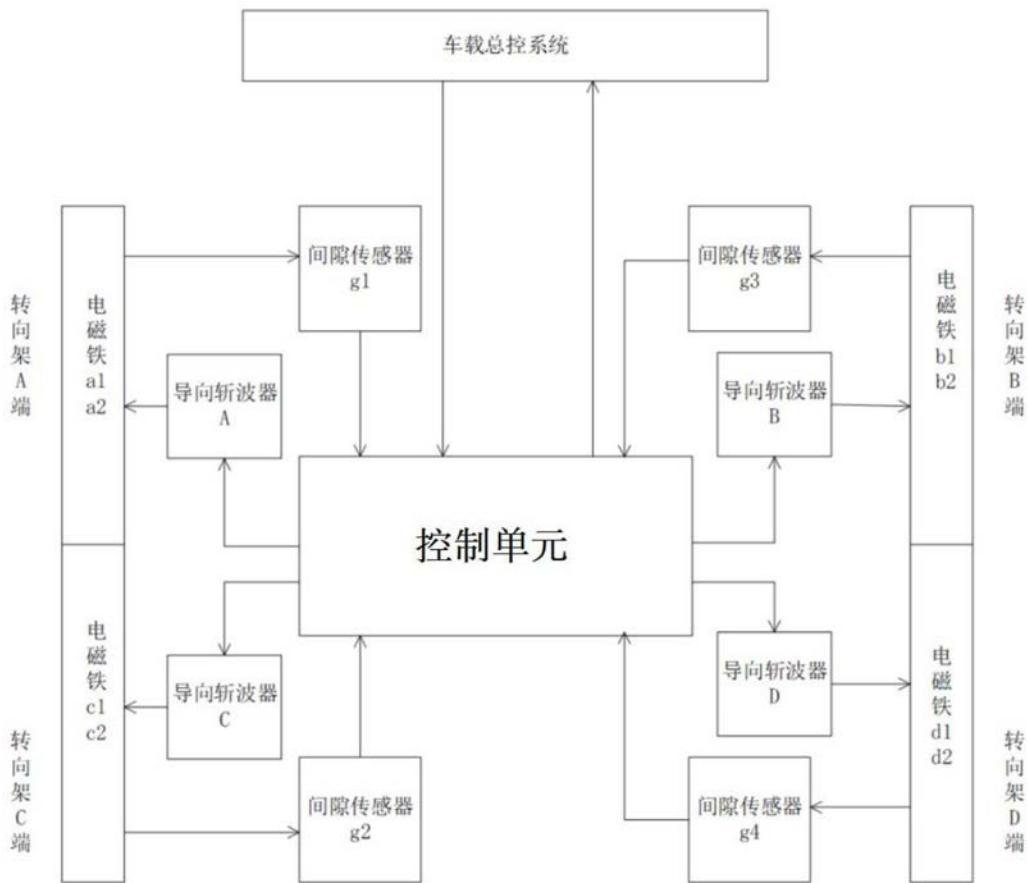


图11

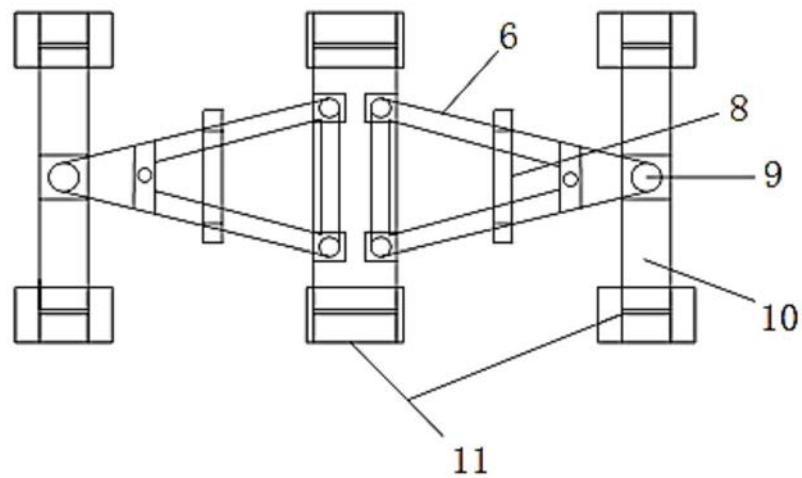


图12

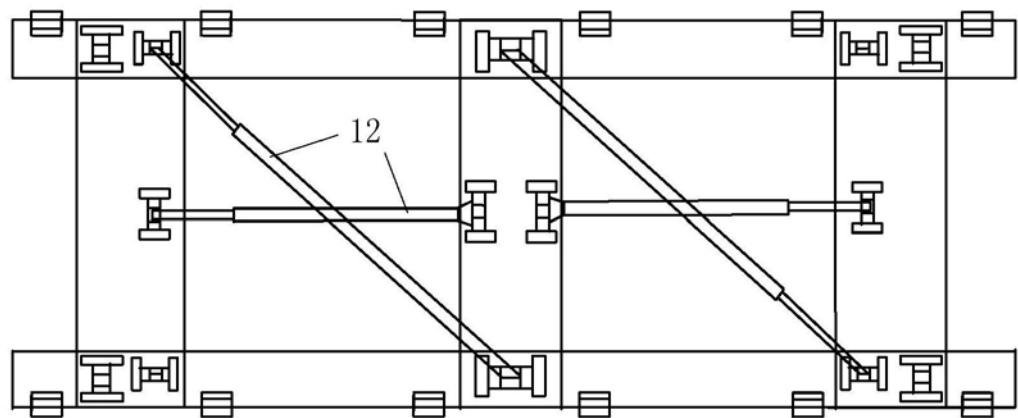


图13