

滚动机器人

相关申请的交叉引用

[0001] 本申请要求于 2023 年 10 月 10 日向中国国家知识产权局提交
5 的中国申请 CN 202311301294.7 的优先权。

技术领域

[0002] 本发明涉及机器人技术领域，具体涉及一种滚动机器人。

10

背景技术

[0003] 滚动机器人是移动式机器人的一种，是自身为回转体结构，
通过驱动源带动自身回转体滚动前进的机器人。在一些特殊的比较恶劣的
环境下，一些传统轮式或足式机器人无法胜任工作。而滚动机器人由于本
身结构上的特性，具有极大的灵活性、抗干扰性和抗倾倒性等特殊的优势，
15 使之无论在沙地还是草地等不平整恶劣的路况下，都能够快速地运动。同
时滚动机器人将内部机构和大部分传感器密封于球壳内部，对于外部的潮
湿、灰尘等不利环境因素进行了很好的隔绝。密闭的结构也使得机器人具
有一定的两栖能力。相较于足式机器人消耗能量在维持自身的姿态平衡上，
滚动机器人只需通过驱动重摆改变机器人重心即可进行运动，滚动机器人
20 能够节省许多能量，有很强的续航能力。滚动机器人两侧的挂载平台可以
根据实际需要装载不同的传感器或人机交互设备，以此拓展其应用范围和
应用领域。随着研究的深入，其在生活娱乐、工业农业、国防安全等领域
将发挥越来越大的作用。但是，由于滚动机器人的动力学模型及运动学模

型较为复杂，其具有非线性，耦合性和非链式等特点，使得滚动机器人的稳定运动控制成为难题。

[0004] 传统基于重摆的滚动机器人设计思路是分别采用两个电机在两个正交的方向上（前后和左右）拉动重摆，让滚动机器人产生前后运动和转弯。但是由于重摆只有一个，前后运动和左右运动无法分开，这就导致在据此建立的运动学和动力学模型具有强耦合性，控制难度极高。同时，由于滚动机器人单点接触地面、容易晃动的运动特性，整个机体在前进的过程中翻滚角容易受到崎岖地面扰动，其变化将呈现周期性变化，且周期和前进速度呈正相关。这就导致低速下建立的模型在高速情况下并不适用，使模型愈发复杂，控制难度随速度的增大而直线上升。复杂的模型导致现有的滚动机器人都难以在高速运动中保持稳定。

[0005] 重摆控制设计是一种常见的滚动机器人运动模式，具有执行机构简单的优势，但是在翻滚角稳定控制时，由于重摆的左右摆动和重摆在左右方向上稳定抬起一定角度都会对机体产生扭矩，而两种效应相互耦合，且重摆在左右方向上抬起一定角度会造成机体的倾斜，因此在控制时，通常只能无视重摆摆动造成的瞬间扭矩的影响，以及速度带来的机体翻滚角周期变化，降低前进速度和重摆摆动速度以获得可控制的简化模型。但是该模型由于经过了简化，因此不适用于高速情况，并且转向能力受到了限制。

[0006] 进而，现有的滚动机器人存在以下问题：

[0007] 1) 回转体的壳体，如：球形、椭球形、横置的鼓型等，与地面形成点接触，是一种非稳态的结构。它既可以通过主动的改变翻滚角来

转弯，也容易受到地面扰动或者转弯的离心力而产生晃动。在机器人速度越快时该晃动越难以控制。

[0008] 2) 滚动机器人通过拉动重摆来前后运动和转弯，但由于只有一个重摆，所以会形成耦合，在滚动机器人开始晃动后增加了控制难度。

5

发明内容

[0009] 本发明的目的在于提供一种基于角动量守恒的复合控制驱动模式的滚动机器人，以解决滚动机器人稳定高速运动与灵活转向的控制问题。

10 [0010] 针对以上问题，根据本发明，提出了一种滚动机器人，包括：壳体，形成为回转体的形状，并且壳体的滚动面的外表面与旋转轴线的距离形成为从中间向两侧逐渐减小；两个支撑轮毂，固定到所述壳体两侧，所述支撑轮毂和所述壳体的外表面构成所述滚动机器人的滚动外形的一部分；主支撑构件，在所述壳体内在左右方向上水平地延伸并在其两端通
15 过轴承连接到所述两个支撑轮毂，使得所述壳体和所述两个支撑轮毂能够相对于所述主支撑构件旋转；重摆，所述重摆通过在所述滚动机器人静止时在竖直方向上延伸的重摆支架连接到所述主支撑构件，并相对于所述主支撑构件在左右方向上可摆动；转动质量块，以在所述滚动机器人静止时在前后方向上水平地延伸的转动轴线可旋转地连接到所述主支撑结
20 构件，所述前后方向垂直于所述左右方向和所述竖直方向；主驱动电机，配置为驱动所述主支撑构件、所述重摆、所述转动质量块在前后方向上转动；重摆驱动电机，配置为驱动所述重摆相对于所述主支撑构件在左

右方向上摆动；以及转动质量块驱动电机，配置为驱动所述转动质量块相对于所述主支撑结构件在左右方向上转动。

[0011] 根据本发明的滚动机器人可以具有以下中的一个或多个特征。

5 [0012] 根据一个实施例，所述主驱动电机配置为通过改变所述主支撑结构件、所述重摆、所述转动质量块相对于壳体的角度，从而改变所述滚动机器人的质心的前后位置，使所述壳体获得前后滚动的力矩，实现所述滚动机器人的前后运动；所述重摆驱动电机配置为通过改变所述重摆相对于主支撑结构件和壳体的角度，从而改变所述滚动机器人的质心的左右
10 位置，并且所述转动质量块驱动电机配置为通过使所述转动质量块正反加减速转动，对所述滚动机器人施加翻滚角方向的力矩，机器人的质心左右位置的改变和转动质量块正反加减速转动两者共同作用，改变机器人的翻滚角，实现对机器人的翻滚角姿态控制，实现所述滚动机器人的弧线转弯和直线运动的姿态稳定控制。

15 [0013] 根据一个实施例，所述转动质量块的形状关于所述转动轴线旋转对称，并且其中，与所述转动质量块更靠近所述转动轴线的部分相比，更多的质量分布在更远离所述转动轴线的部分。

[0014] 根据一个实施例，所述转动质量块形成为刚性轮的形式，具有布置在外周的圆环和将圆环连接到所述转动轴线的多个辐条。

20 [0015] 根据一个实施例，所述转动质量块的外切球半径是所述壳体的外切球半径的 30%-80%。

[0016] 根据一个实施例，所述转动质量块的安装轴在所述壳体的中

轴面上，安装高度在所述滚动机器人的总高度的 30%-70%，所述安装轴限定所述转动轴线。

[0017] 根据一个实施例，所述转动质量块由模具钢制成。

5 [0018] 根据一个实施例，所述重摆下端邻近所述壳体内壁的底面设置。

[0019] 根据一个实施例，所述重摆的质量为所述滚动机器人的总质量的 30%以上，所述转动质量块的质量为所述滚动机器人的总质量的 5%以上。

10 [0020] 根据一个实施例，滚动机器人还包括为所述主驱动电机、所述重摆驱动电机、所述转动质量块驱动电机供电的电源模块，所述电源模块嵌于所述重摆上，作为所述重摆的一部分。

15 [0021] 根据一个实施例，滚动机器人还包括外挂仓，所述外挂仓在所述支撑轮毂的外侧固定到所述主支撑结构件，所述外挂仓包括外挂板和固定到外挂板的护罩，所述护罩与所述支撑轮毂和所述壳体的外表面构成所述滚动机器人的滚动外形，所述外挂仓设置有外挂传感器，所述外挂传感器选自以下中的一个或多个：GPS 定位模块、六轴陀螺姿态传感器模块、轮速计、相机、激光雷达、毫米波雷达，所述壳体内设置有内置传感器，所述内置传感器选自以下中的一个或多个：GPS 定位模块、六轴陀螺姿态传感器模块、轮速计。

20 [0022] 根据一个实施例，所述壳体为左右对称结构，并且，所述壳体形成为以下形状或以下形状的一部分：球形、椭球形、横置的鼓型。

[0023] 与现有技术相比，本发明的有益效果包括但不限于：

[0024] 1、本发明通过转动质量块驱动电机驱动的转动质量块作为力矩的输入，利用角动量守恒对滚动机器人施加翻滚角方向的力矩，使滚动机器人获得相对于惯性系的向心加速度。在原有机人通过改变所述重摆相对于主支撑构件和壳体的角度，从而改变所述滚动机器人的质心的左右位置进而改变翻滚角的控制方法上，增加了一个控制手段，两者共同影响翻滚角。且转动质量块对滚动机器人施加的影响十分单一且迅速，可以实现动力学模型及运动学模型上的解耦化和线性化控制，大大降低了这类机器人的控制难度。同时由于转动质量块对抑制高频噪声的优越性，使得滚动机器人可以突破原本的速度限制，速度上限提高4倍以上，达到接近30公里每小时的速度，并且几乎不出现翻滚角的抖动。

[0025] 2、本发明利用六轴陀螺姿态传感器获取的原始数据对滚动机器人姿态进行更新，将转动质量块的驱动和重摆利用前后、左右摆动来改变整体的质心位置的驱动的方式相结合，通过控制算法以控制滚动机器人的姿态，使得滚动机器人实现不抖动的高速直线运动。

[0026] 3、本发明同时还通过各驱动电机相互协调工作驱动壳体以不同的方式进行运动，通过同时调节转动质量块的转速和重摆抬起的高度可以实现滚动机器人短暂原地旋转或实现滚动机器人的稳定弧线转弯。

附图说明

[0027] 为了更清楚地说明本发明实施例的技术方案，下文中将对本发明实施例的附图进行简单介绍。其中，附图仅仅用于展示本发明的一些实施例，而非将本发明的全部实施例限制于此。

[0028] 图 1 是示出根据本发明的滚动机器人内部的立体结构示意图；

[0029] 图 2 是示出根据本发明的滚动机器人外部的正视图；

[0030] 图 3 是示出了根据本发明的滚动机器人的转动质量块的示例性结构的示意图；

[0031] 图 4 是示出根据本发明的滚动机器人的连接组件的示意图；

[0032] 图 5 是示出根据本发明的滚动机器人的转动质量块驱动组件的侧视示意图。

[0033] 图中：1、壳体；2、主支撑结构件；3、连接组件；31、轮毂
10 连结件；32、支撑轮毂；4、重摆；41 重摆支架；5、转动质量块；6、主
驱动组件；61、主驱动电机；62、主电机齿轮；63、驱动齿圈；7、重摆驱
动组件；71、重摆驱动电机；72、重摆电机齿轮；73、重摆齿圈；8、转动
质量块驱动组件；81、转动质量块驱动电机；82、电机同步带轮；83、同
步带；84、传动轴同步带轮；85、传动轴；9、轴套；10、电源模块；11、
15 灯；12、激光雷达；13、相机；14、六轴陀螺姿态传感器模块。

具体实施方式

[0034] 为了使得本发明的技术方案的目的、技术方案和优点更加清
楚，下文中将结合本发明具体实施例的附图，对本发明实施例的技术方案
20 进行清楚、完整地描述。附图中相同的附图标记代表相同的部件。需要说
明的是，所描述的实施例是本发明的一部分实施例，而不是全部的实施例。
基于所描述的本发明的实施例，本领域普通技术人员在无需创造性劳动的

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。

[0035] 除非另作定义，此处使用的技术术语或者科学术语应当为本发明所属领域内具有一般技能的人士所理解的通常意义。本发明专利申请说明书以及权利要求书中使用的“第一”、“第二”以及类似的词语并不表示任何顺序、数量或者重要性，而只是用来区分不同的组成部分。“包括”或者“包含”等类似的词语意指出现该词前面的元件或物件涵盖出现在该词后面列举的元件或者物件及其等同，而不排除其他元件或者物件。“连接”或者“相连”等类似的词语并非限于物理的或者机械的连接，而是可以包括电性的连接，不管是直接的还是间接的。“上”、“下”、“左”、“右”等仅用于表示相对位置关系，当被描述对象的绝对位置改变后，则该相对位置关系也可能相应地改变。

[0036] 以下通过描述示例实施例的方式对本发明进行详细描述。

[0037] 请参阅图 1-2，根据本发明，提供了一种滚动机器人，包括壳体 1，形成为回转体的形状，并且壳体的滚动面的外表面与旋转轴线的距离形成为从中间向两侧逐渐减小。进一步地，壳体 1 可以为左右对称结构。例如，壳体可以形成为以下形状或以下形状的一部分：球形、椭球形、横置的鼓型。

[0038] 滚动机器人还包括固定到壳体 1 两侧的支撑轮毂 32，以及在壳体 1 内在左右方向上水平地延伸的主支撑结构件 2。例如，壳体 1 上开设有与支撑轮毂 32 配合使用的定位孔，壳体 1 与壳体支撑轮毂 32 通过定位孔用螺丝连接固定。主支撑结构件 2 的两端通过轴承连接到两个支撑轮毂 32，使得壳体 1 和两个支撑轮毂 32 能够相对于主支撑结构件 2 旋转。

支撑轮毂 32 和壳体 1 的外表面构成滚动机器人的滚动外形。

[0039] 滚动机器人还可以包括外挂仓，外挂仓在支撑轮毂 32 的外侧固定到主支撑结构件 2。具体地，外挂仓可以包括外挂板和固定到外挂板的护罩，护罩可以与支撑轮毂 32 和壳体 1 的外表面构成滚动机器人的滚动外形，然而，需要理解的是，滚动机器人向前滚动时，壳体 1 和支撑轮滚 5 32 向前滚动，而主支撑结构件 2 和固定到主支撑结构件 2 的外挂仓不随壳体 1 和支撑轮滚 32 滚动。替代地，外挂仓可以不包括护罩，仅包括可以用于悬挂器件（例如下面描述的外挂传感器）的外挂板或外挂框架。

[0040] 外挂仓可以设置有外挂传感器，外挂传感器可以选自以下中的一个或多个：GPS 定位模块、六轴陀螺姿态传感器模块 14、轮速计、相机、激光雷达、毫米波雷达。壳体 1 内可以设置有内置传感器，内置传感器可以选自以下中的一个或多个：GPS 定位模块、六轴陀螺姿态传感器模块 14、轮速计。作为示例，GPS 定位模块、六轴陀螺姿态传感器模块 14、轮速计在壳体内安装到主支撑结构件 2，用于获取滚动机器人、特别是主 10 支撑结构件 2 的位置和姿态。具体地，转速计通过电机的转动圈数和转动速度计算得到壳体 1 的速度和运动距离；六轴陀螺姿态传感器用于获取主支撑结构件 2 在各方向上的转动角度；GPS 定位模块用于获取绝对定位信息，可以与上述两者融合从而获得更精确的位置信息。作为示例，相机 13、激光雷达 12、毫米波雷达可以分别安装到壳体 1 两侧的外挂仓，用于标记 15 自身位置，获取图像信息等环境信息，用于决定自身工作状态、智能人机交互等工作。壳体 1 内还可以设置有模型预测控制器、控制电路板、通信模块等。模型预测控制器、控制电路板用于控制滚动机器人的运动，通信 20

模块与配套遥控器进行通信，用来控制滚动机器人运动。外挂仓还可以设置有灯 11，用于照明，如图 2 所示。

[0041] 如图 1 所示，根据本发明的滚动机器人还包括重摆 4，重摆 4 通过在滚动机器人静止时在竖直方向上延伸的重摆支架 41 连接到主支撑结构件 2，并相对于主支撑结构件 2 在左右方向上可摆动。优选地，重摆 4 下端邻近壳体 1 内壁的底面设置，即重摆离滚动机器人的几何中心尽可能远，使得重摆 4 摆动时施加的力矩尽可能大。优选地，重摆 4 的质量为滚动机器人的总质量的 30%以上，使得重摆 4 摆动时施加的力矩尽可能大。

[0042] 如图 1 所示，根据本发明的滚动机器人还包括转动质量块 5，转动质量 5 块可旋转地连接到所述主支撑结构件 2，在所述滚动机器人静止时转动质量块 5 的转动轴线在前后方向上水平地延伸。优选地，转动质量块 5 的形状关于转动轴线旋转对称，旋转对称的设计更有利于转动质量块 5 的转动惯量计算和控制。例如，如图 3 所示，转动质量块 5 的形状可以是三角形，八边形，杠铃形，圆形，轮形等。优选地，与转动质量块 5 更靠近转动轴线的部分相比，更多的质量分布在更远离转动轴线的部分，从而在相同的质量下能够获得更大的转动惯量。优选地，转动质量块 5 形成为刚性轮的形式，具有布置在外周的圆环和将圆环连接到转动轴线的多个辐条，如图 1 所示，从而更多的质量布置在外周，且旋转对称，结构稳定。优选地，转动质量块 5 的外切球半径是壳体 1 的外切球半径的 30%-80%，例如为 40%，50%，60%，70%，75%，半径越大能够获得越大的转动惯量。优选地，转动质量块 5 的安装轴在壳体 1 的中轴面上，安装高度在滚动机器人的总高度的 30%-70%，安装轴限定转动质量块 5 转动轴线。此处的中

轴面是指垂直于左右方向且过壳体 1 的中心的平面。优选地，转动质量块 5 由模具钢制成，但可以理解，其他具有足够密度的材料或材料组合也可以，例如铝件和铅块的组合。优选地，转动质量块 5 的质量为滚动机器人的总质量的 5%以上，以便能够获得足够的转动惯量。

5 **[0043]** 根据本发明的滚动机器人还包括主驱动组件 6，例如设置
在主支撑结构件 2 与支撑轮毂 32 交叉处。作为示例，如图 1 和 4 所示，主驱动组件 6 可以包括主驱动电机 61、主电机齿轮 62、驱动齿圈 63、以及连接组件 3。连接组件 3 可以包括轮毂连结件 31，例如轴承，以将支撑轮毂
32 连接到主支撑结构件 2。作为示例，如图 1 所示，主驱动电机 61 安装在
10 主支撑结构件 2 底部，主电机齿轮 62 连接到主驱动电机 61 上，轮毂连结
件 31 安装在支撑轮毂 32 内侧，驱动齿圈 63 安装在轮毂连结件 31 内侧，
驱动齿圈 63 与主电机齿轮 62 啮合。主驱动电机 61 转动时，将通过主电机
齿轮 62 和驱动齿圈 63 的齿轮传动改变主支撑结构件 2、重摆 4 和转动质
量块 5 相对于壳体 1 在前后方向上的角度，从而改变滚动机器人的质心的
15 前后位置，使壳体 1 获得前后滚动的力矩，实现滚动机器人的前后运动。
使用的主驱动电机 61 应附带编码器来检测重摆驱动电机 71 的行进状态。
需要理解的是，根据本发明，主驱动电机 61 对于滚动机器人前后运动的驱
动是必要的，然而，传动方式可以不同于上面作为示例描述的主驱动组件
6 中的传动部件和/或位置。

20 **[0044]** 根据本发明的滚动机器人还包括重摆驱动组件 7，例如设置
在主支撑结构件 2 与重摆支架 41 的交叉处。作为示例，如图 1 所示，重摆
驱动组件 7 可以包括重摆驱动电机 71、重摆电机齿轮 72、重摆齿圈 73。

主支撑结构件 2 例如为如图 1 所示的框架结构，重摆驱动电机 71 安装在主支撑结构件 2 内部，而变速齿轮组安装在主支撑结构件 2 外侧，重摆电机齿轮 72 安装在驱动电机 71 上，重摆齿圈 73 通过螺丝安装在重摆 4 根部，即重摆齿圈 73 在重摆 4 和主支撑结构件 2 的连接位置处固连到重摆 4，齿圈圆心与重摆摆动轴心重合，重摆齿圈 73 与重摆电机齿轮 72 啮合。重摆驱动电机 71 转动时，将通过重摆电机齿轮 72 和重摆齿圈 73 的齿轮传动改变重摆 4 相对于主支撑结构件 2 和壳体 1 在左右方向上的角度，从而改变滚动机器人的质心的左右位置，配合主驱动电机 61 向前驱动滚动机器人，实现滚动机器人的弧线转弯。使用的重摆驱动电机 71 应附带编码器来检测重摆驱动电机 71 的行进状态。需要理解的是，根据本发明，重摆驱动电机 71 对于滚动机器人左右拐弯的驱动是必要的，然而，传动方式可以不同于上面作为示例描述的重摆驱动组件 7 中的传动部件和/或位置。

[0045] 根据本发明的滚动机器人还包括转动质量块驱动组件 8，例如设置在主支撑结构件 2 与转动质量块 5 交叉处。作为示例，如图 5 所示，转动质量块驱动组件 8 可以包括转动质量块驱动电机 81、电机同步带轮 82、同步带 83、传动轴同步带轮 84、传动轴 85。具体地，转动质量块驱动电机 81 安装在主支撑结构件 2 的上方。传动轴 85 穿过重摆 4 和主支撑结构件 2 的连接处，过壳体 1 的形心，通过轴承座安装在主支撑结构件 2 内部。转动质量块 5 安装在传动轴 85 一端，传动轴同步带轮 84 安装在传动轴 85 另一端，电机同步带轮 82 和同步带 83 安装在同侧。转动质量块驱动电机 81 安装在主支撑结构件 2 上端，转动质量块驱动电机 81 与电机同步带轮 82 相连。通过转动质量块驱动电机 81 驱动转动质量块 5 在左右方向上加

减转速，利用系统角动量守恒原理对滚动机器人施加精确的翻滚角方向的力矩，从而调整滚动机器人的翻滚角姿态，避免滚动机器人左右晃动。由于转动质量块 5 的安装位置在壳体的中轴面上，做到了运动学、动力学模型解耦。使用的转动质量块驱动电机 81 应附带编码器来检测转动质量块驱动电机 81 的行进状态。需要理解的是，根据本发明，转动质量块驱动电机 81 对于调整滚动机器人的翻滚角姿态是必要的，然而，传动方式可以不同于上面作为示例描述的转动质量块驱动组件 8 中的传动部件和/或位置。

[0046] 根据本发明的滚动机器人还可以包括电源模块 10，主驱动电机 61、重摆驱动电机 71、转动质量块驱动电机 81 与电源模块 10 电性连接，电源模块 10 嵌于重摆 4 上，作为重摆 4 的一部分。这样，可以将本作为负担的电源模块 10 的质量作为用于实现滚动机器人运动所需的质量的一部分，从而减轻滚动机器人的总体质量。轴套 9 安装在主支撑结构件 2 的外侧端面，轴中空腔与主支撑结构件 2 内部腔室联通，总开关、按键、外挂传感器信号传输线等均从轴套 9 内穿过到达壳体 1 外，线束均与电源模块 10 电性连接。

[0047] 下面将详细描述根据本发明的滚动机器人的工作原理。根据本发明的滚动机器人在使用时，通过与通信模块配套的遥控器进行通信，控制滚动机器人运动。主驱动电机 61 正反转时，通过主电机齿轮 62 和驱动齿圈 63 改变主支撑结构件 2、重摆 4 和转动质量块 5 相对于壳体 1 的角度，以此改变滚动机器人的质心前后位置，使壳体 1 获得前后滚动的力矩，实现机器人的前后运动。重摆驱动电机 71 正反转时，通过重摆电机齿轮 72 和重摆齿圈 73 改变重摆 4 相对于主支撑结构件 2 和壳体 1 的角度，

以此改变质心左右位置，配合主驱动电机 61 实现机器人的弧线转弯。转动质量块驱动电机 81 正反转动时，带动传动轴同步带轮 84 驱动传动轴 85 正反转动，进而驱动转动质量块 5 正反加减速转动，利用角动量守恒对滚动机器人施加翻滚角方向的力矩，使机器人获得相对于惯性系的向心加速度，
5 配合重摆驱动电机 71、正反转动时重摆电机齿轮 72 和重摆齿圈 73 改变重摆 4 左右晃动，两种共同作用快速调整平台翻滚角姿态。

[0048] 根据本发明的滚动机器人，通过转动质量块 5 在动力学模型及运动学模型上的解耦化和线性化控制，降低了控制难度，提高了控制精度。转动质量块驱动组件 8 配合主驱动组件 6，结合六轴陀螺姿态传感器
10 模块 14 获取的原始数据对滚动机器人姿态进行更新，再用滑模控制方法控制滚动机器人的姿态平衡，使得滚动机器人可以实现不抖动的高速直线运动。转动质量块驱动组件 8 配合重摆驱动组件 7 和主驱动组件 6 相互协调工作，用复合滑模控制方法驱动壳体 1 以不同的方式进行运动，通过同时调节转动质量块 5 的转速和重摆 4 抬起的高度可以实现滚动机器人短暂原
15 地旋转或实现滚动机器人不抖动的弧线转弯。

[0049] 下面将详细描述和解释根据本发明的滚动机器人的有益效果。

[0050] 根据本发明的滚动机器人增加了转动质量块 5 以及转动质量块驱动组件 8，这是本发明的发明人在解决滚动机器人控制难，特别是高速运动抖动大的问题时经过反复研究、试验后采取的开创性方案。由于转动质量块 5 与重摆 4 双重控制的种种矛盾，本不应同时采用二者，本发明的创造之处就在于理解并利用二者的矛盾。
20

[0051] 转动质量块 5 与重摆 4 的矛盾之一：转动质量块 5 的正反加速减速运动和重摆 4 的左右运动都会影响滚动机器人的翻滚角，两机构形成的力矩都是绕滚动机器人前进方向施加，使滚动机器人左右倾斜，因此转动质量块 5 和重摆 4 在控制过程中必然会相互干涉，产生矛盾与拮抗效应。

5 因此，通常不会考虑转动质量块 5 和重摆 4 两结构共同使用。

[0052] 转动质量块 5 与重摆 4 的矛盾之二：转动质量块 5 运动时，以机器人的地面接触点为支点获得力矩，由于转动惯量公式 $I=m \times r^2$ ，其转动惯量和质量成正比，和转动半径的平方成正比，因此想要转动质量块 5 获得更大的转动惯量，就需要转动质量块具有较大的重量和较高的重心，而越大的转动惯量，就意味着在相同转速下可以承载更大的能量，转动质量块 5 向单一方向输出力矩的时间更长，其对机器人施加影响的能力更大，控制效果更好。而转动质量块 5 和重摆 4 都安装于壳体 1 内的主支撑结构件 2 上，这就意味着转动质量块 5 提高性能所需的重量和高度会使机构整体重心向形心偏移，从而减弱主驱动电机 61 提供的运动性能。转动质量块 5 和重摆 4 都对质量占比有要求，而转动质量块 5 安装位置越高控制效果越好，重摆 4 安装位置越低控制效果越好，两个机构相互矛盾，因此通常不会考虑转动质量块和重摆两结构共同使用。

[0053] 根据本发明的滚动机器人加入了转动质量块 5，解放了重摆 4 的控制限制，从而提高了原本重摆 4 的输出能力，可以抬起更高的角度，输出更大的力矩。同时转动质量块 5 用于抑制滚动机器人前进过程中的进动效应，解决晃动问题。由于模型解耦，其控制难度和控制成本都大大下降。同时由于转动质量块 5 对抑制高频噪声的优越性，使得滚动机器人可

以突破原本的速度限制，速度上限提高 4 倍以上，达到接近 30 公里每小时的速度，并且几乎不出现翻滚角的抖动。

[0054] 另外，在滚动机器人运动时，主驱动电机 61 转动，拉动整个主支撑结构件 2 及固连在其上的所有机构绕壳体 1 转轴旋转，在这个过程中滚动机器人整体的重心发生了变化，带动壳体 1 转动，从而实现机器人的前进和后退。由于该运动原理的物理需求，当主支撑结构件 2 及固连在其上的所有机构整体重心偏离壳体形心越远，且占整个机器人重量的比重越大，在主驱动电机 61 转动相同角度的情况下，滚动机器人重心发生的变化就越大，滚动机器人运动性能就越好。而重摆 4 挂载于主支撑结构件 2 底部，因此作为整体机构中偏离壳体形心最远的重摆 4 重量越大，滚动机器人运动性能越好。因此，重摆 4 下端邻近壳体 1 内壁的底面设置，重摆 4 的质量为滚动机器人的总质量的 30% 以上，电源模块 10 嵌于重摆 4 上并作为重摆 4 的一部分，均有利于滚动机器人的运动性能。

[0055] 上文中参照优选的实施例详细描述了本发明所提出的滚动机器人的示范性实施方式，然而本领域技术人员可理解的是，在不背离本发明理念的前提下，可以对上述具体实施例做出多种变型和改型，且可以对本发明提出的各种技术特征、结构进行多种组合，而不超出本发明的保护范围。

权利要求书

1. 一种滚动机器人，包括：

壳体，形成为回转体的形状，并且壳体的滚动面的外表面与旋转轴线的距离形成为从中间向两侧逐渐减小；

两个支撑轮毂，固定到所述壳体两侧，所述支撑轮毂和所述壳体的外表面构成所述滚动机器人的滚动外形的一部分；

主支撑结构件，在所述壳体内在左右方向上水平地延伸并在其两端通过轴承连接到所述两个支撑轮毂，使得所述壳体和所述两个支撑轮毂能够相对于所述主支撑结构件旋转；

重摆，所述重摆通过在所述滚动机器人静止时在竖直方向上延伸的重摆支架连接到所述主支撑结构件，并相对于所述主支撑结构件在左右方向上可摆动；

转动质量块，以在所述滚动机器人静止时在前后方向上水平地延伸的转动轴线可旋转地连接到所述主支撑结构件，所述前后方向垂直于所述左右方向和所述竖直方向；

主驱动电机，配置为驱动所述主支撑结构件、所述重摆、所述转动质量块在前后方向上转动；

重摆驱动电机，配置为驱动所述重摆相对于所述主支撑结构件在左右方向上摆动；以及

转动质量块驱动电机，配置为驱动所述转动质量块相对于所述主支撑结构件在左右方向上转动。

2. 根据权利要求1所述的滚动机器人，其中，

所述主驱动电机配置为通过改变所述主支撑结构件、所述重摆、所述转动质量块相对于壳体的角度，从而改变所述滚动机器人的质心的前后位置，使所述壳体获得前后滚动的力矩，实现所述滚动机器人的前后运动；

所述重摆驱动电机配置为通过改变所述重摆相对于主支撑结构件和壳体的角度，从而改变所述滚动机器人的质心的左右位置；所述转动质量块驱动电机配置为通过使所述转动质量块正反加减速转动，对所述滚动机器

人施加翻滚角方向的力矩，机器人的质心左右位置的改变和转动质量块正反加减速转动两者共同作用，改变机器人的翻滚角，实现对机器人的翻滚角姿态控制，实现所述滚动机器人的弧线转弯和直线运动的姿态稳定控制。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的滚动机器人，其中，所述转动质量块的形状关于所述转动轴线旋转对称，并且其中，与所述转动质量块更靠近所述转动轴线的部分相比，更多的质量分布在更远离所述转动轴线的部分。

4. 根据权利要求 3 所述的滚动机器人，其中，所述转动质量块成为刚性轮的形式，具有布置在外周的圆环和将圆环连接到所述转动轴线的多个辐条。

5. 根据权利要求 1-4 中任一项所述的滚动机器人，其中，所述转动质量块的外切球半径是所述壳体的外切球半径的 30%-80%。

6. 根据权利要求 1-5 中任一项所述的滚动机器人，其中，所述转动质量块的安装轴在所述壳体的中轴面上，安装高度在所述滚动机器人的总高度的 30%-70%，所述安装轴限定所述转动轴线。

7. 根据权利要求 1-6 中任一项所述的滚动机器人，其中，所述转动质量块由模具钢制成。

8. 根据权利要求 1-7 中任一项所述的滚动机器人，其中，所述重摆下端邻近所述壳体内壁的底面设置。

9. 根据权利要求 1-8 中任一项所述的滚动机器人，其中，所述重摆的质量为所述滚动机器人的总质量的 30%以上，所述转动质量块的质量为所述滚动机器人的总质量的 5%以上。

10. 根据权利要求 1-9 中任一项所述的滚动机器人，还包括为所述主驱动电机、所述重摆驱动电机、所述转动质量块驱动电机供电的电源模块，所述电源模块嵌于所述重摆上，作为所述重摆的一部分。

11. 根据权利要求 1-10 中任一项所述的滚动机器人，还包括外挂仓，所述外挂仓在所述支撑轮毂的外侧固定到所述主支撑结构件，所述外挂仓包括外挂板和固定到外挂板的护罩，所述护罩与所述支撑轮毂和所述壳体的外表面构成所述滚动机器人的滚动外形，

所述外挂仓设置有外挂传感器，所述外挂传感器选自以下中的一个或多个：GPS 定位模块、六轴陀螺姿态传感器模块、轮速计、相机、激光雷

达、毫米波雷达，

所述壳体内设置有内置传感器，所述内置传感器选自以下中的一个或多个：GPS 定位模块、六轴陀螺姿态传感器模块、轮速计。

12. 根据权利要求 1-11 中任一项所述的滚动机器人，其中，所述壳体
- 5 为左右对称结构，并且，所述壳体形成为以下形状或以下形状的一部分：
球形、椭球形、横置的鼓型。