

(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6月2日 (02.06.2022)



(10) 国际公布号
WO 2022/110111 A1

- (51) 国际专利分类号:
A61H 1/02 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2020/132670
- (22) 国际申请日: 2020年11月30日 (30.11.2020)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202011352104.0 2020年11月27日 (27.11.2020) CN
- (71) 申请人: 中国科学院自动化研究所 (INSTITUTE OF AUTOMATION, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) [CN/CN]; 中国北京市海淀区中关村东路95号, Beijing 100190 (CN)。
- (72) 发明人: 王卫群(WANG, Weiqun); 中国北京市海淀区中关村东路95号, Beijing 100190 (CN)。 侯增广(HOU, Zengguang); 中国北京市海淀区中关村东路95号, Beijing 100190 (CN)。 胡旭超(HU, Xuchao); 中国北京市海淀区中关村东路95号, Beijing 100190 (CN)。 石伟国(SHI, Weiguo); 中

国北京市海淀区中关村东路95号, Beijing 100190 (CN)。 焦雨泽(JIAO, Yuze); 中国北京市海淀区中关村东路95号, Beijing 100190 (CN)。 方志杰(FANG, Zhijie); 中国北京市海淀区中关村东路95号, Beijing 100190 (CN)。

(74) 代理人: 北京市恒有知识产权代理事务所(普通合伙) (HENYOL INTELLECTUAL PROPERTY LAW CORPORATION); 中国北京市丰台区汽车博物馆东路6号院4号楼盈坤世纪F座615室, Beijing 100160 (CN)。

(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,

(54) Title: FOOT DROP REHABILITATION EXOSKELETON ROBOT AND ADAPTIVE GAIT ASSISTANCE CONTROL METHOD

(54) 发明名称: 足下垂康复外骨骼机器人及自适应步态辅助控制方法

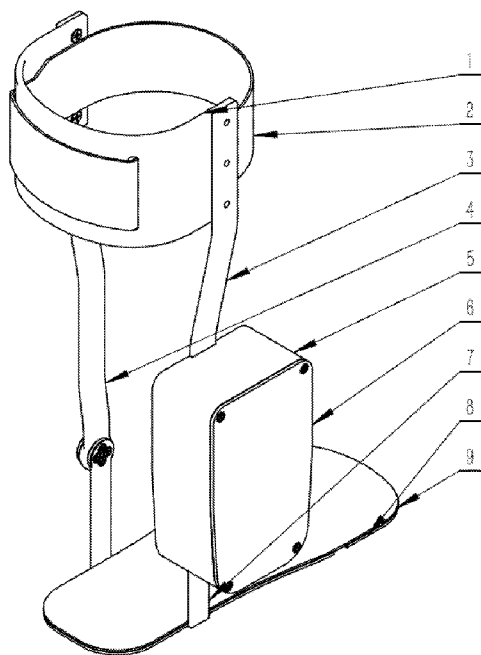


图 1

(57) Abstract: A foot drop rehabilitation exoskeleton robot and an adaptive gait assistance control method, relating to the technical field of medical instruments. The present invention aims to solve the problem in the prior art of the inability to provide effective rehabilitation training for foot drop patients. According to the foot drop rehabilitation exoskeleton robot, kinematics and dynamics data of a patient is recorded by using a sensing module and a main control module, a traction driving device is controlled to rotate by recognizing a human movement intention in real time so as to simulate the normal gait of a healthy person, thereby achieving active rehabilitation training of the foot on an affected side. Compared with an electrical stimulation method, using a frameless motor (12) to assist the patient in moving can enable the foot on the affected side to reach a finer angle position, and is also safer. Moreover, the foot drop rehabilitation exoskeleton robot is simple in structure, low in weight, and convenient to wear flexibly, and can effectively provide walking assistance for foot drop patients to assist the foot drop patients in foot rehabilitation training.

WO 2022/110111 A1

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))。

(57) 摘要: 一种足下垂康复外骨骼机器人及自适应步态辅助控制方法, 属于医疗器械技术领域, 旨在解决现有技术中无法为足下垂患者提供有效的康复训练的问题。该足下垂康复外骨骼机器人利用感应模块和主控模块记录患者运动学和动力学数据, 并通过实时识别人体运动意图控制牵引驱动装置转动以模仿健康人正常步态, 实现患侧足部主动康复训练。相比电刺激方法, 采用无框电机(12)辅助患者运动能够使患侧足部达到更加精细的角度位置, 同时也更加安全, 结构简单, 重量轻, 便于灵活穿戴, 能够有效为足下垂患者提供行走助力, 辅助其进行足部康复训练。

足下垂康复外骨骼机器人及自适应步态辅助控制方法

技术领域

[0001] 本发明属于医疗器械技术领域，具体涉及一种足下垂康复外骨骼机器人及自适应步态辅助控制方法。

背景技术

[0002] 近年来，我国脑卒中的发生率逐年上升，目前已成为国人病死率最高的疾病，占全球脑卒中死亡人群的 40%。同时，脑卒中致残率高达 70%，其中重度残疾超过 40%，其中，足下垂是一种典型的后遗症。足下垂是指由脑卒等疾病所造成的足尖上抬不完全或不能现象，由于足尖抬起困难造成行走步态异常。因此，需要一种足下垂康复训练设备，以解决或至少减轻上述问题。

发明内容

[0003] 为了解决现有技术中的上述问题，即为了解决现有技术中无法为足下垂患者提供有效的康复训练的问题。本发明第一方面提供一种足下垂康复外骨骼机器人，包括用于固定足部的足部固定组件、用于固定腿部的腿部固定组件以及牵引于所述足部固定组件和所述腿部固定组件之间的牵引驱动装置，进一步地，还包括主控模块和感应模块，所述牵引驱动装置的控制端、所述感应模块分别与所述主控模块通信连接；所述牵引驱动装置包括分别设置于所述足部固定组件两侧的牵引驱动机构和牵引从动机构；

[0004] 所述牵引驱动机构包括动力装置、主动轮、从动轴、从动轮和牵引连接件，所述动力装置与所述腿部固定组件固定，所述主动轮套设于所述动力装置的输出轴；所述从动轴与所述足部固定组件固定且与踝关节对应的转动轴同轴设置，所述从动轮套设于所述从动轴，所述从动轮在靠近所述主动轮的端部设置有用以固定所述牵引连接件的第一牵引固定部和第二牵引固定部，所述牵引连接件一端穿过所述第一牵引固定部后绕所述主动轮旋转一周后沿切线方向延伸穿过所述第二牵引固定部并固定；

[0005] 所述感应模块用于获取第一数据包并发送至所述主控模块，所述第一数据包包括使用者在使用过程中的重心高度数据和足底压力数据；

[0006] 所述主控模块基于所述第一数据包的数据信号控制所述动力装置通过所述牵引连接件驱动所述从动轮绕所述从动轴轴向旋转，以使得所述牵引从动机构跟随转动，进而带动所述足部固定组件绕与踝关节对应的转动轴转动，以使得所述足下垂康复外骨骼机器人为使用者提供助力。

[0007] 本发明第二方面提供一种足下垂康复外骨骼机器人，包括足下垂康复设备，所述足下垂康复设备包括足部固定组件、腿部固定组件以及牵引于所述足部固定组件和所述腿部固定组件之间的牵引驱动装置，其特征在于，还包括主控模块和感应模块，所述牵引驱动装置的控制端和所述感应模块分别与所述主控模块通信连接；

[0008] 所述牵引驱动装置包括两个分别设置于所述足部固定组件两侧的牵引驱动机构；

[0009] 所述牵引驱动机构包括动力装置、主动轮、从动轴、从动轮和牵引连接件，所述动力装置与所述腿部固定组件固定，所述主动轮套设于所述动力装置的输出轴；所述从动轴与所述足部固定组件固定且

与踝关节对应的转动轴同轴设置，所述从动轮套设于所述从动轴，所述从动轮在靠近所述主动轮的端部设置有用以固定所述牵引连接件的第一牵引固定部和第二牵引固定部，所述牵引连接件一端穿过所述第一牵引固定部后绕所述主动轮旋转一周后沿切线方向延伸穿过所述第二牵引固定部并固定；

[0010] 所述感应模块用于获取第一数据包并发送至所述主控模块，所述第一数据包包括使用者在使用过程中的重心高度数据和足底压力数据；

[0011] 所述主控模块基于所述第一数据包的数据信号控制所述动力装置通过所述牵引连接件驱动所述从动轮绕所述从动轴轴向旋转，进而带动所述足部固定组件绕与踝关节对应的转动轴转动，以使得所述足下垂康复外骨骼机器人为使用者提供助力。

[0012] 在一些优选技术方案中，所述从动轮的半径大于所述主动轮的半径，所述第一牵引固定部、所述主动轮、所述第二牵引固定部的中心所在位置依次首尾连接能够构成等腰三角形。

[0013] 在一些优选技术方案中，所述牵引驱动机构还设置有限位机构，所述限位机构包括转动配合的第一限位件和第二限位件，所述第一限位件和所述第二限位件与所述从动轮同轴设置，所述第一限位件与所述动力装置的外壳固定，所述第二限位件与所述从动轴固定；

[0014] 所述第一限位件包括呈锐角设置的第一限位部和第二限位部，所述第二限位件包括第三限位部，所述第三限位部能够在所述从动轴的带动下于所述第一限位部与所述第二限位部之间运动。

[0015] 在一些优选技术方案中，所述足部固定组件包括分别设置于前足部的主踏板以及设置于后足部的副踏板，所述主踏板与所述副踏板铰接。

[0016] 在一些优选技术方案中，所述主踏板包括两个分别用于与所述腿部固定组件连接的第一连接杆和第二连接杆；

[0017] 所述第一连接杆与所述腿部固定组件通过所述牵引驱动机构铰接，所述第一连接杆与所述从动轴固定；

[0018] 所述第二连接杆与所述腿部固定组件通过所述牵引从动机构铰接，所述第二连接杆、所述第一连接杆与所述腿部固定组件的铰接部高度可调。

[0019] 在一些优选技术方案中，所述牵引从动机构包括销轴，所述销轴设置于与踝关节距足底的高度相等的位置，所述第二连接杆通过所述销轴与所述腿部固定组件铰接。

[0020] 在一些优选技术方案中，所述牵引驱动装置包括编码器，所述编码器设置于所述动力装置背离所述主动轮的一侧，所述编码器与所述主控模块通过通信链路连接，所述编码器用于采集踝关节的旋转角度。

[0021] 在一些优选技术方案中，所述第一数据包包括使用者的足底压力、关节角度和速度/加速度；其中，所述关节角度为髋、膝、踝三个关节的角度，所述速度/加速度为小腿、大腿和上躯干的速度/加速度；

[0022] 所述主控模块基于所述第一数据包的数据信号控制所述牵引驱动装置驱动所述足部固定组件相对于所述腿部固定组件转动，以使得所述足下垂康复外骨骼机器人为使用者提供助力。

[0023] 在一些优选技术方案中，所述主控模块能够基于所述第一数据包的数据信号判断下一个步态相位并基于预设的控制规则对所述足下垂康复外骨骼机器人进行位置控制或力矩控制，所述预设的控制规则为步态相位与康复训练方法的映射关系。

[0024] 在一些优选技术方案中，所述第一数据包还包括使用者在使用过程中的心率数据，所述主控模块基于所述心率数据控制所述动力装置输出轴的转速，以调整使用者的步速。

[0025] 本发明第三方面提供一种足下垂康复外骨骼机器人自适应步态辅助控制方法，包括以下步骤：

[0026] 步骤 S100，基于标准步态预测模型获取足下垂康复外骨骼机器人使用者标准步态下的步态相位轨迹参数，所述步态相位轨迹参数包括踝关节角度轨迹、踝关节扭矩轨迹和标准重心高度轨迹；

[0027] 步骤 S200，获取使用者使用过程中的重心高度数据和足底压力数据，并基于所述重心高度数据和足底压力数据计算出使用者当前时刻的重心高度数据；

[0028] 步骤 S300，依据所述使用者当前时刻的重心高度数据获取使用者当前时刻的步态相位，并依据当前时刻的步态相位获取下一时刻的步态相位轨迹参数，并基于预设的控制规则生成足下垂康复外骨骼机器人的控制信号，并依据该信号调整足下垂康复外骨骼机器人以控制使用者的踝关节扭矩和/或踝关节转动角度；

[0029] 所述预设的控制规则为步态相位与康复训练方法的映射关系。

[0030] 在一些优选技术方案中，所述标准步态预测模型基于样本的年龄、体重、性别、大腿长度、小腿长度、双股宽度、双髌宽度、髌前上棘宽度构建。

[0031] 本发明的有益效果：

[0032] 本发明的足下垂康复外骨骼机器人结构简单，可以灵活穿戴，为足下垂患者提供行走助力，辅助进行足部康复训练。足部固定组件相对于腿部固定构件转动速度、角度可控，从而可根据每个患者的足下垂病情不同而制定个性化的康复训练方案，保证康复训练效果。

[0033] 本发明的足下垂康复外骨骼机器人能够通过感应模块记录患者运动学和动力学数据，并在主控模块中实时识别人体运动意图，在动力装置无框电机的传动下模仿健康人正常步态，实现患侧足部主动康复训练。相比电刺激方法，采用电机辅助患者运动能够使患侧足部达到更加精细的角度位置，同时也更加安全。

附图说明

[0034] 通过阅读参照以下附图所作的对非限制性实施例所作的详细描述，本申请的其它特征、目的和优点将会变得更加明显：

[0035] 图 1 为本发明一种实施例的足下垂康复外骨骼机器人的整体结构示意图；

[0036] 图 2 为本发明一种实施例中牵引驱动装置的内部结构示意图一；

[0037] 图 3 为本发明一种实施例中牵引驱动装置的内部结构示意图二；

[0038] 图 4 为本发明一种实施例中牵引从动机构的剖面示意图；

[0039] 图 5 为本发明一种实施例中牵引驱动机构的剖面示意图；

[0040] 图 6 为本发明一种实施例的足下垂康复外骨骼机器人的框架示意图；

[0041] 图 7 为本发明一种实施例中步态相位与控制方法的映射关系示意图；

[0042] 图 8 为本发明一种实施例中重心高度与步态相位的映射关系示意图；

[0043] 图 9 为本发明一种实施例中踝关节的扭矩控制和/或转动角度控制示意图；

[0044] 图 10 为本发明一种实施例中心率辅助调节框架图。

[0045] 附图标记列表：

[0046] 1-小腿护板；2-绑带；3-第一腿部固定连杆；4-第二腿部固定连杆；5-外壳；6-盖板；7-主踏板；8-橡胶垫；9-副踏板；10-电机壳端盖；11-电机壳；12-无框电机；13-第一电机内圈支架；14-第二电机内圈支架；15-编码器支架；16-大轴承；17-电机输出轴；18-电机壳连接块；19-主动轮；20-牵引连接件；21-从动轴；22-从动轮；23-小轴承；24-小轴承座；25-限位块；26-销轴；27-第一压紧块；28-第二压紧块；29-绝对值编码器。

具体实施方式

[0047] 为使本发明的实施例、技术方案和优点更加明显，下面将结合附图对本发明的技术方案进行清楚、完整的描述，显然，所述的实施例是本发明的一部分实施例，而不是全部实施例。本领域技术人员应当理解的是，这些实施方式仅仅用于解释本发明的技术原理，并非旨在限制本发明的保护范围。

[0048] 为了使脑卒中患者能够正常行走，本专利设计了一种用于足下垂康复的便携式外骨骼康复机器人，其利用传感器记录患者运动学和动力学数据，并在主控模块中实时识别人体运动意图，在电机的驱动下模仿健康人正常步态，实现患侧足部主动康复训练。相比电刺激方法，采用电机辅助患者运动能够使患侧足部达到更加精细的角度位置，同时也更加安全。

[0049] 本发明的一种足下垂康复外骨骼机器人，包括足下垂康复设备，所述足下垂康复设备包括足部固定组件、腿部固定组件、牵引驱动装置、感应模块和主控模块，其中，

[0050] 足部固定组件用于固定足部，优选地，足部固定组件包括主踏板和副踏板，以及连接于主踏板和副踏板之间的橡胶垫，主踏板与副踏板之间铰接，以便于满足前脚掌以及脚趾的弯曲动作。

[0051] 腿部固定组件用于固定腿部，优选地，其用于固定小腿。

[0052] 牵引驱动装置用于连接并牵引足部固定组件和腿部固定组件，牵引驱动装置的控制端、感应模块均分别通过通信链路 with 主控模块通信连接，主动模块能够控制牵引驱动装置，以使得足部固定组件相对于腿部固定组件转动。本发明可根据人的行走状态，通过主控模块与牵引驱动装置，自动调节足部于背曲状态与趾屈状态间转换。

[0053] 在本发明的第一种实施例中，牵引驱动装置包括分别设置于足部固定组件两侧的牵引驱动机构和牵引从动机构。在本发明的第二种实施例中，牵引驱动装置包括两个分别设置于足部固定组件两侧的牵引驱动机构。优选地，为了减轻足下垂康复外骨骼机器人的重量，使其更加轻便、减轻患者负担，本发明优选牵引驱动装置包括一个牵引驱动机构和一个牵引从动机构，即牵引驱动机构为主动运动，其能够带动牵引从动机构被动跟随运动，使得足部固定组件在牵引驱动装置的驱动下相对于腿部固定组件转动。本领域技术人员也可设置两个牵引驱动构件，使得两个牵引驱动构件同时驱动足部固定组件，为患者提供更有效地辅助力。

[0054] 在一些优选实施例中，牵引驱动机构包括动力装置、主动轮、从动轮、从动轴以及牵引连接件，动力装置与主控模块通信连接，动力装置与腿部固定组件固定，主动轮套设于动力装置的输出轴；从动轴与足部固定组件固定且与踝关节对应的转动轴同轴设置；从动轮套设于从动轴，从动轮通过牵引连接件与主动轮连接。具体地，在本申请的优选实施例中，从动轴设固定装设于动力装置输出轴的下方，即从动轮设置在主动轮下方，从动轮在靠近主动轮下端的位置设置有用于固定牵引连接件的第一牵引固定部和第二牵引固定部，牵引连接件一端穿过第一牵引固定部后绕主动轮旋转一周后沿切线方向延伸穿过第二牵引固定部并固定；

[0055] 动力装置通过驱动主动轮绕自身轴线旋转，进而使得牵引连接件牵引从动轮绕所述从动轴轴向旋转，以使得牵引从动机构被动跟随转动，进而带动足部固定组件绕与踝关节对应的转动轴转动。

[0056] 更进一步地，感应模块用于获取第一数据包并发送至主控模块，第一数据包包括使用者在使用过程中的重心高度数据和足底压力数据；

[0057] 主控模块基于第一数据包的数据信号控制动力装置，进而使得动力装置通过牵引连接件驱动从动轮绕所述从动轴轴向旋转，以使得牵引从动机构跟随转动，进而带动足部固定组件绕与踝关节对应的转动轴转动。

[0058] 可以理解的是，本发明的足下垂康复外骨骼机器人不仅仅用于足下垂，发明名称不能作为本发明用途的限定，本发明也可以用于其他相关足部疾病的矫正康复训练。为了更清晰地对本发明足下垂康复外骨骼机器人进行说明，下面结合附图对本发明一种优选实施例进行展开详述。

[0059] 作为本发明的一个优选实施例，本发明的足下垂康复外骨骼机器人如图 1 所示，包括腿部固定组件，其包括小腿护板 1、绑带 2、第一腿部固定连杆 3、第二腿部固定连杆 4。第一腿部固定连杆 3 和第二腿部固定连杆 4 分别装设于小腿护板 1 的两侧。绑带 2 可以为一个或多个，只要能够固定腿部即可。第一腿部固定连杆 3 和第二腿部固定连杆 4 分别与牵引驱动机构和牵引从动机构连接。在本申请的另一实施例中，第一腿部固定连杆 3 和第二腿部固定连杆 4 分别与专设于足部固定组件两侧的牵引驱动机构连接。

[0060] 足部固定组件包括如图 1 所示的主踏板 7、副踏板 9 以及连接与两者之间的橡胶垫 8。主踏板 7 包括两个分别用于与腿部固定组件连接的第一连接杆和第二连接杆，优选地，第一连接杆和第二连接杆

均为铁板。第一连接杆与第一腿部固定连杆 3 连接，第二连接杆与第二腿部固定连杆 4 连接。

[0061] 主踏板 7 与副踏板 9 通过橡胶垫 8 铰接，能够满足患者前脚掌以及脚趾的弯曲动作。优选地，副踏板 9 设置于对应人体前足的位置处，优选地，副踏板还设有用于固定人体足部的前足固定带；主踏板 7 设置于对应人体后足的位置处，优选地，主踏板处还设置有后足固定带。前足固定带和后足固定带均可调节其松紧度。在本发明的优选实施例中，主踏板与副踏板之间的具体可调，以便适应不同脚长的人群穿戴。具体地，其可以通过双层橡胶垫固定，主踏板 7 和副踏板 9 的外侧均通过第一连杆进行连接，内侧通过第二连杆进行连接，且外侧连接杆 13 与内侧连接杆 14 的长度可调，通过调节两个连杆的长度，能够适应不同患者进行穿戴，以便于对其足下垂或是其他相关足部疾病进行矫正康复训练。

[0062] 本发明在使用时，需将主踏板 7、副踏板 9 以及橡胶垫 8 和脚一起穿入鞋内，并将小腿护板 1 与小腿紧密配合，通过绑带 2 进行缠绕固定。

[0063] 进一步地，本发明附图示意的足下垂康复外骨骼机器人的牵引驱动装置包括分别设置于所述足部固定组件两侧的牵引驱动机构和牵引从动机构；第一连接杆与第一腿部固定连杆 3 通过牵引驱动机构铰接，第二连接杆与第二腿部固定连杆 4 通过牵引从动机构铰接，第二连接杆、第一连接杆与腿部固定组件的铰接部高度可调。以便于适应不同患者进行穿戴。

[0064] 具体而言，牵引驱动机构包括外壳 5，第一腿部固定连杆 3 下端固定在电机壳 11 上，上部与第二腿部固定连杆 4 共同固定在小腿护板 1 上。牵引从动机构包括销轴 26，销轴 26 设置于与踝关节距足底的高度相等的位置，第二连接杆通过销轴 26 与第二腿部固定连杆 3

铰接。在本发明的优选实施例中，销轴 26 的中心距橡胶垫 8 的距离约 80mm，该设置能够避免患者在康复训练时扭伤脚部。如图 4 所示，踝关节内侧采用螺钉将销轴 26 固定在主踏板 7 内侧支架上，销轴 26 与第二腿部固定连杆 4 一端轴孔配合，跟随外侧驱动旋转。

[0065] 在一些优选实施例中，牵引驱动机构包括动力装置、主动轮 19、从动轮 22、从动轴 21 以及牵引连接件 20。优选地，动力装置选用无框电机 12，动力装置与主控模块通信连接，动力装置与腿部固定组件固定，主动轮 19 套设于动力装置的输出轴即如图所示的电机输出轴 17；从动轴 21 与足部固定组件固定且与踝关节对应的转动轴同轴设置；从动轮 22 套设于从动轴 21 外部并与从动轴 21 固定，从动轮 22 靠近主动轮 19 的位置设置有用于固定牵引连接件 20 的第一牵引固定部和第二牵引固定部，牵引连接件 20 一端穿过第一牵引固定部后绕主动轮 19 旋转一周后沿切线方向延伸穿过第二牵引固定部并固定；在本发明的优选实施例中牵引连接件选用钢丝绳，以保证强度和安全性。本领域技术人员也可选择其他材质，例如尼龙绳。

[0066] 动力装置能够通过牵引连接件 20 驱动从动轮 22 绕从动轴 21 轴向旋转，以使得牵引从动机构被动转动，进而带动足部固定组件绕与踝关节对应的转动轴转动。具体而言，动力装置的输出轴旋转时，带动主动轮 19 绕自身轴线旋转，进而牵引连接件能够牵引从动轮 22 旋转，由于从动轮 22 套设于从动轴 21，因此从动轮 22 能够带动从动轴 21 旋转，进而带动与从动轴 21 固定的足部固定组件绕从动轴旋转，由于从动轴与踝关节的转动轴同轴设置，因此足部固定组件能够在动力装置的驱动下绕踝关节的转动轴旋转。

[0067] 外壳 5 内装有牵引驱动机构，本发明通过牵引连接件 20 传输动力。参阅图 2-5，牵引驱动装置包括电机壳端盖 10、电机壳 11、无框电机 12、第一电机内圈支架 13、第二电机内圈支架 14、编码器支架

15、大轴承 16、电机输出轴 17、电机壳连接块 18、主动轮 19、牵引连接件 20、从动轴 21、从动轮 22、小轴承 23、小轴承座 24、限位块 25、销轴 26、第一压紧块 27、第二压紧块 28、编码器 29。

[0068] 进一步地参阅图 5，电机壳端盖 10 采用沉头螺钉固定在电机壳 11 上，无框电机 12 外圈通过紧定螺钉固定在电机壳 11 上，电机壳 11 内部装有电机输出轴 17，主动轮套设于电机输出轴 17。电机壳 11 与电机壳端盖 10 上分别装有大轴承 16，其用于电机输出轴 17 的轴向固定。无框电机 12 的内圈通过第一电机内圈支架 13 和第二电机内圈支架 14 进行固定，并用螺钉将第一电机内圈支架 13 和第二电机内圈之间 14 固定在电机输出轴 17 上。第一腿部固定连杆 3 通过螺钉固定在电机壳连接块 18 上，电机壳连接块 18 固定在电机壳 11 上。可以理解的是，本发明的优选实施例中，无框电机 12 的型号优选为 TBM60，其内外圈分开组装。采用无框电机能够提高机器人性能、减少维护频率且体积小、占用空间小便于患者穿戴，减小负重。

[0069] 参阅附图 2，从动轮 22 的半径大于主动轮 19 的半径，优选地，主动轮与从动轮的半径比优选为 1:5，通过该设置能够增加输出扭矩。从动轮在靠近主动轮的位置设置有第一牵引固定部即第一压紧块 27 和第二牵引固定部即第二压紧块 28 用于固定牵引连接件 20。第一牵引固定部、主动轮、第二牵引固定部的中心所在位置依次首尾连接能够构成等腰三角形。即第一牵引固定部和第二牵引固定部相对于主动轮 19 径向对称设置。

[0070] 主动轮 19 固定在无框电机 12 的电机输出轴 17 上，从动轮 22 固定在从动轴 21 上，在本申请的实施例中从动轴 21 设置于电机输出轴 17 的下方。牵引连接件 20 连接于主动轮 19 和从动轮 22 之间。具体而言，牵引连接件 20 一端固定在主动轮 19 与电机输出轴 17 之间，采用沉头螺钉压紧，牵引连接件 20 绕主动轮 19 旋转约一周后顺着切线方

向再绕从动轮 22，并在从动轮 22 上用第一压紧块 27 和第二压紧块 28 以及螺钉夹紧固定。在本申请的优选实施例中，从动轮在靠近主动轮的端部设置有弧形凹槽，牵引连接件 20 一端与第一压紧块 27 固定，另一端沿弧形凹槽延伸至主动轮处，并绕主动轮旋转一周后沿切线方向延伸回弧形凹槽直至弧形凹槽末端，并最终通过第二压紧块 28 固定。优选地，第一压紧块 27 和第二压紧块 28 分别设置于从动轮的两侧，在本申请的优选实施例中，第一压紧块 27 装设于从动轮靠近使用者的一侧，第二压紧块 28 装设于从动轮背离使用者的一侧。通过该设置使得牵引连接件的两端分别固定于从动轮的两侧，进而分开牵引连接件，防止牵引连接件在转动过程中的摩擦。

[0071] 参阅附图 2，从动轮 22 采用不规则扇形结构设计，该不规则扇形的外缘即轴心角度为 60° 。该设置使得本发明牵引驱动机构结构更紧凑；同时其与主踏板 7 连接部的上方设置有两个通孔，该设置用于减轻整体机器人重量。

[0072] 进一步地，第一牵引固定部和第二牵引固定部相对于牵引连接件的切线方向分别设置有张紧孔，该张紧孔用于改变牵引连接件 20 的张紧度。参阅附图 2，第一连接杆与从动轮 22 连接处的两端对称设置有两个张紧孔，牵引连接件 20 一端用主动轮 19 固定，另一端采用本发明的特制扳手进行张紧。本发明的特制扳手为 L 形圆柱杆，L 形圆柱杆的短边设置有圆孔。将牵引连接件 20 穿入圆孔内，并将扳手的短边放入张紧孔内，进行旋转即可实现牵引连接件 20 的张紧。优选地，第一牵引固定部/第二牵引固定部的中心与张紧孔的中心共线，即二者均在从动轴 22 的半径上。

[0073] 牵引驱动机构还设置有限位机构，限位机构包括转动配合的第一限位件和第二限位件，第一限位件和第二限位件与从动轮 22 同

轴设置，第一限位件与动力装置的外壳固定，即与电机壳 11 固定。第二限位件与从动轴 21 固定，其能够伴跟随动轴 21 运动；

[0074] 第一限位件包括呈锐角设置的第一限位部和第二限位部，第二限位件包括第三限位部，第三限位部能够在从动轴 21 的带动下于第一限位部与第二限位部之间运动。

[0075] 在本发明的优选实施例中，第一限位件为小轴承座 24，第二限位件为限位块 25。电机壳 11 下端装有小轴承座 24，小轴承座 24 内装有 2 个小轴承 23 和从动轴 21，即从动轴 21 固定装设于电机壳 11 下部，其仅具有绕自身轴线转动的自由度。从动轴 21 两端通过小轴承 23 限位，并用孔用卡簧轴向固定。从动轴 21 从动轴 21 采用螺钉固定在主踏板 7 的支架上，从动轮 22 套设于从动轴 21 并通过轴用卡簧固定。进一步地，从动轴 21 的另一端装有限位块 25，其作用为与小轴承座 24 配合并将踝关节的旋转角度限制在安全角度范围内。第一限位件的两个限位部呈锐角设置用于将限位块的第三限位部的转动角度限制在 $0^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 以内，即用于将足部固定组件的转动角度限制在 $0^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 以内。

[0076] 牵引驱动装置还包括编码器 29，编码器设置于动力装置背离主动轮 19 的一侧，即电机壳 11 的另一侧。编码器 29 与主控模块通过通信链路连接，编码器 29 用于采集踝关节的旋转角度。具体而言，电机输出轴 17 一端装有主动轮 19，另一端装有编码器支架 15。编码器 29 优选为绝对值编码器，编码器 29 的磁环固定在编码器支架 15 上，读数头固定在电机壳端盖 10 上。本发明能够通过编码器或角度传感器检测足部的背屈、趾屈角度，保证足部活动于正常安全的范围之内。优选地，踝关节具体地背屈旋转角度为 $0^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 、趾屈旋转角度为 $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 。

[0077] 本发明的足下垂康复外骨骼机器人的主控模块能够通过控制无框电机 12 旋转，以使得电机输出轴上的主动轮 19 绕自身轴线旋转，进而通过牵引连接件 20 带动从动轮 22 旋转，由于电机输出轴 17

与踝关节对应的转动轴同轴设置，因此从动轮 22 能够带动足部固定组件绕与踝关节对应的转动轴旋转，以实现踝关节进行自动锻炼，达到以物理方式康复治疗足下垂的目的，患者可自行控制主控模块的数据，以便于随时都可以自己进行康复训练，加快足下垂的康复，本发明结构简单且易于操作，能够有效降低康复、护理难度。

[0078] 优选地，本发明的主控模块还包括主控底板、WIFI、蓝牙、TF 卡、电机驱动器、编码器、加速度检测机构、心率检测机构和足底压力传感器。其中，主控底板连接供电、通讯和数据采集模块；加速度检测机构、足底压力传感器和心率检测机构主要用于采集人体运动学和动力学数据以及使用者在运动过程中的心率数据，其能够采集到的数据经过 WIFI 或蓝牙传输，存储在 TF 卡中，在主控模块中进行数据处理后，通过内部设计算法控制电机、编码器，实现外骨骼辅助运动。具体地，本申请通过单片机实现编码器与电机之间的控制反馈，编码器通过 RS485 协议与电机驱动器通信连接。电机驱动器控制电机，编码器获取电机数据反馈给电机驱动器形成闭合回路。可以理解的是，本发明的第二种实施例即牵引驱动机构为两个时同样具备上述的优点和功能，再次不再赘述。

[0079] 进一步地，本申请的感应模块与主控模块通过通信链路连接，感应模块用于获取第一数据包并发送至主控模块，主动模块基于感应模块的数据控制牵引驱动装置，即控制牵引驱动机构中动力装置的旋转。

[0080] 在本申请的第一种优选实施例中，第一数据包包括使用者的足底压力数据信号、关节角度数据信号和速度/加速度数据信号；其中，足底压力数据信号为足底压力传感器检测到的压力数据；关节角度数据信号为关节旋转角度传感器检测到的髋关节、膝关节、踝关节三个

关节的角度数据；速度/加速度为速度/加速度传感器检测的小腿、大腿和上躯干的速度/加速度数据。

[0081] 在另一些优选实施例中，本申请的足下垂康复外骨骼机器人的第一数据包包括使用者在使用过程中的重心高度数据和足底压力数据；具体而言，基于使用者在使用过程中的重心高度数据和足底压力数据能够获取使用者的下一个步态相位。可以理解的是，感应模块还能够获取踝关节力/力矩数据信号等。只要能够用于获取人体下一个步态相位即可。

[0082] 主控模块基于第一数据包的数据信号控制牵引驱动装置驱动足部固定组件相对于腿部固定组件转动，以使得足下垂康复外骨骼机器人为使用者提供助力。具体地，主控模块能够基于第一数据包的数据信号判断使用者下一个步态相位并基于预设的控制规则对足下垂康复外骨骼机器人进行扭矩（力矩）控制或角度（位置）控制，预设的控制规则为步态相位与康复训练方法的映射关系。

[0083] 参阅图 7，本发明能够根据第一数据包的数据信号，基于人体行走不同阶段运动学和动力学参数差异对步态相位进行划分。人体的步态相位总共划分为 8 个相位，其分别为：1、初始接触相；2、负载响应相；3、中间站立相；4、最终站立相；5、预摆动相；6、初始摆动相；7、中间摆动相；8、最终摆动相。

[0084] 为了精确控制足下垂康复外骨骼机器人，给患者提供安全、有效的康复训练，不同阶段下，本发明足下垂康复外骨骼机器人采用不同的控制策略，即本发明通过预设的控制规则为步态相位与康复训练方法的映射关系选择优选的控制方式控制足下垂外骨骼机器人。优选地，1-4 阶段采用（扭矩）力矩控制，使患者能够在支撑相得到可靠的助力；5-8 阶段采用（角度）位置控制，能够为患者设定合适的训练目标，达到最佳训练效果。可以理解的是，1-4 阶段采用（扭矩）力矩控

制、5-8 阶段采用（角度）位置控制帮助患者患足完成背屈，实现正常行走功能。上述实施例仅为一种优选地步态相位与康复训练方法的映射关系，不同患者的康复训练方法不同，因此本领域技术人员可根据患者的实际情况调整该映射关系或力矩大小、踝关节旋转角度等。

[0085] 更进一步地，第一数据包还包括使用者在使用过程中的心率数据，主控模块基于心率数据控制所述动力装置输出轴的转速，以调整使用者的步速。优选地，参阅图 10，为了保证使用者在佩戴踝关节外骨骼机器人时能够以最佳速度行走，使用心率监控的方式来对外骨骼机器人辅助步速进行调节。在佩戴外骨骼机器人前，首先对使用者最佳步速对应的心率进行定量预测；在外骨骼机器人辅助期间，使用者佩戴心率表以实时监测心率。当使用者心率低于（最佳步速心率-20）次/分，接近静息状态时，反映出其步速较慢，可以适当提升外骨骼机器人电机转速，进而提高步速；当使用者心率高于（最佳步速心率+20）次/分时，反映出其步速较快，可以适当降低外骨骼机器人电机转速来降低步速，以预防使用者肌肉疲劳以及可能发生的跌倒危险。

[0086] 可以理解的是，本发明的主控模块能够根据机器人的状态实时调整动力学模型与人机交互模型，并估计干扰，消除干扰的影响，从而进一步改善人机协调性，实现柔顺的运动控制，辅助人体更为自然、轻松地进行康复训练动作。

[0087] 更优选地，本申请提供一种足下垂康复外骨骼机器人自适应步态辅助控制方法，包括以下步骤：

[0088] 步骤 S100，基于标准步态预测模型获取足下垂康复外骨骼机器人使用者标准步态下的步态相位轨迹参数，所述步态相位轨迹参数包括踝关节角度轨迹、踝关节扭矩轨迹和标准重心高度轨迹；具体而言，标准步态预测模型基于样本的年龄、体重、性别、大腿长度、小腿长度、双股宽度、双髌宽度、髌前上棘宽度构建。

[0089] 步骤 S200，获取使用者使用过程中的重心高度数据和足底压力数据，并基于重心高度数据和足底压力数据计算出使用者当前时刻的重心高度数据；

[0090] 步骤 S300，依据使用者当前时刻的重心高度数据获取使用者当前时刻的步态相位，并依据当前时刻的步态相位获取下一时刻的步态相位轨迹参数，具体地，步态相位轨迹参数包括使用者的重心高度、踝关节的扭矩轨迹、踝关节的角度轨迹。

[0091] 进一步地，依据上述数据即踝关节的扭矩轨迹和踝关节的角度轨迹，基于预设的控制规则生成足下垂康复外骨骼机器人的控制信号，并依据该信号调整足下垂康复外骨骼机器人以控制使用者的踝关节扭矩和/或踝关节转动角度；预设的控制规则为步态相位与康复训练方法的映射关系。具体而言，根据使用者的模拟健康步态相位轨迹参数，控制外骨骼康复机器人，同时通过外骨骼康复机器人自带的足底压力传感器和踝关节角度检测传感器作为反馈回路。需要说明的是，本申请的足下垂康复外骨骼机器人自适应步态辅助控制方法主要适用于外骨骼穿戴式足下垂康复外骨骼机器人。

[0092] 具体而言，本申请的控制方法需要建立个性化标准步态预测模型。以下列事实方式为例，并不能限定本发明全部内容。在实际应用中：通过事先采集的健康被试的步态运动数据（髋、膝、踝三个关节的角度，足底压力变化，重心高度变化）和 8 个与个体步态相关性强的个体参数（年龄、体重、性别、大腿长度、小腿长度、双股宽度、双髌宽度、髌前上棘宽度），构建个性化标准步态预测模型。具体方法为：每名被试均在同一跑步机上进行相同时间的匀速行走运动，行走的同时记录运动数据。数据经过滤波、分割、标准化和平均后，得到个性化标准步态并进一步提取标准步态特征。进一步地，设计以 8 个人体参数为输入的高斯过程回归模型，对步态特征分别进行预测。训练后的模型能

够仅凭借新被试的人体参数，准确预测其步态特征，进而还原出对应的标准步态。可以理解的是，本申请的个性化标准步态预测模型可以基于时序模型、支持向量机、人工神经网络、决策树、随机森林中的任一方法进行构建。

[0093] 进一步地，在足下垂患者穿戴本申请足下垂康复外骨骼机器人前，需要首先测量上述的 8 个人体参数，将穿戴者的 8 个人体参数输入至个性化标准步态预测模型，输出获取穿戴者对应的标准步态的相关参数。具体地，穿戴者标注步态相关参数包括标准踝关节角度轨迹、标准踝关节扭矩轨迹和标准重心高度轨迹，其中，踝关节角度轨迹和踝关节扭矩轨迹用于控制足下垂康复外骨骼机器人，重心高度轨迹用于与步态相位一一对应。在实际检测中，穿戴者的实际踝关节扭矩轨迹通过足底压力变化轨迹计算得到，即可通过足下垂外骨骼机器人的足底压力传感器获取；穿戴者的实际踝关节角度轨迹通过惯性传感器或加速度传感器获取；穿戴者的实际重心高度轨迹可通过设置于穿戴者腰部的传感器获取。可以理解的是，穿戴者的实际重心高度获取方法可通过运动捕捉系统获取，也可采用公知技术进行。由于人体在行走过程中，重心高度的周期稳定性强，误差小。因此本申请优选建立标准重心高度轨迹与步态相位的对应关系，即可通过使用者当前的中心高度轨迹获取当前时刻的步态相位，进而获取下一时刻的步态相位。具体地，在外骨骼辅助过程中，利用安置在腰部的传感器记录的使用者实时重心高度、足底压力传感器数据进行范围选择，可确定使用者当前时刻处于标准重心高度轨迹的位置，进一步推测出具体的步态相位，进而确定对应的踝关节扭矩和角度。如图 8 所示。对于不同阶段的步态相位，根据标准踝关节扭矩轨迹和角度轨迹可设定对应的控制目标，进一步，在对应的相位阶段，踝关节扭矩传感器或加速度计测量得到的实际扭矩值或实际角度值作为反馈，与控制目标一同构成控制闭环（如图 9 所示），实现不同相

位阶段的踝关节外骨骼控制方法，使使用者的辅助行走过程更加安全舒适。

[0094] 需要说明的是，人体步态相位轨迹参数还包括髋关节、膝关节等关节的运动参数，由于患者的髋关节和膝关节作为计算数据误差相对较大，因为本申请通过人体重心高度映射步态相位，进而通过踝关节扭矩轨迹和踝关节角度轨迹作为控制目标进行控制。

[0095] 具体地，不同相位阶段的踝关节外骨骼控制方法不同，优选地，1-4阶段采用（扭矩）力矩控制，使用者能够在支撑相得到可靠的助力；5-8阶段采用（角度）位置控制，能够为使用者设定合适的训练目标，达到最佳训练效果。可以理解的是，1-4阶段采用（扭矩）力矩控制、5-8阶段采用（角度）位置控制帮助使用者患足完成背屈，实现正常行走功能。力矩（扭矩）控制具体方式如下：通过使用者实际重心高度和足底压力确定步态相位，进一步确定当前相位下的踝关节扭矩并输入给足下垂康复外骨骼机器人的主控模块作为控制目标。同时，足底压力传感器采集的实时数据经过计算转换为实时的踝关节扭矩，作为反馈输入控制器构成闭环。位置（角度）控制具体方式如下：通过使用者实际重心高度和足底压力确定步态相位，进一步确定当前相位下的踝关节角度并输入给足下垂康复外骨骼机器人的主控模块作为控制目标。同时，安置在踝关节处的加速度计实时采集患者踝关节角度，作为反馈输入控制器构成闭环。

[0096] 上述本申请实施例中的技术方案中，至少具有如下的技术效果及优点：

[0097] 本发明的足下垂康复外骨骼机器人结构简单，可以灵活穿戴，为足下垂患者提供行走助力，辅助进行足部康复训练。足部固定组件相对于腿部固定构件转动速度、角度可控，从而可根据每个患者的足下垂病情不同而制定个性化的康复训练方案，保证康复训练效果。

[0098] 本发明的足下垂康复外骨骼机器人能够通过感应模块记录患者运动学和动力学数据，并在主控模块中实时识别人体运动意图，在动力装置无框电机的传动下模仿健康人正常步态，实现患侧足部主动康复训练。相比电刺激方法，采用电机辅助患者运动能够使患侧足部达到更加精细的角度位置，同时也更加安全。

[0099] 需要说明的是，在本发明的描述中，术语“中心”、“上”、“下”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“内”、“外”等指示方向或位置关系的术语是基于附图所示的方向或位置关系，这仅仅是为了便于描述，而不是指示或暗示所述装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本发明的限制。此外，术语“第一”、“第二”、“第三”仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性。

[00100] 此外，还需要说明的是，在本发明的描述中，除非另有明确的规定和限定，术语“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解，例如，可以是固定连接，也可以是可拆卸连接，或一体地连接；可以是机械连接，也可以是电连接；可以是直接相连，也可以通过中间媒介间接相连，可以是两个元件内部的连通。对于本领域技术人员而言，可根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[00101] 术语“包括”或者任何其它类似用语旨在涵盖非排他性的包含，从而使得包括一系列要素的过程、物品或者设备/装置不仅包括那些要素，而且还包括没有明确列出的其它要素，或者还包括这些过程、物品或者设备/装置所固有的要素。

[00102] 至此，已经结合附图所示的优选实施方式描述了本发明的技术方案，但是，本领域技术人员容易理解的是，本发明的保护范围显然不局限于这些具体实施方式。在不偏离本发明的原理的前提下，本领域

域技术人员可以对相关技术特征做出等同的更改或替换，这些更改或替换之后的技术方案都将落入本发明的保护范围之内。

权 利 要 求 书

1、一种足下垂康复外骨骼机器人，包括足下垂康复设备，所述足下垂康复设备包括足部固定组件、腿部固定组件以及牵引于所述足部固定组件和所述腿部固定组件之间的牵引驱动装置，其特征在于，还包括主控模块和感应模块，所述牵引驱动装置的控制端和所述感应模块分别与所述主控模块通信连接；

所述牵引驱动装置包括分别设置于所述足部固定组件两侧的牵引驱动机构和牵引从动机构；

所述牵引驱动机构包括动力装置、主动轮、从动轴、从动轮和牵引连接件，所述动力装置与所述腿部固定组件固定，所述主动轮套设于所述动力装置的输出轴；所述从动轴与所述足部固定组件固定且与踝关节对应的转动轴同轴设置，所述从动轮套设于所述从动轴，所述从动轮在靠近所述主动轮的端部设置有用以固定所述牵引连接件的第一牵引固定部和第二牵引固定部，所述牵引连接件一端穿过所述第一牵引固定部后绕所述主动轮旋转一周后沿切线方向延伸穿过所述第二牵引固定部并固定；

所述感应模块用于获取第一数据包并发送至所述主控模块，所述第一数据包包括使用者在使用过程中的重心高度数据和足底压力数据；

所述主控模块基于所述第一数据包的数据信号控制所述动力装置通过所述牵引连接件驱动所述从动轮绕所述从动轴轴向旋转，以使得所述牵引从动机构跟随转动，进而带动所述足部固定组件绕与踝关节对应的转动轴转动。

2、一种足下垂康复外骨骼机器人，包括足下垂康复设备，所述足下垂康复设备包括足部固定组件、腿部固定组件以及牵引于所述足部固定组件和所述腿部固定组件之间的牵引驱动装置，其特征在于，还包括主控

模块和感应模块，所述牵引驱动装置的控制端和所述感应模块分别与所述主控模块通信连接；

所述牵引驱动装置包括两个分别设置于所述足部固定组件两侧的牵引驱动机构；

所述牵引驱动机构包括动力装置、主动轮、从动轴、从动轮和牵引连接件，所述动力装置与所述腿部固定组件固定，所述主动轮套设于所述动力装置的输出轴；所述从动轴与所述足部固定组件固定且与踝关节对应的转动轴同轴设置，所述从动轮套设于所述从动轴，所述从动轮在靠近所述主动轮的端部设置有用以固定所述牵引连接件的第一牵引固定部和第二牵引固定部，所述牵引连接件一端穿过所述第一牵引固定部后绕所述主动轮旋转一周后沿切线方向延伸穿过所述第二牵引固定部并固定；

所述感应模块用于获取第一数据包并发送至所述主控模块，所述第一数据包包括使用者在使用过程中的重心高度数据和足底压力数据；

所述主控模块基于所述第一数据包的数据信号控制所述动力装置通过所述牵引连接件驱动所述从动轮绕所述从动轴轴向旋转，进而带动所述足部固定组件绕与踝关节对应的转动轴转动。

3、根据权利要求 1 或 2 中任一项所述的足下垂康复外骨骼机器人，其特征在于，所述从动轮的半径大于所述主动轮的半径，所述第一牵引固定部、所述主动轮、所述第二牵引固定部的中心所在位置依次首尾连接能够构成等腰三角形。

4、根据权利要求 1 或 2 中任一项所述的足下垂康复外骨骼机器人，其特征在于，所述牵引驱动机构还设置有限位机构，所述限位机构包括转动配合的第一限位件和第二限位件，所述第一限位件和所述第二限位件与所述从动轮同轴设置，所述第一限位件与所述动力装置的外壳固定，所

述第二限位件与所述从动轴固定；

所述第一限位件包括呈锐角设置的第一限位部和第二限位部，所述第二限位件包括第三限位部，所述第三限位部能够在所述从动轴的带动下于所述第一限位部与所述第二限位部之间运动。

5、根据权利要求 1 或 2 中任一项所述的足下垂康复外骨骼机器人，其特征在于，所述牵引驱动装置包括编码器，所述编码器设置于所述动力装置背离所述主动轮的一侧，所述编码器与所述主控模块通过通信链路连接，所述编码器用于获取踝关节的旋转角度。

6、根据权利要求 1 或 2 中任一项所述的足下垂康复外骨骼机器人，其特征在于，所述足部固定组件包括分别设置于前足部的主踏板以及设置于后足部的副踏板，所述主踏板与所述副踏板铰接。

7、根据权利要求 1 或 2 中任一项所述的足下垂康复外骨骼机器人，其特征在于，所述主控模块能够基于所述第一数据包的数据信号判断使用者下一个步态相位并基于预设的控制规则对所述足下垂康复外骨骼机器人进行扭矩控制或角度控制，所述预设的控制规则为步态相位与康复训练方法的映射关系。

8、根据权利要求 1 或 2 中任一项所述的足下垂康复外骨骼机器人，其特征在于，所述第一数据包还包括使用者在使用过程中的心率数据，所述主控模块基于所述心率数据控制所述动力装置输出轴的转速，以调整使用者的步速。

9、一种足下垂康复外骨骼机器人自适应步态辅助控制方法，其特征在于，包括以下步骤：

步骤 S100, 基于标准步态预测模型获取足下垂康复外骨骼机器人使用者标准步态下的步态相位轨迹参数, 所述步态相位轨迹参数包括踝关节角度轨迹、踝关节扭矩轨迹和标准重心高度轨迹;

步骤 S200, 获取使用者使用过程中的重心高度数据和足底压力数据, 并基于所述重心高度数据和足底压力数据计算出使用者当前时刻的重心高度数据;

步骤 S300, 依据所述使用者当前时刻的重心高度数据获取使用者当前时刻的步态相位, 并依据当前时刻的步态相位获取下一时刻的步态相位轨迹参数, 并基于预设的控制规则生成足下垂康复外骨骼机器人的控制信号, 并依据该信号调整足下垂康复外骨骼机器人以控制使用者的踝关节扭矩和/或踝关节转动角度;

所述预设的控制规则为步态相位与康复训练方法的映射关系。

10、根据权利要求 9 所述的足下垂康复外骨骼机器人自适应步态辅助控制方法, 其特征在于, 所述标准步态预测模型基于样本的年龄、体重、性别、大腿长度、小腿长度、双股宽度、双髌宽度、髌前上棘宽度构建。

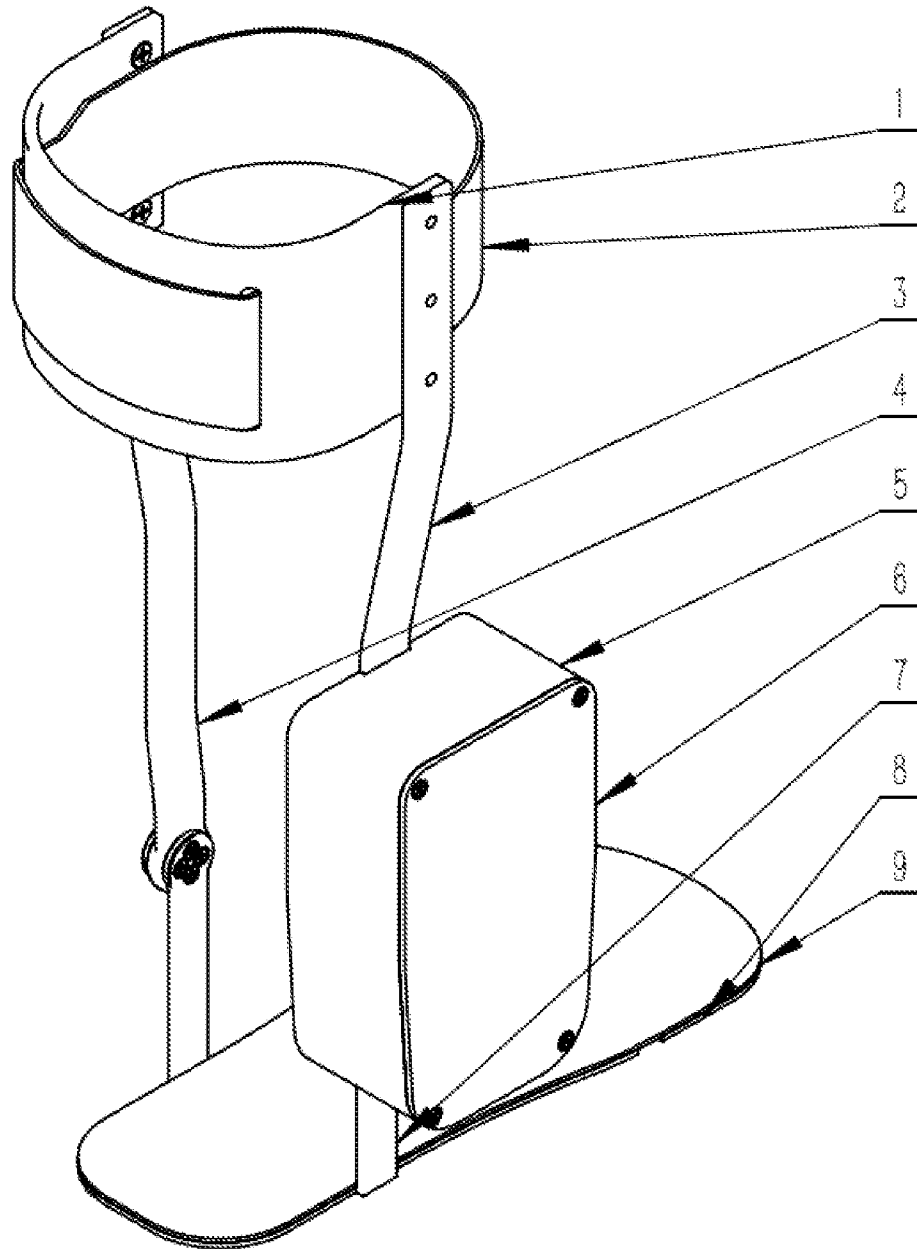


图 1

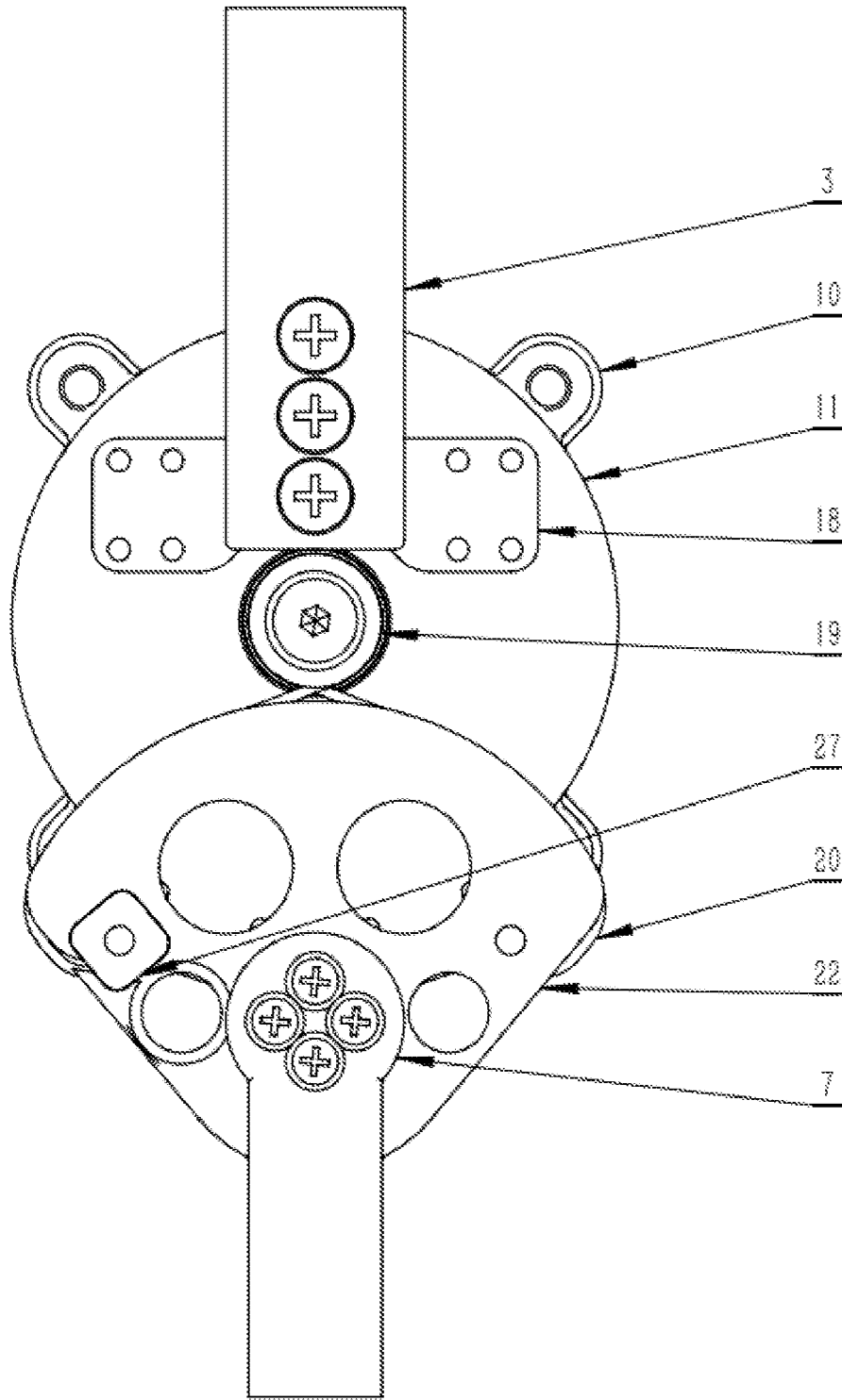


图 2

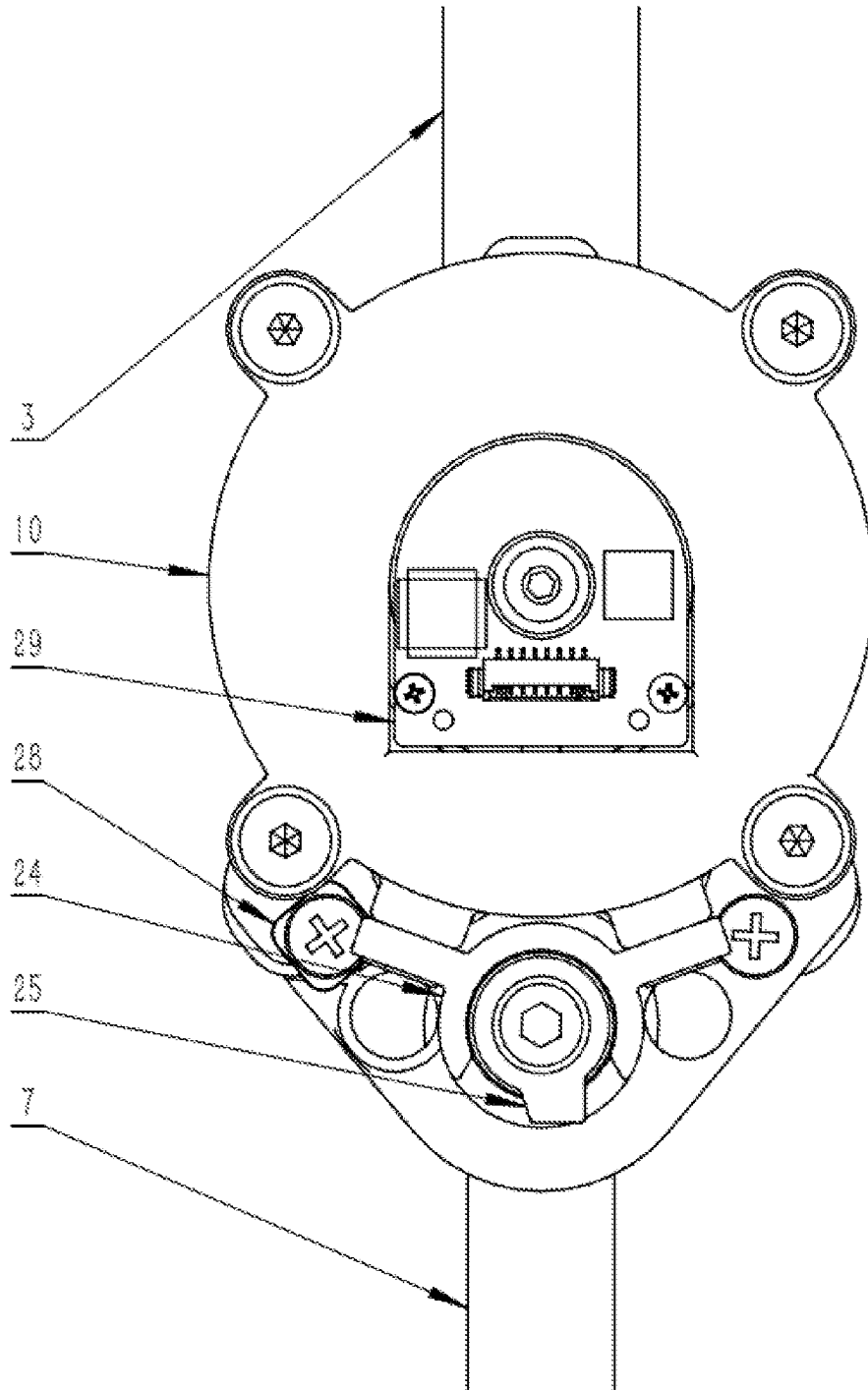


图 3

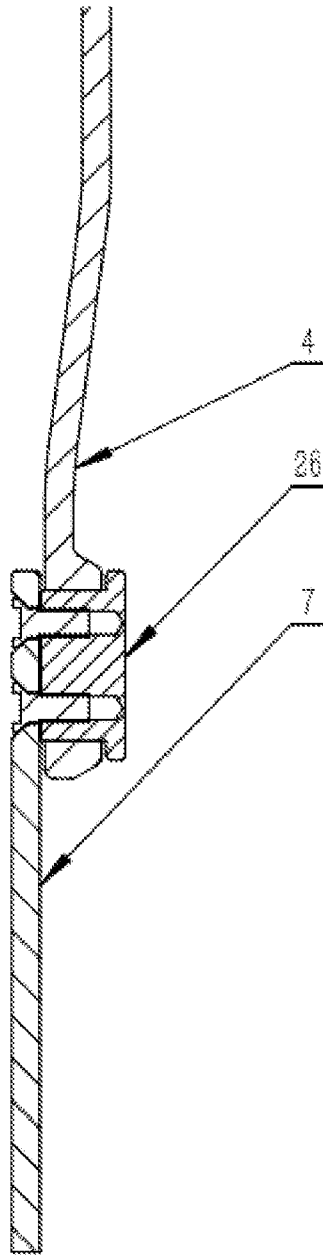


图 4

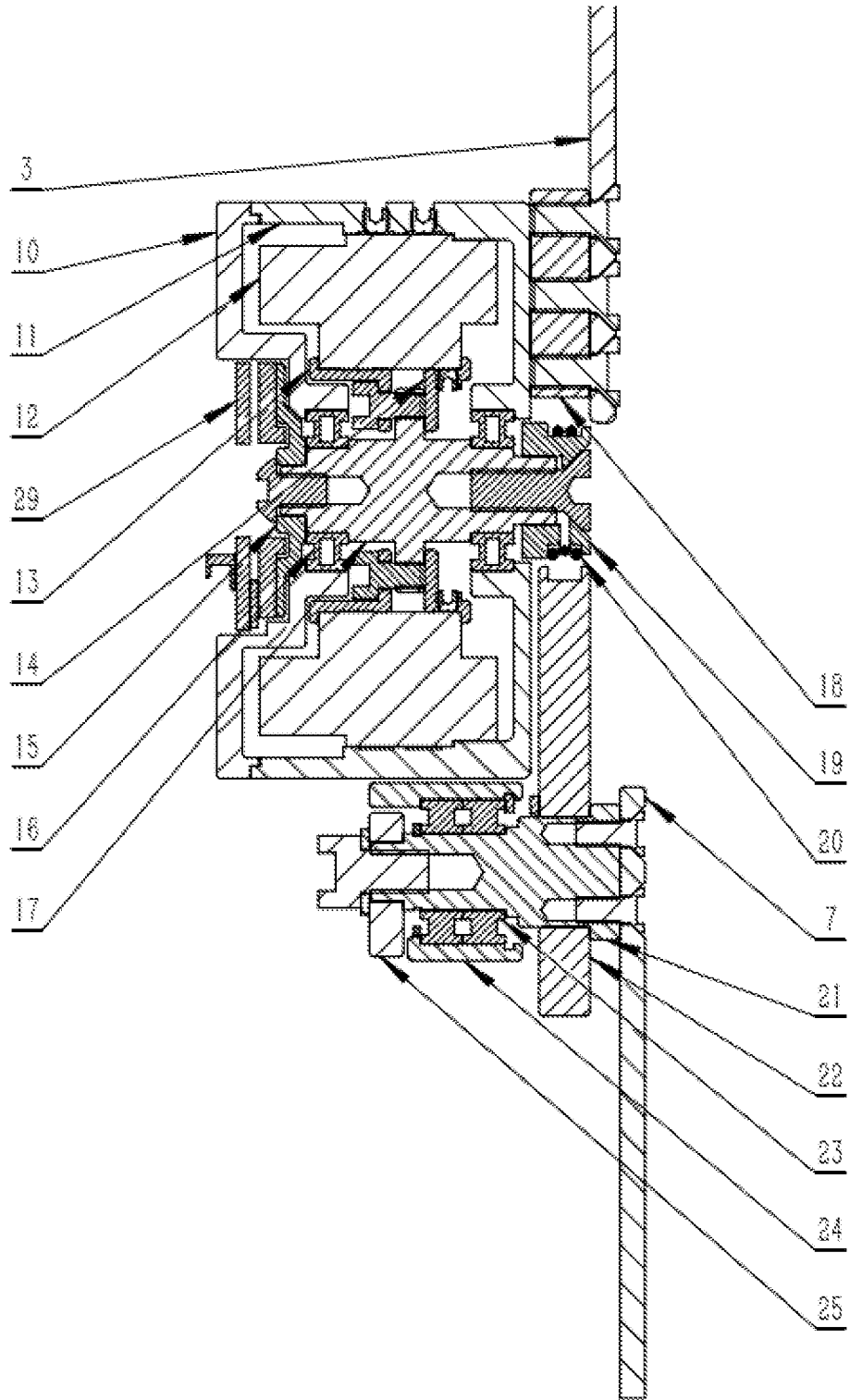


图 5

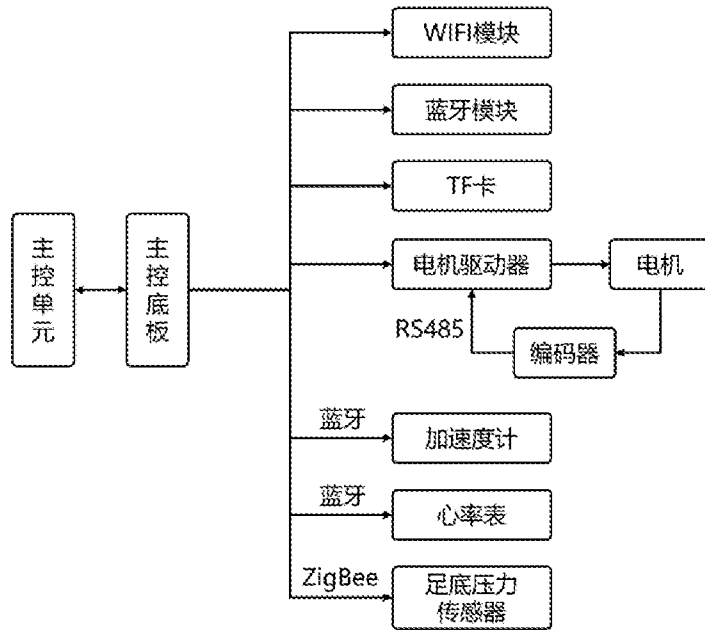


图 6

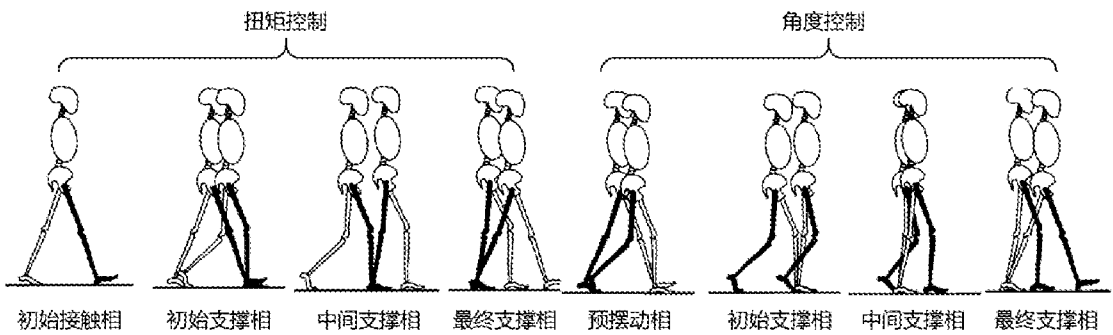


图 7

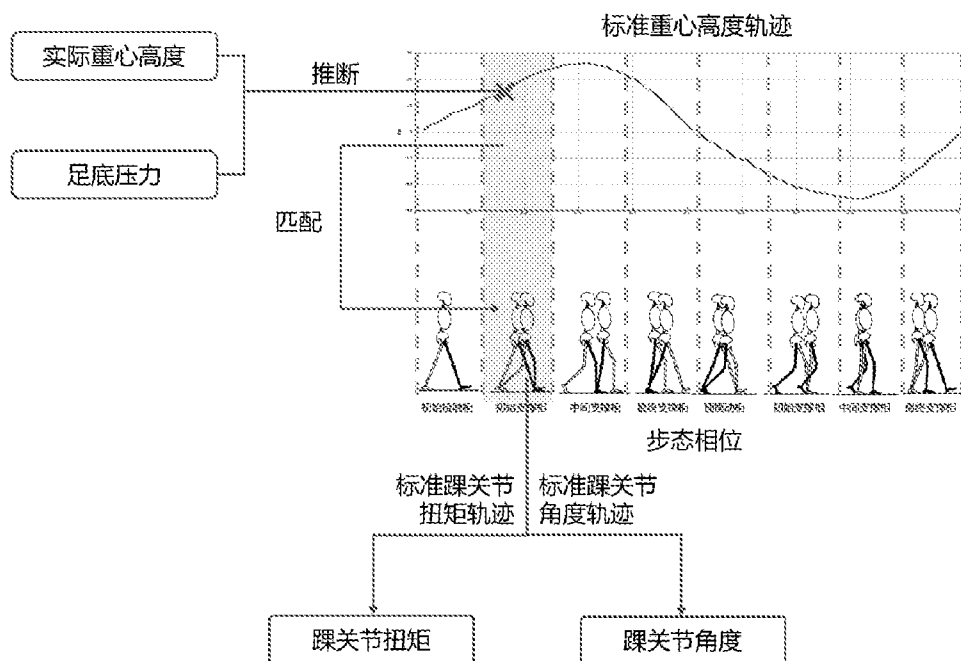


图 8

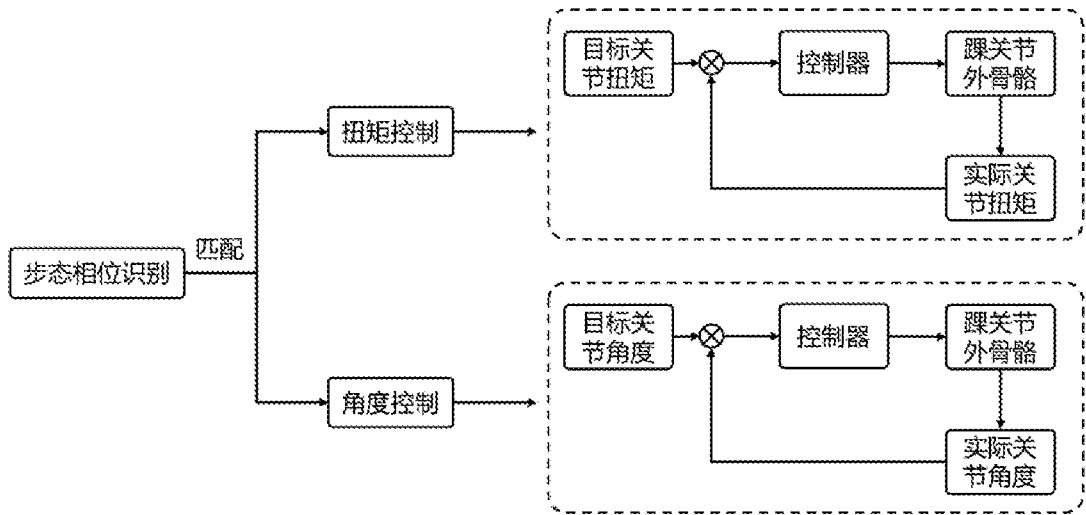


图 9

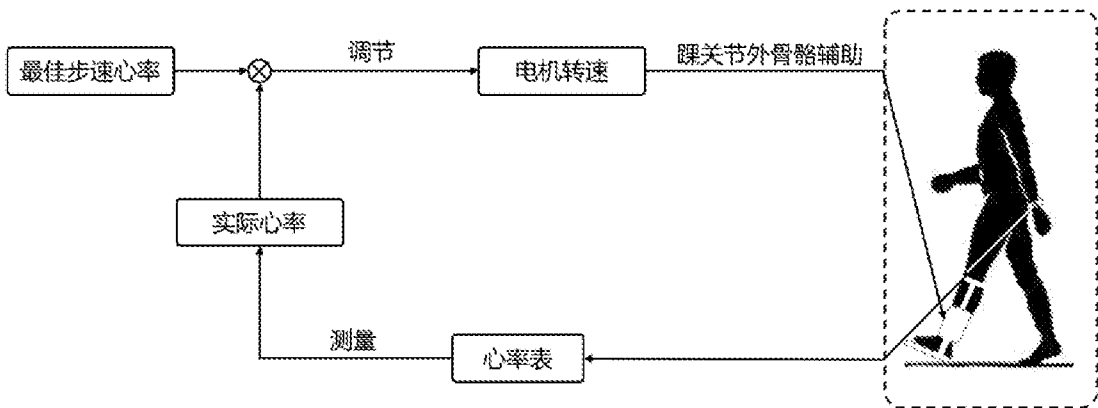


图 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/132670

| A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| A61H 1/02(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) | | |
| CNKI, CNPAT, WPI, EPODOC: 中国科学院自动化研究所, 王卫群, 侯增广, 胡旭超, 石伟国, 焦雨泽, 方志杰, 足下垂, 康复, 轮, 关节, 绳, 编码器, 索, 线, 限位, 重心, 相位, 步态, foot, drop, rehabilit+, wheel? , joint? , rope? , encoder? , cable? , wires, limit+, center, gravity, phase, gait | | |
| C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
| Y | CN 107997929 A (WANG, Jing) 08 May 2018 (2018-05-08) description, paragraphs [0037]-[0046], and figures 1-10 | 1-8 |
| Y | CN 209966958 U (NANJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 21 January 2020 (2020-01-21) description, paragraphs [0033]-[0038], and figures 1-12 | 1-8 |
| A | CN 109124986 A (FOSHAN CHANCHENG DISTRICT RELA SPACE BIO-TECH CO., LTD.) 04 January 2019 (2019-01-04) entire document | 1-8 |
| A | CN 106264988 A (THE HONG KONG POLYTECHNIC UNIVERSITY) 04 January 2017 (2017-01-04) entire document | 1-8 |
| A | WO 2020014257 A1 (DEPHY, INC.) 16 January 2020 (2020-01-16) entire document | 1-8 |
| A | CN 209236745 U (DONGGUAN PRESTIGE SPORTING GOODS COMPANY LIMITED) 13 August 2019 (2019-08-13) entire document | 1-8 |
| <input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 | | 24 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/CN2020/132670

| C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
| A | CN 109846672 A (HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 07 June 2019 (2019-06-07) entire document | 1-8 |
| A | CN 104825306 A (SOUTHEAST UNIVERSITY) 12 August 2015 (2015-08-12) entire document | 1-8 |

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. Claims Nos.: **9-10**
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
 - [1] Claims 9-10 set forth a control method for self-adaptive gait-assistance of a foot drop rehabilitation exoskeleton robot, which controls the rotation of an ankle joint by collecting body parameters to achieve the purpose of foot drop rehabilitation training, and belongs to a disease treatment method. Therefore, claims 9 and 10 belong to a subject matter that the International Search Authority is not required to search under PCT Rule 39.1(4).
2. Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2020/132670

| Patent document cited in search report | | | Publication date (day/month/year) | Patent family member(s) | | | Publication date (day/month/year) |
|----------------------------------------|------------|----|-----------------------------------|-------------------------|------------|----|-----------------------------------|
| CN | 107997929 | A | 08 May 2018 | CN | 107997929 | B | 01 September 2020 |
| CN | 209966958 | U | 21 January 2020 | None | | | |
| CN | 109124986 | A | 04 January 2019 | None | | | |
| CN | 106264988 | A | 04 January 2017 | TW | 201639534 | A | 16 November 2016 |
| | | | | US | 10426637 | B2 | 01 October 2019 |
| | | | | US | 2016331557 | A1 | 17 November 2016 |
| | | | | CN | 106264988 | B | 27 December 2019 |
| WO | 2020014257 | A1 | 16 January 2020 | US | 2020016020 | A1 | 16 January 2020 |
| | | | | CA | 3105499 | A1 | 16 January 2020 |
| CN | 209236745 | U | 13 August 2019 | CN | 107362001 | A | 21 November 2017 |
| CN | 109846672 | A | 07 June 2019 | None | | | |
| CN | 104825306 | A | 12 August 2015 | None | | | |

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2020/132670

| <p>A. 主题的分类</p> <p>A61H 1/02 (2006.01) i</p> <p>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</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---|-------------------------------------------------------------------------------|-----|---|------------------------------------------------------------------------------------|-----|---|------------------------------------------------------------------------|-----|---|------------------------------------------------------------|-----|---|--------------------------------------------------------------------|-----|---|-------------------------------------------------------------------|-----|---|------------------------------------------------------------|-----|
| <p>B. 检索领域</p> <p>检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)</p> <p>A61H</p> <p>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献</p> <p>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))</p> <p>CNKI, CNPAT, WPI, EP0DOC: 中国科学院自动化研究所, 王卫群, 侯增广, 胡旭超, 石伟国, 焦雨泽, 方志杰, 足下垂, 康复, 轮, 关节, 绳, 编码器, 索, 线, 限位, 重心, 相位, 步态, foot, drop, rehabilit+, wheel?, joint?, rope?, encoder?, cable?, wires, limit+, center, gravity, phase, gait</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>C. 相关文件</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>CN 107997929 A (王晶) 2018年 5月 8日 (2018 - 05 - 08) 说明书第[0037]-[0046]段, 图1-10</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 209966958 U (南京工程学院) 2020年 1月 21日 (2020 - 01 - 21) 说明书第[0033]-[0038]段, 图1-12</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 109124986 A (佛山市禅城区热拉空间生物科技有限公司) 2019年 1月 4日 (2019 - 01 - 04) 全文</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 106264988 A (香港理工大学) 2017年 1月 4日 (2017 - 01 - 04) 全文</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 2020014257 A1 (DEPHY, INC.) 2020年 1月 16日 (2020 - 01 - 16) 全文</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 209236745 U (东莞威信运动用品有限公司) 2019年 8月 13日 (2019 - 08 - 13) 全文</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 109846672 A (合肥工业大学) 2019年 6月 7日 (2019 - 06 - 07) 全文</td> <td>1-8</td> </tr> </tbody> </table> | | | 类型* | 引用文件, 必要时, 指明相关段落 | 相关的权利要求 | Y | CN 107997929 A (王晶) 2018年 5月 8日 (2018 - 05 - 08) 说明书第[0037]-[0046]段, 图1-10 | 1-8 | Y | CN 209966958 U (南京工程学院) 2020年 1月 21日 (2020 - 01 - 21) 说明书第[0033]-[0038]段, 图1-12 | 1-8 | A | CN 109124986 A (佛山市禅城区热拉空间生物科技有限公司) 2019年 1月 4日 (2019 - 01 - 04) 全文 | 1-8 | A | CN 106264988 A (香港理工大学) 2017年 1月 4日 (2017 - 01 - 04) 全文 | 1-8 | A | WO 2020014257 A1 (DEPHY, INC.) 2020年 1月 16日 (2020 - 01 - 16) 全文 | 1-8 | A | CN 209236745 U (东莞威信运动用品有限公司) 2019年 8月 13日 (2019 - 08 - 13) 全文 | 1-8 | A | CN 109846672 A (合肥工业大学) 2019年 6月 7日 (2019 - 06 - 07) 全文 | 1-8 |
| 类型* | 引用文件, 必要时, 指明相关段落 | 相关的权利要求 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Y | CN 107997929 A (王晶) 2018年 5月 8日 (2018 - 05 - 08) 说明书第[0037]-[0046]段, 图1-10 | 1-8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Y | CN 209966958 U (南京工程学院) 2020年 1月 21日 (2020 - 01 - 21) 说明书第[0033]-[0038]段, 图1-12 | 1-8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | CN 109124986 A (佛山市禅城区热拉空间生物科技有限公司) 2019年 1月 4日 (2019 - 01 - 04) 全文 | 1-8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | CN 106264988 A (香港理工大学) 2017年 1月 4日 (2017 - 01 - 04) 全文 | 1-8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | WO 2020014257 A1 (DEPHY, INC.) 2020年 1月 16日 (2020 - 01 - 16) 全文 | 1-8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | CN 209236745 U (东莞威信运动用品有限公司) 2019年 8月 13日 (2019 - 08 - 13) 全文 | 1-8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | CN 109846672 A (合肥工业大学) 2019年 6月 7日 (2019 - 06 - 07) 全文 | 1-8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p><input checked="" type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。</p> <table border="0"> <tr> <td> <p>* 引用文件的具体类型:</p> <p>“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件</p> <p>“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利</p> <p>“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)</p> <p>“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件</p> <p>“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</p> </td> <td> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” 同族专利的文件</p> </td> </tr> </table> | | | <p>* 引用文件的具体类型:</p> <p>“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件</p> <p>“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利</p> <p>“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)</p> <p>“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件</p> <p>“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</p> | <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” 同族专利的文件</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>* 引用文件的具体类型:</p> <p>“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件</p> <p>“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利</p> <p>“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)</p> <p>“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件</p> <p>“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</p> | <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” 同族专利的文件</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>国际检索实际完成的日期</p> <p>2021年 6月 4日</p> | <p>国际检索报告邮寄日期</p> <p>2021年 6月 24日</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>ISA/CN的名称和邮寄地址</p> <p>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</p> <p>传真号 (86-10)62019451</p> | <p>授权官员</p> <p>姜佩杰</p> <p>电话号码 86-(10)-53962499</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 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 |
| A | CN 104825306 A (东南大学) 2015年 8月 12日 (2015 - 08 - 12) 全文 | 1-8 |

第II栏 某些权利要求被认为是不能检索的意见(续第1页第2项)

根据条约第17条(2)(a)，对某些权利要求未做国际检索报告的理由如下：

1. 权利要求： 9-10
因为它们涉及不要求本单位进行检索的主题，即：
[1] 权利要求9-10请求保护足下垂康复外骨骼机器人自适应步态辅助控制方法，其通过采集身体参数对踝关节的转动进行控制，达到足下垂康复训练的目的，属于疾病的治疗方法，因此，权利要求9-10属于PCT实施细则39.1(4)定义的不要求国际检索单位检索的主题。
2. 权利要求：
因为它们涉及国际申请中不符合规定的要求的部分，以致不能进行任何有意义的国际检索，具体地说：
3. 权利要求：
因为它们是从属权利要求，并且没有按照细则6.4(a)第2句和第3句的要求撰写。

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2020/132670

| 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 | 107997929 | A | 2018年 5月 8日 | CN | 107997929 | B | 2020年 9月 1日 |
| CN | 209966958 | U | 2020年 1月 21日 | 无 | | | |
| CN | 109124986 | A | 2019年 1月 4日 | 无 | | | |
| CN | 106264988 | A | 2017年 1月 4日 | TW | 201639534 | A | 2016年 11月 16日 |
| | | | | US | 10426637 | B2 | 2019年 10月 1日 |
| | | | | US | 2016331557 | A1 | 2016年 11月 17日 |
| | | | | CN | 106264988 | B | 2019年 12月 27日 |
| WO | 2020014257 | A1 | 2020年 1月 16日 | US | 2020016020 | A1 | 2020年 1月 16日 |
| | | | | CA | 3105499 | A1 | 2020年 1月 16日 |
| CN | 209236745 | U | 2019年 8月 13日 | CN | 107362001 | A | 2017年 11月 21日 |
| CN | 109846672 | A | 2019年 6月 7日 | 无 | | | |
| CN | 104825306 | A | 2015年 8月 12日 | 无 | | | |