(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2022 年 3 月 24 日 (24.03.2022)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2022/056754 A1

(51) 国际专利分类号:
A61H 3/00 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2020/115723

(22) 国际申请日: 2020 年 9 月 17 日 (17.09.2020)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(71) 申请人: 中国科学院深圳先进技术研究院 (**SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY CHINESE ACADEMY OF SCIENCES**) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。

(72) 发明人: **赵国如 (ZHAO, Guoru)**; 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。 **王永奉 (WANG, Yongfeng)**; 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。 **宁运琨 (NING, Yunkun)**; 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。 **郑凯 (ZHENG, Kai)**; 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。 **刘利利 (LIU, Lili)**; 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。

(74) 代理人: 深圳市科进知识产权代理事务所 (普通合伙) (**SHENZHEN KEJIN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE**); 中国广东省深圳市南山区粤兴三道二号虚拟大学园产业化基地A701室, Guangdong 518055 (CN)。

(54) **Title:** FLEXIBLE LOWER LIMB EXOSKELETONS AND CONTROL METHOD THEREFOR

(54) **发明名称**: 柔性下肢外骨骼及其控制方法

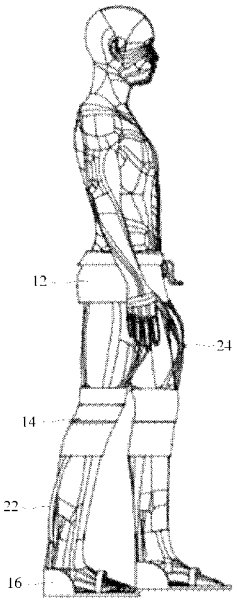


图 1

(57) **Abstract:** Flexible lower limb exoskeletons, comprising a wearing assembly, an elastic energy storage assembly, and clutch devices. The wearing assembly comprises a waist wearing member (12), knee joint wearing members (14), and shoe sole wearing members (16); the elastic energy storage assembly comprises first elastic energy storage elements (22) and second elastic energy storage elements (24); the two ends of each first elastic energy storage element (22) are respectively connected to a shoe sole wearing member (16) and a knee joint wearing member (14); the two ends of each second elastic energy storage element (24) are respectively connected to a knee joint wearing member (14) and the waist wearing member (12). The clutch devices comprise first clutch devices and second clutch devices; the first clutch devices selectively lock or release the first elastic energy storage elements (22); the second clutch devices selectively lock or release the second elastic energy storage elements (24). The flexible lower limb exoskeletons and the control method therefor can improve the utilization of gait energy and reduce metabolic energy consumption of the human body during walking.

(57) **摘要**: 一种柔性下肢外骨骼，包括穿戴组件、弹性储能组件及离合装置。穿戴组件包括腰部穿戴件（12）、膝关节穿戴件（14）及鞋底穿戴件（16），弹性储能组件包括第一弹性储能元件（22）及第二弹性储能元件（24），第一弹性储能元件（22）的两端分别连接鞋底穿戴件（16）及膝关节穿戴件（14），第二弹性储能元件（24）的两端分别连接膝关节穿戴件（14）及腰部穿戴件（12）。离合装置包括第一离合装置及第二离合装置，第一离合装置可选择地锁定或松开第一弹性储能元件（22），第二离合装置可选择地锁定或者松开第二弹性储能元件（24）。该柔性下肢外骨骼及其控制方法，可以提升步态能量的利用效率，降低人体行走过程中的代谢能耗。

WO 2022/056754 A1

[见续页]

(81) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的国家保护)：AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护)：ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布：

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

柔性下肢外骨骼及其控制方法

技术领域

本申请属于下肢康复技术领域，特别是涉及一种柔性下肢外骨骼及其控制方法。

背景技术

无动力下肢外骨骼以步态能量作为能量源，实现人体低代谢能耗、高自适应和持续稳定行走，可应用于康复医疗、运动训练及医疗设备等领域。传统的无动力下肢外骨骼包含的装置主要借助于跨越髋、踝关节的弹性连杆，吸收运动过程中的机械能，来为人体正常行走提供助力。

目前，国内外对于下肢外骨骼均有较多的研究。但是，这些无动力下肢外骨骼的主流是采用刚性弹性元件进行单关节助力，不能最大程度利用步态过程中的能量，步态能量的利用效率较低。

发明内容

本申请提供了一种柔性下肢外骨骼及其控制方法，以提升步态能量的利用效率，降低人体行走过程中的代谢能耗。

为了解决上述问题，本申请提供了如下技术方案：

一种柔性下肢外骨骼，包括：

穿戴组件，包括腰部穿戴件、膝关节穿戴件及鞋底穿戴件，所述腰部穿戴件用于穿戴于腰部，所述膝关节穿戴件用于穿戴于膝关节上，所述鞋底穿戴件

用于穿戴于脚底；

弹性储能组件，包括第一弹性储能元件及第二弹性储能元件，所述第一弹性储能元件的两端分别连接所述鞋底穿戴件及所述膝关节穿戴件，所述第二弹性储能元件的两端分别连接所述膝关节穿戴件及所述腰部穿戴件；及

离合装置，包括第一离合装置及第二离合装置，所述第一离合装置安装于所述膝关节穿戴件上，所述第一离合装置可选择地锁定或松开所述第一弹性储能元件，所述第二离合装置安装于所述腰部穿戴件上，所述第二离合装置可选择地锁定或者松开所述第二弹性储能元件。

本申请实施例采取的技术方案还包括：所述第一弹性储能元件和所述第二弹性储能元件上均设有倒刺，所述第一离合装置和所述第二离合装置均包括摆杆及摆动组件，所述摆动组件安装于对应的穿戴件上，所述摆动组件与所述摆杆连接以驱动所述摆杆摆动，以使所述摆杆与所述倒刺啮合或者分离。

本申请实施例采取的技术方案还包括：所述摆动组件包括安装架、动力源、传动带及齿轮，所述动力源安装于所述安装架上，所述齿轮可转动地设置于所述穿戴件上，所述动力源通过所述传动带驱动所述齿轮往复旋转，所述摆杆与所述齿轮连接。

本申请实施例采取的技术方案还包括：所述传动带包括钢丝绳及齿轮带，所述钢丝绳的一端与所述动力源的输出端连接，所述钢丝纲的另一端与所述安装架滑动连接，所述齿轮带连接在所述钢丝绳之间，所述齿轮带与所述齿轮相啮合，所述动力源驱动所述钢丝绳往复移动，使所述齿轮带带动所述齿轮往复旋转。

本申请实施例采取的技术方案还包括：所述安装架上设有挡板，所述挡板能够与所述摆杆抵接，以保持所述摆杆与所述倒刺的啮合。

本申请实施例采取的技术方案还包括：所述膝关节穿戴件上设有第一调节机构，所述第一调节机构用于调节所述第一弹性储能元件的起始长度；和/或

所述腰部穿戴件上设有第二调节机构，所述第二调节机构用于调节所述第二弹性储能元件的起始长度。

本申请实施例采取的技术方案还包括：还包括信息采集模块，所述信息采集模块包括压力传感器、关节角度传感器和肌电传感器，所述压力传感器布置于所述鞋底穿戴件内，所述关节角度传感器用于设置于下肢关节处，所述肌电传感器用于安装于下肢肌肉上。

本申请实施例采取的技术方案还包括：所述信息采集模块还包括第一拉力传感器和第二拉力传感器，所述第一拉力传感器安装于所述第一弹性储能元件与所述膝关节穿戴件的连接处，所述第二拉力传感器安装于所述第二弹性储能元件与所述腰部穿戴件的连接处。

本申请实施例采取的又一技术方案为：一种如上述任意一项所述的柔性下肢外骨骼的控制方法，所述控制方法包括以下步骤：

判定足跟是否着地，若足跟着地，则第一离合装置将第一弹性储能元件锁定，所述第一弹性储能元件被拉伸，存储步态能量；

判断足跟是否离地，若足跟离地，则所述第一离合装置将所述第一弹性储能元件松开，所述第一弹性储能元件回缩，释放步态能量进行肌力补偿；

判断足撑或足尖是否着地，若足撑或足尖着地，则第二离合装置将第二弹性储能元件锁定，第二弹性储能元件被拉伸，存储步态能量；

判断足尖是否离地，若足尖离地，则所述第二离合装置将所述第二弹性储能元件松开，所述第二弹性储能元件回缩，释放步态能量进行肌力补偿。

本申请实施例采取的技术方案还包括：所述控制方法还包括以下步骤：

获取所述第一弹性储能元件和所述第二弹性储能元件的拉伸力和伸长量，计算出所述第一弹性储能元件和所述第二弹性储能元件产生的功，并进一步计算获得存储步态能量的效率。

相对于现有技术，本申请实施例产生的有益效果在于：上述柔性下肢外骨骼及其控制方法，借助弹性储能元件储存步态能量，采用离合装置在恰当的时刻进行释放能量，并协助肌肉沿肌力补偿路径进行助力，以提升步态能量的利用效率，降低人体行走过程中的代谢能耗。同时，第一弹性储能元件储存的能量用于助力踝关节，第二弹性储能元件储存的能量用于助力髋关节，能够同时助力下肢的两个关节，可以提高步态能量的利用效率。

附图说明

图 1 为申请的柔性下肢外骨骼穿戴于人体上的示意图；

图 2 为一实施方式中离合器锁定第一弹性储能元件的示意图；

图 3 为图 2 所示的离合器松开第一弹性储能元件的示意图；

图 4 为图 2 中离合器的结构示意图；

图 5 为一实施方式中柔性下肢外骨骼的控制方法的流程图；

图 6 为人体运动行走过程中弹性能量存储与弹性能量释放的示意图。

附图中各标号的含义为：

12-腰部穿戴件；14-膝关节穿戴件；16-鞋底穿戴件；22-第一弹性储能元件；24-第二弹性储能元件；26-倒刺；30-离合器；32-摆杆；34-摆动组件；341-安装架；342-动力源；343-传动带；343a-钢丝绳；343b-齿轮带；344-齿轮；345-挡板。

具体实施方式

为了使本申请的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本申请进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅用以解释本申请，并不用于限定本申请。

需要说明的是，当元件被称为“固定于”另一个元件，它可以直接在另一个元件上或者也可以存在居中的元件。当一个元件被认为是“连接”另一个元件，它可以是直接连接到另一个元件或者可能同时存在居中元件。

除非另有定义，本文所使用的所有的技术和科学术语与属于本发明的技术领域的技术人员通常理解的含义相同。本文中在本发明的说明书中所使用的术语只是为了描述具体的实施例的目的，不是旨在于限制本发明。

请参阅图 1，其为本发明的一种实施例的柔性下肢外骨骼，包括穿戴组件、弹性储能组件及离合装置。其中，穿戴组件用于穿戴于用户身体上，弹性储能组件用于存储步态能量，离合装置在适当的时刻释放能量，并协助肌肉沿肌力补偿路径进行助力，以提升步态能量的利用效率，降低人体行走过程中的代谢能耗。

具体地，穿戴组件包括腰部穿戴件 12、膝关节穿戴件 14 及鞋底穿戴件 16。其中，腰部穿戴件 12 用于穿戴于腰部上，膝关节穿戴件 14 用于穿戴于膝关节上，鞋底穿戴件 16 用于穿戴于鞋底。具体地，腰部穿戴件 12 可以腰部环套，膝关节穿戴件 14 可以为膝关节护套。腰部环套和膝关节护套应采用柔软材料制成，如柔软的塑料，以保证用户的舒适度。鞋底穿戴件 16 类似于传统的鞋类结构，便于用户的行走。

弹性储能组件包括第一弹性储能元件 22 及第二弹性储能元件 24，第一弹性储能元件 22 布置于小腿的后侧，第一弹性储能元件 22 的两端分别连接鞋底

穿戴件16及膝关节穿戴件14。第二弹性储能元件24布置于大腿的前侧，第二弹性储能元件24的两端分别连接膝关节穿戴件14及腰部穿戴件12。

第一弹性储能元件22和第二弹性储能元件24均沿肌力补偿路径布置。其中，借助包络直线路径法（即采用通过肌肉起止点的直线来描述肌肉）、设置代止点的折线路径法（在直线包络直线路径法模型基础上增加了一些约束）及设置障碍物的曲线路径法（它是基于肌肉力的传递通过肌肉截面质心、肌肉缠绕于规则几何体表面等假设,该方法考虑了人体的形态学特征），结合肌肉的结构特性及生理特性，制定肌力补偿路径，并根据步态分析，修正肌力补偿路径。

一实施方式中，第一弹性储能元件22的数量为三个，三个第一弹性储能元件22于小腿后侧相互交叉，三个第一弹性储能元件22协助胫骨前肌、腓肠肌及比目鱼等肌肉对踝关节做功。第二弹性储能元件24的数量也为三个，三个第二弹性储能元件24于大腿前侧相互交叉，三个第二弹性储能元件24协助股外侧肌、股内侧肌力及股直肌等肌肉对髋关节做功。第一弹性储能元件22和第二弹性储能元件24可以为弹性带，或者弹簧等能够弹性变形的结构。

离合装置包括第一离合装置及第二离合装置，第一离合装置安装于膝关节穿戴件14上，第一离合装置可选择地锁定或者松开第一弹性储能元件22。第二离合装置安装于腰部穿戴件12上，第二离合装置可选择地锁定或者松开第二弹性储能元件24。

当足跟着地至足跟离地阶段，第一离合装置锁定第一弹性储能元件22。此时由于重力势能的作用下，人体前倾，第一弹性储能元件22沿着肌力补偿路径被拉伸，进行存储步态能量。

当足跟离地至足尖离地阶段，第一离合装置松开第一弹性储能元件22，第一弹性储能元件22沿着肌力补偿路径回缩，协助胫骨前肌和腓肠肌驱动人

体的重心向上、向前运动。

当足撑着地至足尖离地阶段，第二离合装置锁定第二弹性储能元件 24，此时由于重力势能的作用下，人体前倾，第二弹性储能沿着肌力补偿路径被拉伸，进行存储步态能量。

当足尖离地至对侧足掌着地阶段，第二离合装置松开第二弹性储能元件 24，第二弹性储能元件 24 沿着肌力补偿路径回缩，带动膝关节穿戴件 14，协助髂肌及股直肌、缝匠肌、耻骨肌、臀中肌前部及阔筋膜张肌等驱动大腿进行摆动。

请一并参阅图 2 至图 4,，一实施方式中，第一弹性储能元件 22 和第二弹性储能元件 24 上均设有倒刺 26，第一离合装置和第二离合装置采用相同的离合器 30，离合器 30 包括摆杆 32 及摆动组件 34。摆动组件 34 安装于对应的穿戴件上，即是第一离合装置的摆动组件 34 安装于膝关节穿戴件 14 上，第二离合装置的摆动组件 34 安装于腰部穿戴件 12 上。摆动组件 34 与摆杆 32 连接，摆动组件 34 驱动摆杆 32 摆动，以使摆杆 32 与倒刺 26 啮合或者分离，实现锁定或者松开第一弹性储能元件 22 和第二弹性储能元件 24。

具体地，摆动组件 34 包括安装架 341、动力源 342、传动带 343 及齿轮 344。安装架 341 安装于对应的穿戴件上，具体而言，第一离合装置的安装架 341 安装于膝关节穿戴件 14 上，第二离合装置的安装架 341 安装于腰部穿戴件 12 上。动力源 342 安装于安装架 341 上，齿轮 344 可转动地设置于穿戴件上，动力源 342 通过传动带 343 驱动齿轮 344 往复旋转。摆杆 32 与齿轮 344 连接，齿轮 344 的往复旋转可以带动摆杆 32 摆动。

进一步地，传动带 343 包括钢丝绳 343a 及齿轮带 343b，钢丝绳 343a 的一端与动力源 342 的输出端连接，钢丝绳 343a 的另一端与安装架 341 滑动连接，

齿轮带 343b 连接在两段钢丝绳 343a 之间。齿轮带 343b 与齿轮 344 相啮合，钢丝绳 343a 具有一定的刚度和柔软相，动力源 342 驱动钢丝绳 343a 上下往复移动，使齿轮带 343b 带动齿轮 344 往复旋转。具体地，动力源 342 为能够伸缩的微电机。可以理解的是，在其他实施方式中，动力源 342 可以为其他结构，只要能够驱动钢丝绳 343a 上下往复移动即可。

一实施方式中，安装架 341 上设有挡板 345，挡板 345 位于安装架 341 远离齿轮 344 的一侧，挡板 345 能够与摆杆 32 相抵接，以保持摆杆 32 与倒刺 26 的啮合，保证离合装置锁定第一弹性储能元件 22 和第二弹性储能元件 24。

可以理解的是，在其他实施方式中，离合装置可以为其他结构，只要能够锁定或者松开第一弹性储能元件 22 和第二弹性储能元件 24 即可。对于摆动组件 34，也可以为其他结构，例如摆动组件 34 为能够往复旋转的电机机构，只要能够驱动摆杆 32 往复摆动即可。

一实施方式中，膝关节穿戴件 14 上设有第一调节机构，第一调节机构根据下肢小腿、步长和步宽等因素，调节第一弹性储能元件 22 的起始长度。腰部穿戴件 12 上设有第二调节机构，第二调节机构根据下肢大腿、腰宽、步长和步宽等因素，调节第二弹性储能元件 24 的起始长度。具体地，第一调节机构和第二调节机构通过绳扣、魔术贴或者带扣等方式调节第一弹性储能元件 22 和第二弹性储能元件 24 的长度。

一实施方式中，柔性下肢外骨骼还包括信息采集模块，信息采集模块可以采集步态特征信息，根据采集的步态特征信息，可以采用神经网络、支持向量机或蚁群等识别算法，判断所处的步态过程，以控制下肢外骨骼工作。具体地，信息采集模块包括压力传感器、关节角度传感器和肌电传感器。

压力传感器布置于鞋底穿戴件 16 内，压力传感器在鞋底穿戴件 16 内布置

有多个，多个压力传感器分别用于感知足跟、足撑和足尖是否着地。关节角度传感器设置于下肢关节处，即踝关节和髋关节处均布置关节角度传感器，用于获得下肢的关节角度。肌肉传感器用于安装于下肢主要活动的肌肉上，如胫骨前肌、腓肠肌、比目鱼肌、股四头肌和股二头肌等，用于获得肌肉的肌电信号。

进一步地，信息采集模块还包括第一拉力传感器和第二拉力传感器，第一拉力传感器安装于第一弹性储能元件 22 与膝关节穿戴件 14 的连接处，第二拉力传感器安装于第二弹性储能元件 24 与腰部穿戴件 12 的连接处。其中，第一拉力传感器实时监测第一弹性储能元件 22 的拉伸力和伸长量，第二拉力传感器实时监测第二弹性储能元件 24 的拉伸力和伸长量，以此计算出弹性储能组件产生的功。

请参阅图 5，本发明还提供一种柔性下肢外骨骼的控制方法。为实现该控制方法，其采用上述柔性下肢外骨骼。该控制方法具体包括如下步骤：

步骤 S110：判断足跟是否着地，若足跟着地，则第一离合装置将第一弹性储能元件 22 锁定，第一弹性储能元件 22 被拉伸，存储步态能量。

请一并参阅图 6，具体地，信息采集模块采集鞋底压力信号、关节角度信号和肌肉肌电信号，信号通过放大和滤波等处理后，采用神经网络、支持向量机或蚁群等识别算法，判断所处的步态过程，综合判断足跟是否着地。当足跟着地后，具体指足跟着地至足跟离地阶段，使摆杆 32 与第一弹性储能元件 22 的倒刺 26 啮合，第一弹性储能元件 22 被锁定，此时由于重力势能的作用下，人体前倾，第一弹性储能元件 22 沿着肌力补偿路径被拉伸，进行存储步态能量。

步骤 S120：判断足跟是否离地，若足跟离地，则第一离合装置将第一弹性储能元件 22 松开，第一弹性储能元件 22 回缩，释放步态能量进行肌力补偿。

具体地，根据信息采集模块采集的步态特征信息，综合判断足跟是否离地，具体指足跟离地至足尖离地阶段。当足跟离地后，摆杆 32 与第一弹性储能元件 22 的倒刺 26 脱离啮合，第一弹性储能元件 22 沿着肌力补偿路基回缩，带动鞋底，协助胫骨前肌、腓肠肌驱动人体的重心向上、向前运动。

步骤 S130：判断足撑或足尖是否着地，若足撑或足尖着地，则第二离合装置将第二弹性储能元件 24 锁定，第二弹性储能元件 24 被拉伸，存储步态能量。

具体地，根据信息采集模块采集的步态特征信息，综合判断足撑或足尖是否着地，具体指足掌着地至足尖离地阶段，第二离合装置的摆杆 32 与第二弹性储能元件 24 的倒刺 26 相啮合，第二弹性储能元件 24 被锁定，此时由于重力势能的作用下，人体前倾，第二弹性储能元件 24 沿着肌力补偿路径被拉伸，进行存储步态能量。

步骤 S140：判断足尖是否离地，若足尖离地，则第二离合装置将第二弹性储能元件 24 松开，第二弹性储能元件 24 回缩，释放步态能量进行肌力补偿。

具体地，根据信息采集模块采集的步态特征信息，综合判断足尖是否离地，具体指足尖离地至对侧足掌着地阶段，此时第二离合装置的摆杆 32 与第二弹性储能元件 24 的倒刺 26 脱离啮合，第二弹性储能元件 24 沿着肌力补偿路径回缩，带动膝关节穿戴件 14，协助髂肌及股直肌、缝匠肌、耻骨肌、臀中肌前部及阔筋膜张肌等驱动大腿进行摆动。

一实施方式中，该控制方法还包括以下步骤：获取第一弹性储能元件 22 和第二弹性储能元件 24 的拉伸力和伸长量，计算出第一弹性储能元件 22 和第二弹性储能元件 24 产生的功，并进一步计算步态能量存储的效率。具体地，通过第一拉力传感器获得第一弹性储能元件 22 的拉伸力和伸长量，通过第二

拉力传感器获得第二弹性储能元件 24 的拉伸力和伸长量，由此可以计算出弹性储能组件所做的功 Wt，进一步获得其存储步态能量的效率 $\eta_1 = \frac{Wt}{Wj}$，式中 W_j 为关节动能。另外，弹性储能元件沿肌力补偿路径的能量释放效率 $\eta_2 = \frac{W_{out}}{Wt}$，$W_{out}$ 为弹性储能元件收缩释放弹性势能做的功。可以根据存储步态能量的效率和能量释放效率，进一步优化设计弹性储能元件、肌力协同补偿路径及离合装置等元件。

上述柔性下肢外骨骼及其控制方法，结构简单，质量轻，运动可靠，具有模块化设计功能，可以拆卸、组合安装于下肢上，离合方式设计灵巧，能够高效利用步态能量，利用肌力协同机制，提升步态能量利用效率，降低人体行走过程中的代谢能耗。

对所公开的实施例的上述说明，使本领域专业技术人员能够实现或使用本申请。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的，本文中所定义的一般原理可以在不脱离本申请的精神或范围的情况下，在其它实施例中实现。因此，本申请将不会被限制于本文所示的这些实施例，而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

权 利 要 求 书

1、一种柔性下肢外骨骼，其特征在于，包括：

穿戴组件，包括腰部穿戴件、膝关节穿戴件及鞋底穿戴件，所述腰部穿戴件用于穿戴于腰部，所述膝关节穿戴件用于穿戴于膝关节上，所述鞋底穿戴件用于穿戴于脚底；

弹性储能组件，包括第一弹性储能元件及第二弹性储能元件，所述第一弹性储能元件的两端分别连接所述鞋底穿戴件及所述膝关节穿戴件，所述第二弹性储能元件的两端分别连接所述膝关节穿戴件及所述腰部穿戴件；及

离合装置，包括第一离合装置及第二离合装置，所述第一离合装置安装于所述膝关节穿戴件上，所述第一离合装置可选择地锁定或松开所述第一弹性储能元件，所述第二离合装置安装于所述腰部穿戴件上，所述第二离合装置可选择地锁定或者松开所述第二弹性储能元件。

2、根据权利要求 1 所述的柔性下肢外骨骼，其特征在于，所述第一弹性储能元件和所述第二弹性储能元件上均设有倒刺，所述第一离合装置和所述第二离合装置均包括摆杆及摆动组件，所述摆动组件安装于对应的穿戴件上，所述摆动组件与所述摆杆连接以驱动所述摆杆摆动，以使所述摆杆与所述倒刺啮合或者分离。

3、根据权利要求 2 所述的柔性下肢外骨骼，其特征在于，所述摆动组件包括安装架、动力源、传动带及齿轮，所述动力源安装于所述安装架上，所述齿轮可转动地设置于所述穿戴件上，所述动力源通过所述传动带驱动所述齿轮往复旋转，所述摆杆与所述齿轮连接。

4、根据权利要求 3 所述的柔性下肢外骨骼，其特征在于，所述传动带包括

钢丝绳及齿轮带，所述钢丝绳的一端与所述动力源的输出端连接，所述钢丝纲的另一端与所述安装架滑动连接，所述齿轮带连接在所述钢丝绳之间，所述齿轮带与所述齿轮相啮合，所述动力源驱动所述钢丝绳往复移动，使所述齿轮带带动所述齿轮往复旋转。

5、根据权利要求 3 所述的柔性下肢外骨骼，其特征在于，所述安装架上设有挡板，所述挡板能够与所述摆杆抵接，以保持所述摆杆与所述倒刺的啮合。

6、根据权利要求 1-5 任意一项所述的柔性下肢外骨骼，其特征在于，所述膝关节穿戴件上设有第一调节机构，所述第一调节机构用于调节所述第一弹性储能元件的起始长度；和/或

所述腰部穿戴件上设有第二调节机构，所述第二调节机构用于调节所述第二弹性储能元件的起始长度。

7、根据权利要求 1-5 任意一项所述的柔性下肢外骨骼，其特征在于，还包括信息采集模块，所述信息采集模块包括压力传感器、关节角度传感器和肌电传感器，所述压力传感器布置于所述鞋底穿戴件内，所述关节角度传感器用于设置于下肢关节处，所述肌电传感器用于安装于下肢肌肉上。

8、根据权利要求 7 所述的柔性下肢外骨骼，其特征在于，所述信息采集模块还包括第一拉力传感器和第二拉力传感器，所述第一拉力传感器安装于所述第一弹性储能元件与所述膝关节穿戴件的连接处，所述第二拉力传感器安装于所述第二弹性储能元件与所述腰部穿戴件的连接处。

9、一种如权利要求 1-8 任意一项所述的柔性下肢外骨骼的控制方法，其特征在于，所述控制方法包括以下步骤：

判定足跟是否着地，若足跟着地，则第一离合装置将第一弹性储能元件锁定，所述第一弹性储能元件被拉伸，存储步态能量；

判断足跟是否离地，若足跟离地，则所述第一离合装置将所述第一弹性储能元件松开，所述第一弹性储能元件回缩，释放步态能量进行肌力补偿；

判断足撑或足尖是否着地，若足撑或足尖着地，则第二离合装置将第二弹性储能元件锁定，第二弹性储能元件被拉伸，存储步态能量；

判断足尖是否离地，若足尖离地，则所述第二离合装置将所述第二弹性储能元件松开，所述第二弹性储能元件回缩，释放步态能量进行肌力补偿。

10、根据权利要求 9 所述的控制方法，其特征在于，所述控制方法还包括以下步骤：

获取所述第一弹性储能元件和所述第二弹性储能元件的拉伸力和伸长量，计算出所述第一弹性储能元件和所述第二弹性储能元件产生的功，并进一步计算获得存储步态能量的效率。

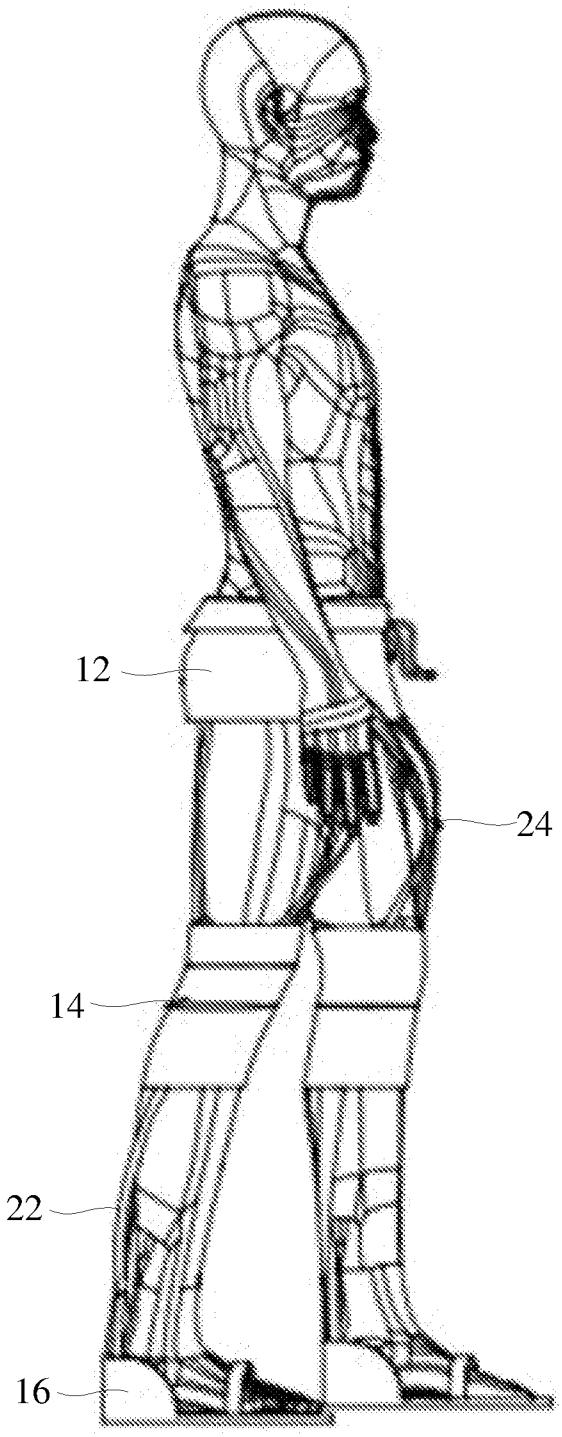


图 1

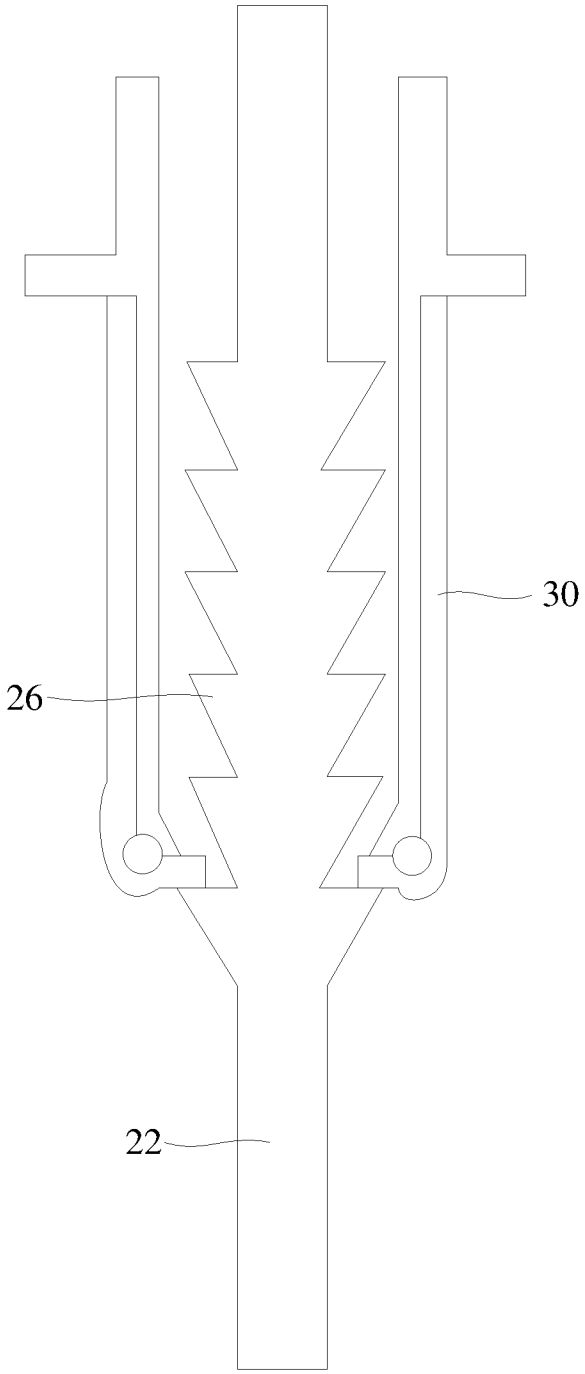


图 2

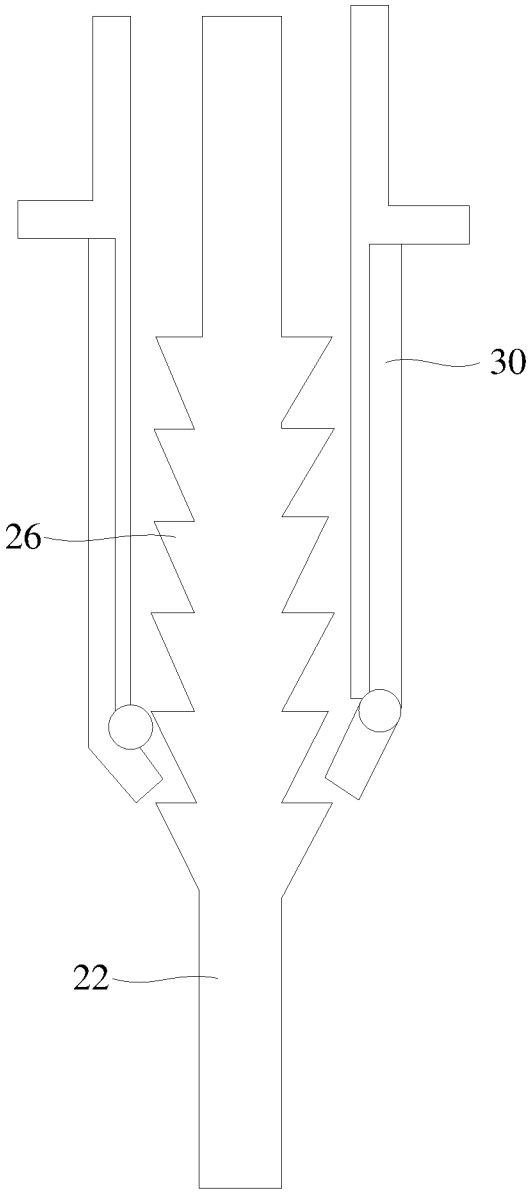


图 3

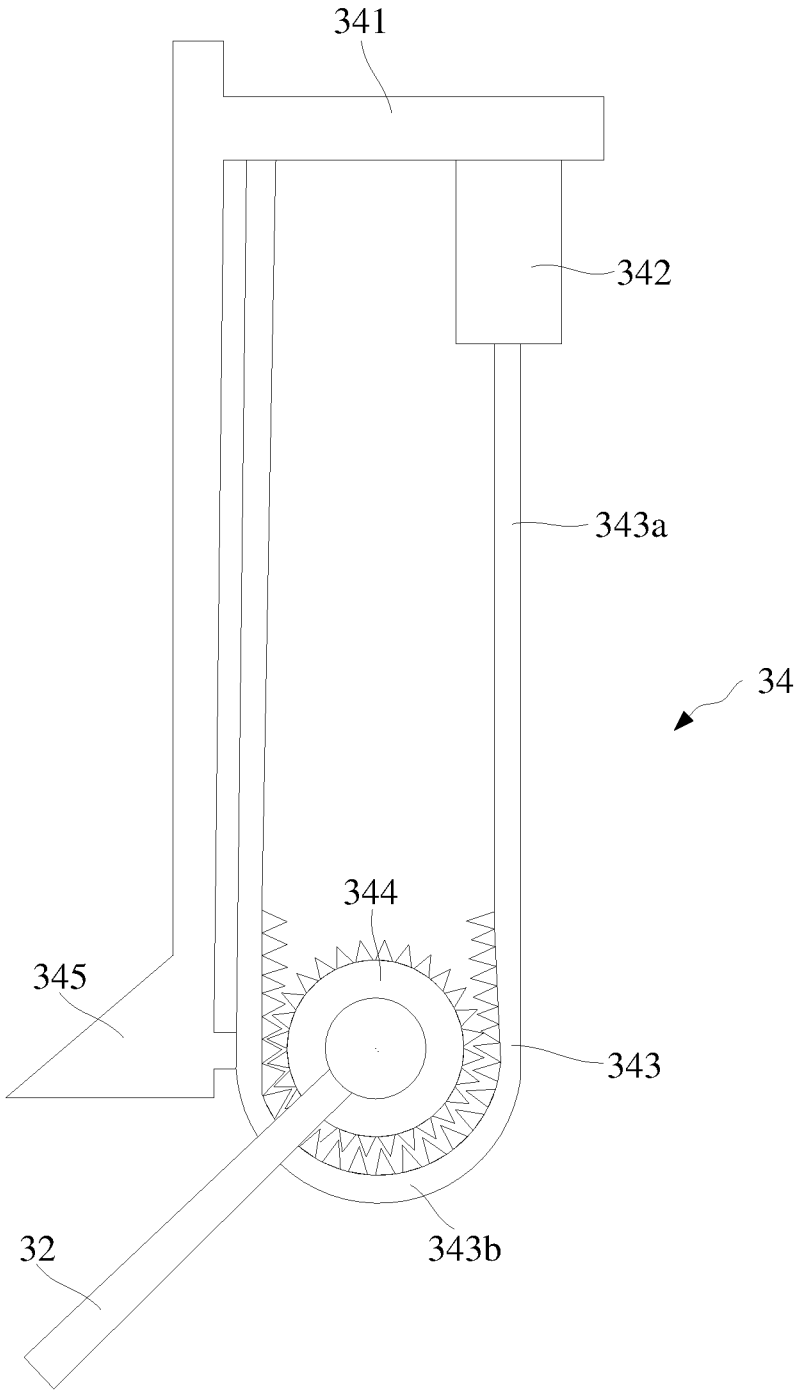


图 4

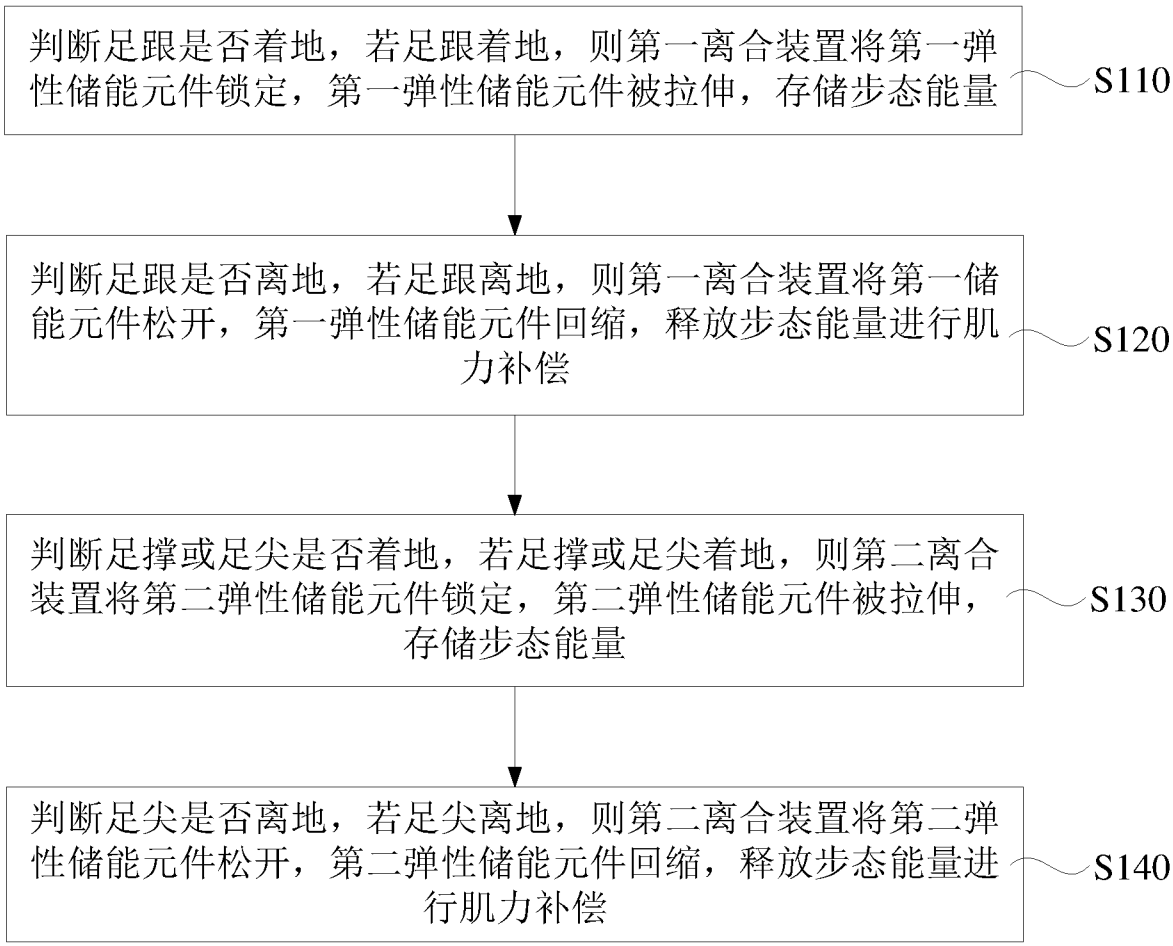

判断足跟是否着地，若足跟着地，则第一离合装置将第一弹性储能元件锁定，第一弹性储能元件被拉伸，存储步态能量
S110
判断足跟是否离地，若足跟离地，则第一离合装置将第一储能元件松开，第一弹性储能元件回缩，释放步态能量进行肌力补偿
S120
判断足撑或足尖是否着地，若足撑或足尖着地，则第二离合装置将第二弹性储能元件锁定，第二弹性储能元件被拉伸，存储步态能量
S130
判断足尖是否离地，若足尖离地，则第二离合装置将第二弹性储能元件松开，第二弹性储能元件回缩，释放步态能量进行肌力补偿
S140

图 5

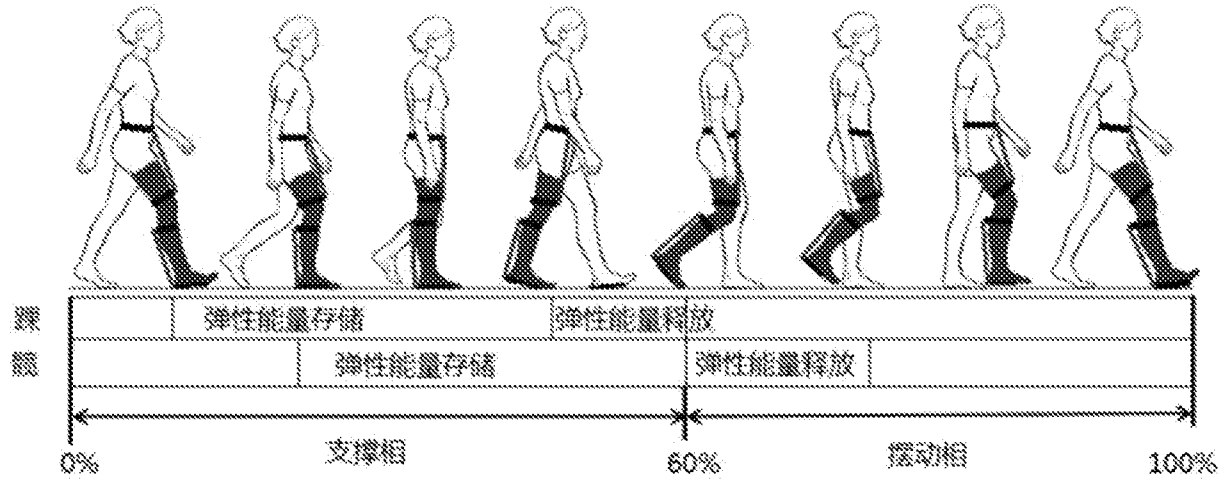


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2020/115723

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

A61H 3/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

A61H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS, CNTXT, CNKI, VEN, USTXT: A61H1/02, A61H3/00, 深圳先进技术研究院, 赵国如, 王永奉, 宁运琨, 郑凯, 刘利利, 弹性, 弹簧, 储能, 贮能, 蓄能, 储存能量, 锁, energy, stor+, reserv+, accumulat+, elast+ , spring?, clutch+, lock+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
E	CN 112076070 A (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 15 December 2020 (2020-12-15) claims 1-10	1-10
Y	US 2013296746 A1 (MASSACHUSETTS INST. TECHNOLOGY) 07 November 2013 (2013-11-07) description paragraph 8, figures 1-3, 15-16	1-10
Y	CN 107126348 A (TSINGHUA UNIVERSITY et al.) 05 September 2017 (2017-09-05) description, paragraphs 43-69	1-10
A	CN 110974632 A (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 10 April 2020 (2020-04-10) entire document	1-10
A	CN 107184373 A (NATIONAL RESEARCH CENTER FOR REHABILITATION TECHNICAL AIDS) 22 September 2017 (2017-09-22) entire document	1-10
A	US 2013046218 A1 (NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY et al.) 21 February 2013 (2013-02-21) entire document	1-10

☑ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
04 June 2021	**21 June 2021**

Name and mailing address of the ISA/CN	Authorized officer
China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) **No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088** **China**	
Facsimile No. **(86-10)62019451**	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2020/115723

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 107854284 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 30 March 2018 (2018-03-30) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2020/115723

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	112076070	A	15 December 2020	None			
US	2013296746	A1	07 November 2013	US	9682005	B2	20 June 2017
				US	2017246492	A1	31 August 2017
CN	107126348	A	05 September 2017	CN	107126348	B	18 June 2019
CN	110974632	A	10 April 2020	None			
CN	107184373	A	22 September 2017	CN	107184373	B	07 July 2020
US	2013046218	A1	21 February 2013	US	9492302	B2	15 November 2016
CN	107854284	A	30 March 2018	CN	107854284	B	25 October 2019

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2020/115723

A. 主题的分类

A61H 3/00(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

A61H

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用））

CNABS,CNTXT,CNKI,VEN,USTXT: A61H1/02,A61H3/00, 深圳先进技术研究院,赵国如,王永奉,宁运琨,郑凯,刘利利,弹性,弹簧,储能,贮能,蓄能,储存能量,锁, energy, stor+, reserv+, accumulat+, elast+ ,spring?, clutch+, lock+

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
E	CN 112076070 A (中国科学院深圳先进技术研究院) 2020年 12月 15日 (2020-12-15) 权利要求1-10	1-10
Y	US 2013296746 A1 (MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY) 2013年 11月 7日 (2013-11-07) 说明书第8段，图1-3、15-16	1-10
Y	CN 107126348 A (清华大学等) 2017年 9月 5日 (2017-09-05) 说明书第43-69段	1-10
A	CN 110974632 A (中国科学院深圳先进技术研究院) 2020年 4月 10日 (2020-04-10) 全文	1-10
A	CN 107184373 A (国家康复辅具研究中心) 2017年 9月 22日 (2017-09-22) 全文	1-10
A	US 2013046218 A1 (UNIV NORTH CAROLINA STATE等) 2013年 2月 21日 (2013-02-21) 全文	1-10
A	CN 107854284 A (华中科技大学) 2018年 3月 30日 (2018-03-30) 全文	1-10

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2021年 6月 4日	2021年 6月 21日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451	受权官员 孙司宸 电话号码 (86-10)62085886

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2020/115723

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	112076070	A	2020年 12月 15日		无		
US	2013296746	A1	2013年 11月 7日	US	9682005	B2	2017年 6月 20日
				US	2017246492	A1	2017年 8月 31日
CN	107126348	A	2017年 9月 5日	CN	107126348	B	2019年 6月 18日
CN	110974632	A	2020年 4月 10日		无		
CN	107184373	A	2017年 9月 22日	CN	107184373	B	2020年 7月 7日
US	2013046218	A1	2013年 2月 21日	US	9492302	B2	2016年 11月 15日
CN	107854284	A	2018年 3月 30日	CN	107854284	B	2019年 10月 25日