(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
2023 年 5 月 4 日 (04.05.2023)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2023/071906 A1

(51) 国际专利分类号:
A61B 34/37 (2016.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2022/126409

(22) 国际申请日: 2022 年 10 月 20 日 (20.10.2022)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202111272398.0 2021年10月29日 (29.10.2021) CN

(71) 申请人: 深圳市精锋医疗科技股份有限公司(**SHENZHEN EDGE MEDICAL CO., LTD**) [CN/CN]; 中国广东省深圳市龙岗区宝龙街道宝龙社区宝荷大道76号智慧家园二期2B1901, Guangdong 518000 (CN)。

(72) 发明人: 刘放(**LIU, Fang**); 中国广东省深圳市龙岗区宝龙街道宝龙社区宝荷大道76号智慧家园二期2B1901, Guangdong 518000 (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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, 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, CV, 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, ME, 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))。

(54) **Title:** MECHANICAL ARM, MAIN OPERATING PLATFORM, AND SURGICAL ROBOT

(54) 发明名称: 机械臂、主操作台、手术机器人

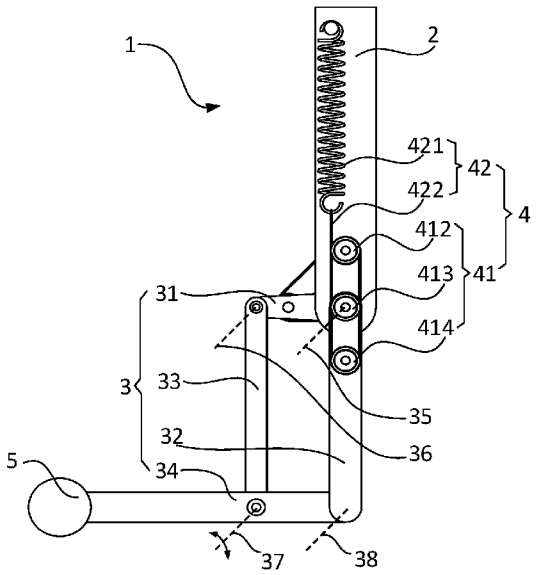


图 1

(57) **Abstract:** A mechanical arm (1), a main operating platform (100), and a surgical robot. The mechanical arm (1) comprises a base connecting rod (2); a parallelogram mechanism (3) rotatably connected to the base connecting rod (2), an axis of rotation of the parallelogram mechanism (3) around the base connecting rod (2) coinciding with a first rotational axis (35) between a first connecting rod (31) and a second connecting rod (32) in the parallelogram mechanism (3); and a gravity compensation mechanism (4), comprising a rotating mechanism and an elastic mechanism, the rotating mechanism being coupled to at least one of the first connecting rod (31) and the second connecting rod (32), as well as the base connecting rod (2), and the elastic mechanism being coupled to the base connecting rod (2) and the rotating mechanism, so as to generate a compensation torque to balance gravity torque of the parallelogram mechanism (3) in at least one degree of freedom corresponding to the parallelogram mechanism (3). On the basis of not increasing inertia of the mechanical arm (1), good gravity balance can be achieved on the degree of freedom subject to gravity compensation, having an excellent operation experience.

WO 2023/071906 A1

[见续页]

(57) 摘要：一种机械臂(1)、主操作台(100)、手术机器人。机械臂(1)包括底座连杆(2)；转动连接于底座连杆(2)的平行四边形机构(3)，平行四边形机构(3)围绕底座连杆(2)转动的轴线与平行四边形机构(3)中第一连杆(31)和第二连杆(32)之间的第一旋转轴线(35)重合；及重力补偿机构(4)，包括转动机构和弹性机构，转动机构耦接于第一连杆(31)和第二连杆(32)之中的至少一个、及底座连杆(2)，弹性机构耦接底座连杆(2)和转动机构，以在平行四边形机构(3)对应的至少一个自由度产生平衡平行四边形机构(3)的重力矩的补偿力矩。在不增加机械臂(1)惯性的基础上，能在被重力补偿的自由度上实现较好的重力平衡，具有极佳的操作体验。

说明书

机械臂、主操作台、手术机器人

本申请要求于2021年10月29日提交中国专利局、申请号为 202111272398.0、申请名称为“机械臂、主操作台、手术机器人”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

[0001] 本申请涉及机器人技术领域，特别是涉及一种机械臂、主操作台。

背景技术

[0002] 在工业机器人及医疗机器人等技术领域，具有特定数量的自由度的机械臂越来越广泛的被应用于机器人。

[0003] 以腹腔镜手术机器人为例，腹腔镜手术机器人包括主操作台和由主操作台控制的从操作设备。主操作台包括主手（master hand），主手包括具有多个自由度的机械臂，医生通过操作机械臂产生控制命令进而对从操作设备进行控制。

[0004] 在现有的一些产品中，主手的机械臂中部分结构可能容易构成悬臂结构，进而存在由于悬臂结构的重力影响操作手感的问题。

发明内容

[0005] 基于此，有必要提供一种机械臂、主操作台、手术机器人，能够在不增加机械臂惯性的基础上，在被重力补偿的自由度上实现较好的重力平衡，进而具有极佳的操作体验。

[0006] 为解决上述技术问题，本申请提供一种机械臂，包括：底座连杆；平行四边形机构，包括依次转动连接的第一连杆、第二连杆、第三连杆及第四连杆，所述平行四边形机构转动连接于所述底座连杆，所述平行四边形机构围绕所述底座连杆转动的轴线与所述第一连杆和所述第二连杆之间的第一旋

转轴线重合，所述平行四边形机构具有所述平行四边形机构整体相对于所述底座连杆转动的自由度、及所述平行四边形机构中相邻两个连杆之间相互转动的自由度；及重力补偿机构，包括转动机构和弹性机构，所述转动机构耦接于所述第一连杆和所述第二连杆之中的至少一个、及所述底座连杆，所述弹性机构耦接所述底座连杆和所述转动机构，以在所述平行四边形机构关联的至少一个自由度产生平衡所述平行四边形机构的重力矩的补偿力矩。

[0007] 可选的，所述转动机构包括第一转动机构，所述弹性机构包括第一弹性机构，所述第一转动机构耦接于所述第一连杆和所述第二连杆之中的一个、及所述底座连杆，所述第一弹性机构耦接所述底座连杆和所述第一转动机构，以在所述平行四边形机构关联的一个自由度产生平衡所述平行四边形机构的重力矩的补偿力矩；及/或所述转动机构包括第二转动机构，所述弹性机构包括第二弹性机构，所述第二转动机构耦接于所述第一连杆和所述第二连杆之中的另一个、及所述底座连杆，所述第二弹性机构耦接所述底座连杆和所述第二转动机构，以在所述平行四边形机构关联的另一个自由度产生平衡所述平行四边形机构的重力矩的补偿力矩。。

[0008] 可选的，所述平行四边形机构包括第一自由度，所述第一自由度包括所述平行四边形机构整体围绕所述第一旋转轴线转动的自由度，所述第一转动机构耦接于所述底座连杆和所述第一连杆，所述第一弹性机构在所述第一自由度产生平衡所述平行四边形机构的重力矩的补偿力矩。

[0009] 可选的，所述第一转动机构包括第一转动部、第二转动部、第三转动部及第四转动部，所述第一转动部固定连接于所述底座连杆，所述第二转动部与所述第一转动部同轴设置且所述第二转动部相对所述第一转动部可转动，所述第三转动部和所述第四转动部分别转动连接于所述第一连杆，所述第三转动部的旋转轴线重合所述第一旋转轴线，所述第二转动部和所述第四转动部的旋转轴线分别与所述第一旋转轴线平行；所述第一弹性机构包括第一弹性元件和第一线缆，所述第一弹性元件的第一端连接所述底座连杆，所述第一线缆的第一端固定连接所述第一转动部，所述第一线缆的第二端绕设

所述第二转动部、并经过所述第三转动部导向、再绕设所述第四转动部后，连接所述第一弹性元件的第二端；或，所述第一弹性元件的第一端连接所述底座连杆，所述第一线缆的第一端固定连接所述第一转动部，所述第一线缆的第二端绕设所述第四转动部、并经过所述第三转动部导向、再绕设所述第二转动部后，连接所述第一弹性元件的第二端。

[0010] 可选的，所述第一弹性元件的弹性系数、所述第三转动部的旋转轴线与所述第二转动部的旋转轴线之间的距离、及所述第四转动部的旋转轴线到所述第一旋转轴线之间的距离中包括至少一个第一待确定参数，所述第一待确定参数基于第一条件和第二条件而确定，所述第一条件包括所述第一连杆的重力、所述第三连杆的重力、所述第四连杆的重力、所述第一连杆的重心到所述第一旋转轴线的距离、所述第三连杆的重心到所述第二连杆和所述第三连杆之间的第二旋转轴线的距离、及所述第四连杆和所述第一连杆之间的第四旋转轴线到所述第一旋转轴线的距离确定，所述第二条件包括所述第一弹性元件的弹性系数、所述第三转动部的旋转轴线与所述第二转动部的旋转轴线之间的距离、及所述第四转动部的旋转轴线到所述第一旋转轴线之间的距离中除所述第一待确定参数以外的参数。

[0011] 可选的，所述第一弹性元件和所述第一转动机构的配置满足如下公式：

$$k1 \times a1 \times b1 \leqslant G1 \times L1 + G3 \times L3 + G4 \times L4$$

[0012] k1 表示所述第一弹性元件的弹性系数，a1 表示所述第四转动部的旋转轴线到所述第一旋转轴线的距离，b1 表示所述第三转动部的旋转轴线到所述第二转动部的旋转轴线的距离，G1 表示所述第一连杆的重力，G3 表示所述第三连杆的重力，G4 表示所述第四连杆的重力，L1 表示所述第一连杆的重心到所述第一旋转轴线的距离，L3 表示所述第三连杆的重心到所述第二连杆和所述第三连杆之间的第二旋转轴线的距离，L4 表示所述第四连杆和所述第一连杆之间的第四旋转轴线到所述第一旋转轴线的距离。

[0013] 可选的，第一弹性元件包括变刚度弹簧以实现弹性系数可调、所述第四转动部的旋转轴线到所述第一旋转轴线的距离、及/或所述第三转动部的旋

转轴线到所述第二转动部的旋转轴线的距离可调。

[0014] 可选的，所述重力补偿机构包括第一导向部和第一安装部，所述第一导向部设置于所述第一连杆，所述第一安装部可移动地设置于所述第一导向部，所述第四转动部可转动地装设于所述第一安装部；及/或所述重力补偿机构包括第二导向部和第二安装部，所述第二导向部设置于所述底座连杆，所述第一转动部固定装设于所述第二安装部，所述第二转动部可转动地装设于所述第二安装部。

[0015] 可选的，所述第一导向部及/或所述第二导向部包括滑槽或滑轨；所述第一转动部、所述第二转动部、所述第三转动部及所述第四转动部包括滑轮。

[0016] 可选的，所述重力补偿机构还包括第一驱动机构，所述第一驱动机构耦接所述第一导向部或所述第一安装部，以驱动所述第一安装部在所述第一导向部移动而带动所述第四转动部相对于所述第一连杆移动；及/或所述重力补偿机构还包括第二驱动机构，所述第二驱动机构耦接所述第二导向部或所述第二安装部，以驱动所述第二安装部在所述第二导向部移动而带动所述第一转动部和所述第二转动部相对于所述底座连杆移动。

[0017] 可选的，所述平行四边形机构包括第二自由度，所述第二自由度包括所述平行四边形机构中相邻两个连杆之间转动的自由度，所述第二转动机构耦接于所述底座连杆和所述第二连杆，所述第二弹性机构在所述第二自由度产生平衡所述平行四边形机构的重力矩的补偿力矩。

[0018] 可选的，所述第二转动机构包括第五转动部、第七转动部及第八转动部，所述第五转动部固定连接于所述底座连杆，所述第七转动部和所述第八转动部分别转动连接于所述第二连杆，所述第七转动部的旋转轴线重合所述第一旋转轴线，所述第五转动部和所述第八转动部的旋转轴线分别与所述第一旋转轴线平行；所述第二弹性机构包括第二弹性元件和第二线缆，所述第二弹性元件的第一端连接所述底座连杆，所述第二线缆的第一端固定连接所述第五转动部，所述第一线缆的第二端经过所述第七转动部导向、再绕设所述第八转动部后，连接所述第二弹性元件的第二端；或，所述第二弹性元件

的第一端连接所述底座连杆，所述第二线缆的第一端固定连接所述第五转动部，所述第一线缆的第二端绕设所述第八转动部、并经过所述第七转动部导向后，连接所述第二弹性元件的第二端。

[0019] 可选的，所述第二弹性元件的弹性系数、所述第七转动部的旋转轴线与所述第五转动部的旋转轴线之间的距离、及所述第八转动部的旋转轴线与所述第七转动部的旋转轴线之间的距离中包括至少一个第二待确定参数，所述第二待确定参数基于第三条件和第四条件而确定，所述第三条件包括所述第二连杆的重力、所述第三连杆的重力、所述第四连杆的重力、所述第二连杆的重心到所述第一旋转轴线的距离、所述第二连杆和所述第三连杆之间的第二旋转轴线到所述第一旋转轴线的距离、及所述第四连杆的重心到所述第四连杆和所述第一连杆之间的第四旋转轴线的距离，所述第四条件包括所述第二弹性元件的弹性系数、所述第七转动部的旋转轴线与所述第五转动部的旋转轴线之间的距离、及所述第八转动部的旋转轴线与所述第七转动部的旋转轴线之间的距离中除所述第二待确定参数以外的参数。

[0020] 可选的，所述第二弹性元件和所述第二转动机构的配置满足如下公式：

$$k2\times a2\times b2\geq G2\times L2'+G3\times L3'+G4\times L4'$$

[0021] k2 表示所述第二弹性元件的弹性系数，a2 表示所述第八转动部的旋转轴线到所述第一旋转轴线的距离，b2 表示所述第七转动部的旋转轴线到所述第六转动部的旋转轴线的距离，G2 表示所述第二连杆的重力，G3 表示所述第三连杆的重力，G4 表示所述第四连杆的重力，L2’表示所述第二连杆的重心到所述第一旋转轴线的距离，L3’表示所述第二连杆和所述第三连杆之间的第二旋转轴线到所述第一旋转轴线的距离，L4’表示第四连杆的重心到所述第四连杆和所述第一连杆之间的第四旋转轴线的距离。

[0022] 可选的，所述第二弹性元件包括变刚度弹簧以实现弹性系数可调、所述第八转动部的旋转轴线到所述第一旋转轴线的距离、及/或所述第七转动部的旋转轴线到所述第五转动部的旋转轴线的距离可调。

[0023] 可选的，所述重力补偿机构包括第三导向部和第三安装部，所述第三

导向部设置于所述第二连杆，所述第三安装部可移动地设置于所述第三导向部，所述第八转动部可转动地装设于所述第三安装部；及/或所述重力补偿机构包括第四导向部和第四安装部，所述第四导向部设置于所述底座连杆，所述第五转动部固定装设于所述第四安装部。

[0024] 可选的，所述第三导向部及/或所述第四导向部包括滑槽或滑轨；所述第五转动部、所述第七转动部、及所述第八转动部包括滑轮。

[0025] 可选的，所述重力补偿机构还包括第三驱动机构，所述第三驱动机构耦接所述第三导向部或所述第三安装部，以驱动所述第一安装部在所述第一导向部移动而带动所述第八转动部相对于所述第二连杆移动；及/或所述重力补偿机构还包括第四驱动机构，所述第四驱动机构耦接所述第四导向部或所述第四安装部，以驱动所述第四安装部在所述第四导向部移动而带动所述第五转动部相对于所述底座连杆移动。

[0026] 可选的，所述重力补偿机构还包括第一电机，所述第一电机耦接所述第一连杆，以主动补偿所述平行四边形机构整体围绕所述第一旋转轴线转动的自由度上的重力矩；及/或所述重力补偿机构还包括第二电机，所述第二电机耦接所述第二连杆，以主动补偿所述平行四边形机构中相邻连杆之间相对转动的自由度上的重力矩。

[0027] 可选的，所述第一转动部、所述第二转动部、所述第三转动部及所述第四转动部的直径相同；及/或所述第五转动部、所述第七转动部及所述第八转动部的直径相同。

[0028] 可选的，所述平行四边形机构中相邻两个连杆之间转动的角度范围 $\theta \in (0°, 180°)$。

[0029] 可选的，所述平行四边形机构包括连接于所述平行四边形机构远端的负载，所述重力补偿机构还用于产生平衡包括所述负载的平行四边形机构的重力矩的补偿力矩。

[0030] 为解决上述技术问题，本申请还提供一种主操作台，所述主操作台具有用以产生包括位姿指令的控制命令的操作部，所述操作部包括如上述任一

项实施例所述的机械臂。

[0031] 为解决上述技术问题，本申请还提供一种手术机器人，所述手术机器人包括从操作设备和如上述任一项实施例所述的主操作台，所述从操作设备根据所述主操作台发送的控制命令执行相应操作。。

[0032] 为解决上述技术问题，本申请还提供一种机械臂的安装方法，包括：提供底座连杆；提供具备依次转动连接的第一连杆、第二连杆、第三连杆及第四连杆的平行四边形机构，将所述平行四边形机构转动连接于所述底座连杆，所述平行四边形机构围绕所述底座连杆转动的轴线与所述第一连杆和所述第二连杆之间的第一旋转轴线重合；提供转动机构和弹性机构，将所述转动机构耦接于所述第一连杆和所述第二连杆之中的至少一个、及所述底座连杆，并将所述弹性机构耦接所述底座连杆和所述转动机构，以在所述平行四边形机构关联的至少一个自由度产生平衡所述平行四边形机构的重力矩的补偿力矩。

[0033] 可选的，所述转动机构包括第一转动机构，所述弹性机构包括第一弹性机构，所述安装方法包括：将所述第一转动机构耦接于所述第一连杆和所述第二连杆之中的一个、及所述底座连杆，并将所述第一弹性机构耦接所述底座连杆和所述第一转动机构，以在所述平行四边形机构关联的一个自由度产生平衡所述平行四边形机构及其连接的负载的重力矩的补偿力矩。

[0034] 可选的，所述转动机构包括第二转动机构，所述弹性机构包括第二弹性机构，所述安装方法包括：将所述第二转动机构耦接于所述第一连杆和所述第二连杆之中的另一个、及所述底座连杆，并将所述第二弹性机构耦接所述底座连杆和所述第二转动机构，以在所述平行四边形机构关联的另一个自由度产生平衡所述平行四边形机构及其连接的负载的重力矩的补偿力矩。

[0035] 本申请的机械臂、主操作台、手术机器人，具有如下有益效果：

[0036] 通过将重力补偿机构中转动机构耦接于平行四边形机构中第一连杆和第二连杆之中的至少一个、及底座连杆，并将弹性机构耦接底座连杆和转动机构，可实现在平行四边形机构对应的至少一个自由度产生平衡所述平行四

边形机构的重力矩的补偿力矩，进而能够在不增加机械臂惯性的基础上，在被重力补偿的自由度上实现较好的重力平衡，进而具有极佳的操作体验。

附图说明

[0037] 图 1 为本申请机械臂一实施例的结构示意图；

[0038] 图 2 为本申请机械臂又一实施例的结构示意图；

[0039] 图 3 为本申请机械臂又一实施例的结构示意图；

[0040] 图 4 为图 3 所示机械臂中 P 处结构的局部放大示意图；

[0041] 图 5 为如图 1 所示的机械臂的一运动状态示意图；

[0042] 图 6 为如图 1 所示的机械臂的另一运动状态示意图；

[0043] 图 7 为如图 2 所示的机械臂的一运动状态示意图；

[0044] 图 8 为如图 2 所示的机械臂的另一运动状态示意图；

[0045] 图 9 为对如图 1 所示的机械臂中平行四边形机构的受重力情况进行分析的原理示意图；

[0046] 图 10 为本申请重力补偿机构对平行四边形机构进行重力补偿的原理示意图；

[0047] 图 11 为图 10 所示结构的受力分析原理示意图；

[0048] 图 12 为本申请机械臂又一实施例的结构示意图；

[0049] 图 13 为本申请机械臂又一实施例的结构示意图；

[0050] 图 14 为本申请机械臂又一实施例的局部结构示意图；

[0051] 图 15 为本申请主操作台一实施例的结构示意图；

[0052] 图 16 为如图 15 中操作部的放大结构示意图。

具体实施方式

[0053] 为了便于理解本申请，下面将参照相关附图对本申请进行更全面的描述。附图中给出了本申请的较佳实施方式。但是，本申请可以以许多不同的形式来实现，并不限于本文所描述的实施方式。相反地，提供这些实施方式

的目的是使对本申请的公开内容理解的更加透彻全面。

[0054] 需要说明的是，当元件被称为“设置于”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。当一个元件被认为是“耦接”另一个元件，它可以是直接耦合到另一个元件或者可能同时存在居中元件。本文所使用的术语“远端”、“近端”作为方位词，该方位词为介入医疗器械领域惯用术语，其中“远端”表示手术过程中远离操作者的一端，“近端”表示手术过程中靠近操作者的一端。本文所使用的术语“多个”包括两个及以上。

[0055] 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申请的技术领域的技术人员通常理解的含义相同。本文中在本申请的说明书中所使用的术语只是为了描述具体的实施方式的目的，不是旨在于限制本申请。本文所使用的术语“及/或”包括一个或多个相关的所列项目的任意的和所有的组合。

[0056] 如图 1 所示，本申请的机械臂 1 包括底座连杆 2、平行四边形机构 3 及重力补偿机构 4。平行四边形机构 3 与底座连杆 2 耦接，重力补偿机构 4 耦接于底座连杆 2 和平行四边形机构 3 之间，该重力补偿机构 4 产生平衡平行四边形机构 3 的重力矩的重力矩的补偿力矩。一些实施例中，平行四边形机构 3 还可以包括连接于该平行四边形机构 3 远端的负载 5。其中，负载 5 包括连接于平行四边形机构 3 远端的任何机构，例如附加的其它一个或多个连杆。

[0057] 一些实施例中，平行四边形机构 3 可转动地连接于底座连杆 2，通过平行四边形机构 3 与底座连杆 2 之间的转动连接可以为机械臂 1 提供一个自由度。平行四边形机构 3 包括依次转动连接的第一连杆 31、第二连杆 32、第三连杆 33 及第四连杆 34，该平行四边形机构 3 中相邻连杆之间的相互运动可以为机械臂 1 提供一个自由度。进而，基于平行四边形机构 3 关联的这两个自由度，使得机械臂 1 至少具有两个自由度。其中，重力补偿机构 4 包括

转动机构和弹性机构，转动机构分布设置于第一连杆 31 和第二连杆 32 之中的至少一个、及底座连杆 2，弹性机构耦接底座连杆 2 和转动机构，以在平行四边形机构 3 关联的至少一个自由度产生平衡平行四边形机构 3 的重力矩的补偿力矩。

[0058] 在平行四边形机构 3 中，第一连杆 31 与第二连杆 32 之间具有第一旋转轴线 35，第二连杆 32 与第三连杆 33 之间具有第二旋转轴线 36，第三连杆 33 与第四连杆 34 之间具有第三旋转轴线 37，第四连杆 34 与第一连杆 31 之间具有第四旋转轴线 38，相邻两个连杆可围绕该两个连杆之间的旋转轴线转动。

[0059] 平行四边形机构 3 整体围绕底座连杆 2 转动的轴线与第一旋转轴线 35 重合设置，即平行四边形机构 3 整体可围绕第一旋转轴线 35 转动。

[0060] 一些实施例中，底座连杆 2 可以被固定设置，例如，可以将底座连杆 2 固定于某种设备的基座；又例如，可以将底座连杆 2 固定于墙壁、天花板等。

[0061] 一些实施例中，底座连杆 2 也可以被活动设置，示例性的，底座连杆 2 通过耦接于一个或多个近端连杆的远端，可以具有活动性能。例如，底座连杆 2 允许被配置成可在重力方向平移；又例如，底座连杆 2 允许被配置成可在垂直于重力方向的方向平移；又例如，底座连杆 2 允许被配置成可围绕其平行于重力方向的轴线旋转。

[0062] 一些实施例中，重力补偿机构 4 包括第一转动机构 41 和第一弹性机构 42。该第一转动机构 41 包括多个转动部，这些转动部分布设置于底座连杆 2 和第一连杆 31；或者，这些转动部分布设置于底座连杆 2 和第二连杆 32。为便于理解，第一转动机构 41 包括第一部分的转动部和第二部分的转动部。示例性的，第一部分的转动部设置于底座连杆 2 上，第二部分的转动部设置于第一连杆 31 上；或者，第一部分的转动部设置于底座连杆 2 上，第二部分的转动部设置于第二连杆 32 上。其中，第一弹性机构 42 耦接于底座连杆 2 和第一转动机构 41 之间，以在平行四边形机构 3 对应的一个自由度产生平衡平

行四边形机构 3 的重力矩的补偿力矩，使得用户能够在该自由度上轻便的对机械臂 1 进行拖动操作。

[0063] 一些实施例中，如图 2 所示，重力补偿机构 4 包括第二转动机构 43 和第二弹性机构 44。第二转动机构 43 包括多个转动部，这些转动部分布设置于底座连杆 2 和第二连杆 32；或者，这些转动部分布设置于底座连杆 2 和第一连杆 31。为便于理解，第二转动机构 43 包括第一部分的转动部和第二部分的转动部。示例性的，第一部分的转动部设置于底座连杆 2 上，第二部分的转动部设置于第二连杆 32 上；或者，第一部分的转动部设置于底座连杆 2 上，第二部分的转动部设置于第一连杆 31 上。其中，第二弹性机构 44 耦接于底座连杆 2 和第二转动机构 43 之间，以在平行四边形机构 3 对应的另一个自由度产生平衡平行四边形机构 3 的重力矩的补偿力矩，使得用户能够在该自由度上轻便的对机械臂 1 进行拖动操作。

[0064] 一些实施例中，如图 3 所示，重力补偿机构 4 可以同时包括第一转动机构 41、第一弹性机构 42、第二转动机构 43 及第二弹性机构 44。例如，当第一转动机构 41 中第一部分的转动部设置于底座连杆 2 上、第二部分的转动部设置于第一连杆 31 上时，通常，第二转动机构 43 中第一部分的转动部设置于底座连杆 2 上、第二部分的转动部设置于第二连杆 32 上。又例如，当第一转动机构 41 中第一部分的转动部设置于底座连杆 2 上、第二部分的转动部设置于第二连杆 32 上时，通常，第二转动机构 43 中第一部分的转动部设置于底座连杆 2 上、第二部分的转动部设置于第一连杆 31 上。进而，使得该重力补偿机构 4 可以在平行四边形机构 3 对应的两个自由度上分别对相应的重力矩提供补偿力矩，使得用户能够在该两个自由度上均可以轻便的对机械臂 1 进行拖动操作。

[0065] 上述实施例中，第一转动机构 41 及/或第二转动机构 43 中的转动部包括滑轮及/或转轴，例如，各转动部均可被配置成滑轮。

[0066] 一些实施例中，继续参阅图 3，关联于平行四边形机构 3 的自由度包括第一自由度和第二自由度。示例性的，第一自由度包括平行四边形机构 3

整体围绕第一旋转轴线 35 转动的自由度，第二自由度包括平行四边形机构 3 中相邻两个连杆之间转动的自由度（例如，第二连杆 32 与第一连杆 31 之间转动的自由度）。当重力补偿机构 4 包括上述的第一转动机构 41、第一弹性机构 42、及第二转动机构 43 和第二弹性机构 44 时，可以在第一自由度、第二自由度分别对相应的重力矩提供补偿力矩。

[0067] 一些实施例中，继续参阅图 1，并请结合图 4 参阅，第一转动机构 41 包括第一转动部 411、第二转动部 412、第三转动部 413 及第四转动部 414。第一转动部 411 固定连接于底座连杆 2，第二转动部 412 与第一转动部 411 同轴设置且第二转动部 412 相对第一转动部 411 可转动，第三转动部 413 和第四转动部 414 分别转动连接于第一连杆 31，第三转动部 413 的旋转轴线重合第一旋转轴线 35，且第三转动部 413 的转动与平行四边形机构 3 整体围绕第一旋转轴线 35 的转动相互独立，第二转动部 412 和第四转动部 414 的旋转轴线分别与第一旋转轴线 35 平行，示例性的，可以将第二转动部 412、第三转动部 413 及第四转动部 414 设置于底座连杆 2 及平行四边形机构 3 的同一侧壁以便于布设第一弹性机构 42。

[0068] 进一步地，第一弹性机构 42 包括第一弹性元件 421 和第一线缆 422，一些实施例中，可以这样设置第一弹性元件 421 和第一线缆 422，具体的，第一弹性元件 421 的第一端连接底座连杆 2，第一线缆 422 的第一端固定连接第一转动部 411，第一线缆 422 的第二端绕设第二转动部 412、并经过第三转动部 413 导向、再绕设第四转动部 414 后，连接第一弹性元件 421 的第二端。在其他实施例中，还可以这样设置第一弹性元件 421 和第一线缆 422，具体的，第一弹性元件 421 的第一端连接底座连杆 2，第一线缆 422 的第一端固定连接第一转动部 411，第一线缆 422 的第二端绕设第四转动部 414、并经过第三转动部 413 导向、再绕设第二转动部 412 后，连接第一弹性元件 421 的第二端。或者，第一弹性元件 421 的第一端连接底座连杆 2，第一线缆 422 的第一端固定连接第一转动部 411，第一线缆 422 的第二端绕设第四转动部 414、并经过第三转动部 413 导向、再绕设第二转动部 412 后，连接第一弹性

元件 421 的第二端。其中，第一线缆 422 经过第三转动部 413 导向包括第一线缆 422 与第三转动部 413 相切设置以不影响平行四边形机构 3 在第一自由度上的换向。在如图 1 所示的示意图中，平行四边形机构 3 中立时，即平行四边形机构 3 整体相对于底座连杆 2 不向左和不向右旋转时，第一线缆 422 分别相切于第三转动部 413 的左右两侧。在如图 5 所示的示意图中，平行四边形机构 3 整体相对于底座连杆 2 向左侧旋转，第一线缆 422 相切于第三转动部 413 的右侧。在如图 6 所示的示意图中，平行四边形机构 3 整体相对于底座连杆 2 向右侧旋转，第一线缆 422 相切于第三转动部 413 的左侧。该结构设计，可以借助第一弹性元件 421 在第一自由度对相应的重力矩提供一定程度的补偿力矩。

[0069] 在一些实施例中，第一弹性元件 421 的弹性系数、第三转动部 413 的旋转轴线与第二转动部 412 的旋转轴线之间的距离（即第三转动部 413 的旋转轴线到第一旋转轴线 35 之间的距离）、及第四转动部 414 的旋转轴线到第一旋转轴线 35 之间的距离中包括至少一个第一待确定参数，第一待确定参数基于第一条件和第二条件而确定，第一条件包括第一连杆 31 的重力、第三连杆 33 的重力、第四连杆 34 的重力、第一连杆 31 的重心到第一旋转轴线 35 的距离、第三连杆 33 的重心到第二连杆 32 和第三连杆 33 之间的第二旋转轴线 36 的距离、及第四连杆 34 和第一连杆 31 之间的第四旋转轴线 38 到第一旋转轴线 35 的距离确定，第二条件包括第一弹性元件 421 的弹性系数、第三转动部 413 的旋转轴线与第二转动部 412 的旋转轴线之间的距离、及第四转动部 414 的旋转轴线到第一旋转轴线 35 之间的距离中除第一待确定参数以外的参数。

[0070] 一些实施例中，继续参阅图 2，并请结合图 4 参阅，第二转动机构 43 包括第五转动部 431、第六转动部、第七转动部 433 及第八转动部 434，示例性的，第五转动部 431 包括第五滑轮、第六转动部包括第六滑轮、第七转动部 433 包括第七滑轮及第八转动部 434 包括第八滑轮。第五转动部 431 固定连接于底座连杆 2，第六转动部与第五转动部 431 同轴设置且第六转动部相

对第五转动部 431 可转动，第七转动部 433 和第八转动部 434 分别转动连接于第二连杆 32，第七转动部 433 的旋转轴线重合第一旋转轴线 35，且第七转动部 433 的转动与平行四边形机构 3 整体围绕第一旋转轴线 35 的转动相互独立，第六转动部和第八转动部 434 的旋转轴线分别与第一旋转轴线 35 平行，其中，可以将第六转动部、第七转动部 433 及第八转动部 434 亦设置于底座连杆 2 及平行四边形机构 3 的同一侧壁，其中，当重力补偿机构 4 包括第一转动机构 41 和第二转动机构 43 时，第一转动机构 41 和第二转动机构 43 中的转动部通常可以被配置于平行四边形机构 3 的不同侧壁以防止出现布设弹性元件和线缆时相互干扰而影响的补偿力矩不准确的现象。

[0071] 进一步地，第二弹性机构 44 包括第二弹性元件 441 和第二线缆 442，一些实施例中，可以这样设置第二弹性元件 441 和第二线缆 442，具体的，第二弹性元件 441 的第一端连接底座连杆 2，第二线缆 442 的第一端固定连接第五转动部 431，第一线缆 422 的第二端绕设第六转动部、并经过第七转动部 433 导向、再绕设第八转动部 434 后，连接第二弹性元件 441 的第二端。在其他实施例中，还可以这样设置第二弹性元件 441 和第二线缆 442，具体的，第二弹性元件 441 的第一端连接底座连杆 2，第二线缆 442 的第一端固定连接第五转动部 431，第一线缆 422 的第二端绕设第八转动部 434、并经过第七转动部 433 导向、再绕设第六转动部后，连接第二弹性元件 441 的第二端。或者，第二弹性元件 441 的第一端连接底座连杆 2，第二线缆 442 的第一端固定连接第五转动部 431，第一线缆 422 的第二端绕设第八转动部 434、并经过第七转动部 433 导向、再绕设第六转动部后，连接第二弹性元件 441 的第二端。其中，第二线缆 442 经过第七转动部 433 导向包括第二线缆 442 与第七转动部 433 相切设置、及第二线缆 442 绕设第七转动部 433 设置。在如图 2、图 7 及图 8 所示的示意图中，无论平行四边形机构 3 中例如第二连杆 32 相对于第一连杆 31 是保持中立，还是向上或向下旋转，第二线缆 442 均相切于第七转动部 433 的右侧。该结构设计，可以借助第二弹性元件 441 在第二自由度对相应的重力矩提供一定程度的补偿力矩。

[0072] 在一些实施例中，本申请所提及与第五转动部同轴设置且可相对于第五转动部转动的第六转动部可以被省略，即与底座连杆 2 耦接的转动部保留第五转动部 431 也是可行的。在仅保留第五转动部 431 时，可以这样设置第二弹性元件 441 和第二线缆 442，具体的，第二弹性元件 441 的第一端连接底座连杆 2，第二线缆 442 的第一端固定连接第五转动部 431，第一线缆 422 的第二端绕设第八转动部 434、并经过第七转动部 433 导向后，连接第二弹性元件 441 的第二端。或者，第二弹性元件 441 的第一端连接底座连杆 2，第二线缆 442 的第一端固定连接第五转动部 431，第一线缆 422 的第二端绕设第八转动部 434、并经过第七转动部 433 导向后，连接第二弹性元件 441 的第二端。

[0073] 本文所述的第一线缆 422 和第二线缆 442 包括刚性线缆，刚性线缆包括沿着刚性线缆的轴向不可拉伸的线缆。

[0074] 在一些实施例中，第二弹性元件 441 的弹性系数、第七转动部 433 的旋转轴线与第五转动部 431 的旋转轴线之间的距离（即第七转动部 433 的旋转轴线到第一旋转轴线 35 之间的距离）、及第八转动部 434 的旋转轴线与第七转动部 433 的旋转轴线之间的距离中包括至少一个第二待确定参数，第二待确定参数基于第三条件和第四条件而确定，第三条件包括第二连杆 32 的重力、第三连杆 33 的重力、第四连杆 34 的重力、第二连杆 32 的重心到第一旋转轴线 35 的距离、第二连杆 32 和第三连杆 33 之间的第二旋转轴线 36 到第一旋转轴线 35 的距离、及第四连杆 34 的重心到第四连杆 34 和第一连杆 31 之间的第四旋转轴线 38 的距离确定，第四条件包括第二弹性元件 441 的弹性系数、第七转动部 433 的旋转轴线与第五转动部 431 旋转轴线之间的距离、及第八转动部 434 的旋转轴线与第七转动部 433 的旋转轴线之间的距离中除第二待确定参数以外的参数。

[0075] 在所述的第三转动部 413 和第七转动部 433 分别被提供给平行四边形机构 3 的不同自由度以进行重力补偿时，该第三转动部 413 的转动和第七转动部 433 的转动也相互独立。

[0076] 本文所描述的“重合”包括轴线与轴线之间完全重合和基本重合，基本重合包括允许轴线与轴线之间适当的偏移。本文所描述的“平行”包括轴线与轴线之间完全平行和基本平行，基本平行包括允许轴线与轴线之间适当的偏移。

[0077] 现在对重力补偿机构 4 进行重力补偿的原理进行详细说明。

[0078] 如图 9 所示，在简化的平行四边形机构 3 中，令平行四边形机构 3 的四个顶点（即杆的铰接点）分别为 A_0、B、C、D，且令顶点 A_0 为平行四边形机构 3 作为整体相对于底座连杆 2 进行转动的顶点；令 A_0B 之间的杆为第一连杆 31、A_0D 之间的杆为第二连杆 32、CD 之间的杆为第三连杆 33、BC 之间的杆为第四连杆 34；令第一连杆 31 的重心（位置）为 M_1、令第二连杆 32 的重心（位置）为 M_2、令第三连杆 33 的重心（位置）为 M_3、第四连杆 34 的重心（位置）为 M_4；并且，令第一连杆 31 的重力为 G_1、令第二连杆 32 的重力为 G_2、令第三连杆 33 的重力为 G_3、第四连杆 34 的重力为 G_4。θ_2 包括平行四边形机构 3 整体绕底座连杆 2 转动的角度，即 θ_2 关联于所述的第一自由度；θ_3 包括平行四边形机构 3 中相邻两个连杆之间转动的角度，即 θ_3 关联于所述的第二自由度，其中，由于第一自由度和第二自由度相对独立，在图中，在单独调节第二自由度时，第一连杆 31 位置保持不变，而第二连杆 32、第三连杆 33 及第四连杆 34 位置相应改变。进一步地，将该平行四边形机构 3 的整体作为分析对象，对顶点 A_0 的受力情况求矩列平衡方程，该矩列平衡方程如下公式（1）：

$$\sum M_{A0}=G_1*M_1A_0*\sin\theta_2+G_2*M_2A_0*\sin\theta_3+ G_3*(DM_3*\sin\theta_2+DA_0*\sin\theta_3)+G_4*(BA_0*\sin\theta_2+BM_4*\sin\theta_3)$$

[0079] 简化上述公式（1）可得如下公式（2）：

$$\sum M_{A0}=(G_1*M_1A_0+G_3*DM_3+G_4*BA_0)*\sin\theta_2+ (G_2*M_2A_0+G_3*DA_0+G_4*BM_4)*\sin\theta_3$$

[0080] 其中，令重心 M_1 到顶点 A_0 之间的距离 M_1A_0=L1，令顶点 D 到重心 M_3 之间的距离 DM_3=L3，令顶点 B 到顶点 A_0 之间的距离 BA_0=L4，令重心 M_2 到

顶点A_0之间的距离M_2A_0= L2’，令顶点 D 到顶点A_0之间的距离DA_0= L3’，令顶点 B 到顶点M_4之间的距离BM_4= L4’。进而，上述公式（2）可以简化成公式（3）：

[0081]

$$\sum M_{A0}=(G_1*L1+G_3*L3+G_4*L4)*\sin\theta_2+(G_2*L2'+G_3*L3'+G_4*L4')*\sin\theta_3$$

其中，由于$(G_1*L1+G_3*L3+G_4*L4)$、$(G_2*L2'+G_3*L3'+G_4*L4')$均为已知量，因而平行四边形机构 3 对顶点 A0 的重力矩是关于θ_2、θ_3变量的正弦函数。

[0082] 基于上述公式（3），本申请的发明人注意到，变量θ_2是关联于平行四边形机构 3 在第一自由度（即平行四边形机构 3 整体相对于底座连杆 2 转动的自由度）的重力矩的变化，变量θ_3是关联于平行四边形机构 3 在第二自由度（即平行四边形机构 3 中内部连杆之间的相对转动的自由度）的重力矩的变化。因而，本申请可尝试通过合理的对一个或多个转动部进行布设来对上述第一自由度及/或第二自由度进行重力补偿以在被补偿的自由度上实现对机械臂 1 的较为轻便的操作。

[0083] 请结合图 10 和图 11 参阅，三个转动部分别设置于 O 点、O1 点及 O2 点，O 点和 O1 点位置固定，O 点和 O2 点之间的杆可围绕 O 点旋转变量 θ，进而 O2 点位置可变。假设弹性机构的第一端固定设置，线缆的第一端固定于 O1 点处的转动部，线缆的第二端绕设 O2 点处的转动部之后，然后再经过 O 点处的转动部导向，最后与弹性机构的第二端连接，该弹性机构的第一端被相对固定的设置。其中，假设 O3 点为该杆（即 O 点和 O2 点之间）的重心（位置），令 O 点和 O1 点之间的距离为 b，令 O 点和 O2 点之间的距离为 a，令 O 点和 O3 点之间的距离为 l，由于 O1 点和 O2 点之间线缆的长度为变量且与弹性机构的变化量相同，进而令 O1 点和 O2 点之间线缆的当前长度为 x、初始长度为 x_0，并令该杆的质量为 m；同时，可令 O 点到 O1 点和 O2 点之间的线缆的距离为 q，令 O1 点到该杆的距离为 z。

[0084] 值得注意的是，在图 10 及/或图 11 中，所谓的 O 点和 O2 点之间的杆

可以代表其它任何机构，该杆例如可以表示包括本申请所述的平行四边形机构 3。此外，变量 θ 可以代表任何自由度对应的变量角度，例如该变量 θ 可以表示包括本申请所述的平行四边形机构 3 对应的第一自由度（即关联于变量θ_2的自由度）及/或第二自由度（即关联于变量θ_3的自由度）。

[0085] 进一步地，假设存在刚度为 k 的弹性元件可以使 O 点和 O2 点之间的杆在任意位置都平衡，故将该杆作为研究对象，对 O 点求矩列平衡方程如公式（4）：

$$\sum \mathrm{M}_{\mathrm{o}}=mgl\sin\theta-k(x-x_0)q=0$$

[0086] 假设$x_0=0$，将$x_0=0$代入公式（4），可得如下公式（5）：

$$mgl\sin\theta=kxq$$

[0087] 由三角形面积相等公式（6）：

$$qx=az$$

[0088] 且由正弦函数可知公式（7）：

$$z=b\sin\theta$$

[0089] 将公式（6）和公式（7）代入公式（5），可得公式（8）：

$$mgl\sin\theta=kab\sin\theta$$

[0090] 基于上述公式（8），可知对于重力矩的补偿与变量 θ 无关，进而可明确本申请可以通过合理的对一个或多个转动部进行布设来对上述第一自由度及/或第二自由度进行重力补偿。

[0091] 一些实施例中，本申请中对平行四边形机构 3 中关联于第一自由度（即关联于变量θ_2的自由度）进行重力补偿时，可以根据由公式（3）和公式（8）联立得到的公式（9）对第一转动机构 41 及/或第一弹性机构 42 进行配置：

$$(\mathrm{G}_2*\mathrm{L1}+\mathrm{G}_3*\mathrm{L3}+\mathrm{G}_4*\mathrm{L4})*\sin\theta_2=\mathrm{k1}*a1*\mathrm{b1}*\sin\theta_2$$

[0092] 其中，k1 表示第一弹性元件 421 的弹性系数，a1 表示第四转动部 414 的旋转轴线与第三转动部 413 的旋转轴线之间的距离，b1 表示第三转动部 413 的旋转轴线到第二转动部 412 的旋转轴线的距离。经过这样的配置，在第一自由度上，可以在任意位置（即角度）实现重力平衡。

[0093] 示例性的，假设 k1 和 a1 已知，b1 待确定，可根据上述公式（9）确定 a1 和 b1。

[0094] 示例性的，假设 k1 已知，a1 和 b1 待确定，可根据上述公式（9）确定 a1 和 b1。例如，根据上述公式（9）并结合例如最小二乘法或遍历法等可以确定 a1 和 b1。

[0095] 示例性的，假设 k1、a1 及 b1 待确定，可根据上述公式（9）确定 k1、a1 及 b1。例如，可令 a1 与 b1 或 k1 之间满足特定关系如 a1=b1，再根据上述公式（9）并结合例如最小二乘法或遍历法等可以确定 k1、a1 及 b1。一些实施例中，本申请中对平行四边形机构 3 中关联于第二自由度（即关联于变量θ_3的自由度）进行重力补偿时，可以根据由公式（3）和公式（8）联立得到的公式（10）对第二转动机构 43 及/或第二弹性机构 44 进行配置：

$$(G_2 * L2' + G_3 * L3' + G_4 * L4') * \sin\theta_3 = k2 * a2 * b2 * \sin\theta_3$$

[0096] 其中，k2 表示第二弹性元件 441 的弹性系数，a2 表示第八转动部 434 的旋转轴线到第一旋转轴线 35 的距离，b2 表示第七转动部 433 的旋转轴线到第五转动部 431 的旋转轴线的距离。经过这样的配置，在第二自由度上，可以在任意位置（即角度）实现重力平衡。

[0097] 示例性的，假设 k2 和 a2 已知，b2 待确定，可根据上述公式（9）确定 a2 和 b2。

[0098] 示例性的，假设 k2 已知，a2 和 b2 待确定，可根据上述公式（9）确定 a2 和 b2。例如，根据上述公式（9）并结合例如最小二乘法或遍历法等可以确定 a2 和 b2。

[0099] 示例性的，假设 k2、a2 及 b2 待确定，可根据上述公式（9）确定 k2、a2 及 b2。例如，可令 a2 与 b2 或 k2 之间满足特定关系如 a2=b2，再根据上述公式（9）并结合例如最小二乘法或遍历法等可以确定 k2、a2 及 b2。一些实施例中，本申请中对平行四边形机构 3 中关联于同时关联于第一自由度（即关联于变量θ_2的自由度）和第二自由度（即关联于变量θ_3的自由度）进行重力补偿时，可以根据由公式（3）和公式（8）联立得到的公式（11）对第一

转动机构 41、第一弹性机构 42 进行配置、第二转动机构 43 及/或第二弹性机构 44 进行配置：

$$(G_1*L1+G_3*L3+G_4*L4)*\sin\theta_2+(G_2*L2'+G_3*L3'+G_4*L4')*\sin\theta_3 = k1*a1*b1*\sin\theta_2+k2*a2*b2*\sin\theta_3$$

[0100] 经过这样的配置，可以同时在第一自由度和第二自由度上，在任意位置（即角度）均可实现重力平衡。可有效防止采用主动方式进行重力补偿的机械臂 1 掉电后不会在第一自由度和第二自由度上坠落。

[0101] 一些实施例中，本申请也可以使得重力补偿机构 4 在上述的第一自由度上产生略微小于平行四边形机构 3 的重力矩，以在没有外力的作用下，可以保证第一连杆 31 始终与重力方向平行。如可根据如下公式（12）对第一转动机构 41 及/或第一弹性机构 42 进行配置：

$$(G_2*L1+G_3*L3+G_4*L4)*\sin\theta_2>k1*a1*b1*\sin\theta_2$$

[0102] 一些实施例中，本申请也可以使得重力补偿机构 4 在上述的第二自由度上产生略微大于平行四边形机构 3 的重力矩，以在没有外力的作用下，可以保证第二连杆 32 向上收紧，整个平行四边形机构成收拢状态。如可根据如下公式（13）对第二转动机构 43 及/或第二弹性机构 44 进行配置：

$$(G_2*L2'+G_3*L3'+G_4*L4')*\sin\theta_3<k2*a2*b2*\sin\theta_3$$

[0103] 一些实施例中，重力补偿机构 4 还可以包括第一电机，第一电机耦接第一连杆 31，第一电机例如可以被设置在第一连杆 31 内，第一电机可以被控制器控制以驱动平行四边形机构 3 整体围绕第一旋转轴线 35 转动，同时，该第一电机还可以用于被控制器控制进而产生补偿在平行四边形机构 3 整体围绕第一旋转轴线 35 转动的自由度上的重力矩的补偿力矩。在平行四边形机构 3 整体围绕第一旋转轴线 35 转动的自由度上，第一电机可以单独用于主动补偿该自由度上的重力矩；第一电机也可以结合第一弹性机构 42 和第一转动机构 41 共同使用，以同时进行主动补偿和被动补偿。

[0104] 一些实施例中，重力补偿机构 4 还可以包括第二电机，第二电机耦接第二连杆 32，第二电机例如可以被设置在第二连杆 32 内，第二电机可以被

控制器控制以驱动平行四边形机构 3 中相邻连杆之间相对转动，同时，该第二电机还可以用于被控制器控制进而产生补偿在平行四边形机构 3 中相邻连杆之间相对转动的自由度上的重力矩的补偿力矩。在平行四边形机构 3 中相邻连杆之间相对转动的自由度上，第二电机可以单独用于主动补偿该自由度上的重力矩；第二电机也可以结合第二弹性机构 44 和第二转动机构 43 共同使用，以同时进行主动补偿和被动补偿。

[0105] 一些实施例中，根据例如上述公式（10）配置的第一弹性机构 42 及/或第一转动机构 41 通常可以是永久性配置并被使用的。然而，在其它一些实施例中，根据例如上述公式（10）配置的第一弹性机构 42 及/或第一转动机构 41 也可以是较为灵活的配置方式以便于调节，尤其是关联于第一转动机构 41 的配置可以被更加灵活的配置以适用于不同场景。示例性的，以第一转动机构 41 为例，可以配置使得第四转动部 414 的旋转轴线到第三转动部 413 的旋转轴线之间的距离 a1 易于被调节，及/或，可以配置使得第三转动部 413 的旋转轴线到第二转动部 412 的旋转轴线的距离 b1 易于被调节。

[0106] 例如，第四转动部 414 可以被配置成在第一连杆 31 上的位置可调以实现距离 a1 可调。示例性的，如图 12 所示，重力补偿机构 4 还包括第一导向部 461 和第一安装部，第一导向部 461 设置于第一连杆 31，第一安装部可移动地设置于第一导向部 461，第四转动部 414 可转动地装设于第一安装部，故第四转动部 414 通过第一安装部在第一导向部 461 上的移动可以调节距离 a1。这样的移动可以手动或自动实现。

[0107] 进一步地，第四转动部 414 的移动以可通过自动实现为例，重力补偿机构 4 还可以包括第一驱动机构，第一驱动机构耦接第一导向部 461 或第一安装部，以驱动第一安装部在第一导向部 461 移动而带动第四转动部 414 相对于第一连杆 31 移动。

[0108] 又例如，继续参阅图 12，同轴设置的第一转动部 411 和第二转动部 412 可以被配置成在底座连杆 2 上的位置可调以实现距离 b1 可调。示例性的，重力补偿机构 4 还包括第二导向部 463 和第二安装部，第二导向部 463 设置于

底座连杆 2，第二安装部可移动地设置于第二导向部 463，其中，第一转动部 411 固定（即不可转动）地装设于第二安装部，第二转动部 412 可转动地装设于第二安装部，故第一转动部 411 及第二转动部 412 通过第二安装部在第一导向部 461 上的同步移动可以调节距离 b1。这样的移动可以手动或自动实现。

[0109] 进一步地，第一转动部 411 和第二转动部 412 的移动以可通过自动实现为例，重力补偿机构 4 还可以包括第二驱动机构，第二驱动机构耦接第二导向部 463 或第二安装部，以驱动第二安装部在第二导向部 463 移动而带动第一转动部 411 和第二转动部 412 相对于底座连杆 2 移动。

[0110] 上述实施例中，例如在通过手动方式相应转动部位置调节的实施例中，第一导向部 461 及/或第二导向部 463 包括滑轨及/或滑槽，示例性的，滑槽或滑轨可以沿着相应的第一连杆 31 及/或底座连杆 2 的长度方向设置。

[0111] 在考虑第一连杆 31 的重量和重心时，可以考虑第一导向部 461 对第一连杆 31 的影响，尤其是，当第一导向部 461 对第一连杆 31 的重量和重心存在较大影响时，由于第一导向部 461 与第一连杆 31 之间相对固定，而只调节重量相对于各连杆几乎可忽略不计的第四转动部 414 时，不会对所期望实现的被动重力补偿产生不利影响。

[0112] 当然，也可以单独或结合考虑第一弹性机构 42 的弹性系数 k1 可被配置成可调。例如，第一弹性机构 42 可以包括变刚度弹簧以实现弹性系数 k1 可便于调节。当然，第一弹性机构 42 通常可选常规的拉伸弹簧或压缩弹簧，而主要通过对距离 a1 及/或距离 b1 进行调节。

[0113] 一些实施例中，根据例如上述公式（11）配置的第二弹性机构 44 及/或第二转动机构 43 通常可以是永久性配置并被使用的。然而，在其它一些实施例中，根据例如上述公式（11）配置的第二弹性机构 44 及/或第二转动机构 43 也可以是较为灵活的配置方式以便于调节，尤其是关联于第二转动机构 43 的配置可以被更加灵活的配置以适用于不同场景。示例性的，以第二转动机构 43 为例，可以配置使得第八转动部 434 的旋转轴线到第七转动部 433 的

旋转轴线之间的距离 a2 易于被调节，及/或，可以配置使得第七转动部 433 的旋转轴线到第五转动部 431 的旋转轴线的距离 b2 易于被调节。

[0114] 例如，第八转动部 434 可以被配置成在第二连杆 32 上的位置可调以实现距离 a2 可调。示例性的，如图 13 所示，重力补偿机构 4 还包括第三导向部 465 和第三安装部，第三导向部 465 设置于第二连杆 32，第三安装部可移动地设置于第三导向部 465，第八转动部 434 可转动地装设于第三安装部，故第八转动部 434 通过第三安装部在第三导向部 465 上的移动可以调节距离 a2。这样的移动可以手动或自动实现。

[0115] 进一步地，第八转动部 434 的移动以可通过自动实现为例，重力补偿机构 4 还可以包括第三驱动机构，第三驱动机构耦接第三导向部 465 或第三安装部，以驱动第三安装部在第三导向部 465 移动而带动第八转动部 434 相对于第二连杆 32 移动。

[0116] 又例如，第五转动部 431 可以被配置成在底座连杆 2 上的位置可调以实现距离 b2 可调。示例性的，继续参阅图 13，重力补偿机构 4 还包括第四导向部 467 和第四安装部，第四导向部 467 设置于底座连杆 2，第四安装部可移动地设置于第四导向部 467，其中，第五转动部 431 固定（即不可转动）地装设于第四安装部，当包括如上所述的与第五转动部同轴设置的第六转动部时，该第六转动部可转动地装设于第四安装部，故第五转动部 431（和第六转动部）通过第四安装部在第四导向部 467 上的同步移动可以调节距离 b2。这样的移动可以手动或自动实现。

[0117] 进一步地，第五转动部 431 的移动以可通过自动实现为例，重力补偿机构 4 还可以包括第四驱动机构，第四驱动机构耦接第四导向部 467 或第四安装部，以驱动第四安装部在第四导向部 467 移动而带动第五转动部 431 相对于底座连杆 2 移动。当然，当第四安装部上设置有第六转动部时，该第六转动部同理会跟随第四安装部而移动。

[0118] 上述实施例中，例如在通过手动方式相应转动部位置调节的实施例中，第三导向部 465 及/或第四导向部 467 包括滑轨及/或滑槽，示例性的，滑槽或

滑轨可以沿着相应的第二连杆 32 及/或底座连杆 2 的长度方向设置。在考虑第二连杆 32 的重量和重心时，可以考虑第三导向部 465 对第二连杆 32 的影响，尤其是，当第三导向部 465 对第二连杆 32 的重量和重心存在影响时，由于第三导向部 465 与第二连杆 32 之间相对固定，而只调节重量相对于各连杆几乎可忽略不计的第四转动部 414 时，不会对所期望实现的被动重力补偿产生不利影响。

[0119] 当然，也可以单独或结合考虑第二弹性机构 44 的弹性系数 k2 可被配置成可调。例如，第二弹性机构 44 可以包括变刚度弹簧以实现弹性系数 k2 可便于调节。当然，第二弹性机构 44 通常可选常规的拉伸弹簧或压缩弹簧，而主要通过对距离 a2 及/或距离 b2 进行调节。

[0120] 上述第一驱动机构及/或第二驱动机构的相应配置，可以有效适用于平行四边形机构 3 远端连接的负载 5 发生一定程度变化时使用，以更好地对平行四边形机构 3 进行重力补偿。

[0121] 上述实施例中，例如在通过自动方式实现相应转动部位置调节的实施例中，各驱动机构例如可以包括直线电机、滚珠丝杠副、齿轮齿条等方式实现。

[0122] 例如，第一驱动机构、第二驱动机构、第三驱动机构及/或第四驱动机构包括直线电机时，直线电机的定子作为导向部，直线电机的动子作为安装部，该直线电机同时作为导向部、安装部及驱动机构。

[0123] 又例如，第一驱动机构、第二驱动机构、第三驱动机构及/或第四驱动机构包括滚珠丝杠副时，滚珠丝杠副的丝杠作为导向部，滚珠丝杠副的滑块作为安装部，当然，滚珠丝杠副还包括电机，电机与丝杠耦接以通过驱动丝杠转动带动滑块在丝杠上移动，该滚珠丝杠副同时作为导向部、安装部及驱动机构。

[0124] 又例如，第一驱动机构、第二驱动机构、第三驱动机构及/或第四驱动机构包括齿轮齿条时，在相应连杆上可设置滑槽作为导向部，并在相应连杆上设置与滑槽或滑轨平行的齿条，齿轮可移动地设置于滑槽且与齿条啮合，

转动部可转动地设置于齿轮上且转动部的转动与齿轮的转动相互独立，通过电机驱动齿轮转动使得齿轮可以在滑槽内移动，在该实施例中，齿轮齿条既作为安装部又作为驱动机构。以该连杆为第二连杆 32 为例，如图 14 所示，作为导向部463的滑槽设置在第二连杆32上，在第二驱动机构的齿轮齿条中，齿条 471 相对于滑槽 463 平行的设置于第二连杆 32 上，装设有第四转动部 414 的齿轮 472 可移动地设置于滑槽 463 且与齿条 471 啮合。

[0125] 上述实施例中，各驱动机构（第一驱动机构、第二驱动机构、第三驱动机构及/或第四驱动机构）可以由一个或多个控制器进行驱动以对相应距离（a1、b1、a2 及/或 b2）进行调节，可以对装配误差带来的问题进行修正，也可以对由于负载 5 情况发生变化带来的问题进行修正，例如可以在负载 5 的结构发生静态变化时可以进行修正，又例如可以在负载 5 的状态发生动态变化时可以进行实时修正，进而得以实现较佳的重力平衡效果。

[0126] 一些实施例中，第一转动机构 41 中的多个转动部直径相同，例如，第一转动部 411、第二转动部 412、第三转动部 413 及第四转动部 414 的直径相同。

[0127] 一些实施例中，第二转动机构 43 中的多个转动部直径相同，例如，第五转动部 431、第七转动部 433 及第八转动部 434 的直径相同。当然，当第二转动机构 43 中包括第六转动部时，该第六转动部的直径应当与其它转动部的直径相同。

[0128] 一些实施例中，平行四边形机构 3 中相邻两个连杆之间转动的角度范围 $\theta \in (0°, 180°)$，即相邻两个连杆（如第一连杆 31 和第二连杆 32）之间转动的角度不能够达到 0° 或 180°，以避免到达奇异点（奇异点即包括 0° 和 180° 这两个奇异点）而导致的无法在所述的第二自由度实现重力补偿。

[0129] 本申请还提供一种机械臂的安装方法，包括：

[0130] 提供底座连杆的步骤。

[0131] 提供具备依次连接的第一连杆、第二连杆、第三连杆及第四连杆的平行四边形机构，将平行四边形机构转动连接于底座连杆的步骤。在该步骤中，

通常可将平行四边形机构围绕底座连杆转动的轴线与第一连杆和第二连杆之间的第一旋转轴线重合设置。

[0132] 提供转动机构和弹性机构，将转动机构耦接于第一连杆和第二连杆之中的至少一个、及底座连杆，并将弹性机构耦接底座连杆和转动机构的步骤。

[0133] 根据上述步骤，可以在平行四边形机构对应的一个自由度产生平衡平行四边形机构的重力矩的补偿力矩。

[0134] 一些实施例中，转动机构包括第一转动机构，弹性机构包括第一弹性机构。将转动机构分布设置于第一连杆和第二连杆之中的至少一个、及底座连杆，并将弹性机构耦接底座连杆和转动机构的步骤包括：

[0135] 将第一转动机构耦接于第一连杆和第二连杆之中的一个、及底座连杆，并将第一弹性机构耦接底座连杆和第一转动机构的步骤，以在平行四边形机构关联的一个自由度产生平衡平行四边形机构的重力矩的补偿力矩。

[0136] 一些实施例中，转动机构包括第二转动机构，弹性机构包括第二弹性机构。将转动机构分布设置于第一连杆和第二连杆之中的至少一个、及底座连杆，并将弹性机构耦接底座连杆和转动机构的步骤包括：

[0137] 将第二转动机构耦接于第一连杆和第二连杆之中的另一个、及底座连杆，并将第二弹性机构耦接底座连杆和第二转动机构的步骤，以在平行四边形机构关联的另一个自由度产生平衡平行四边形机构的重力矩的补偿力矩。

[0138] 一些实施例中，平行四边形机构包括第一自由度，该第一自由度包括平行四边形机构整体围绕第一旋转轴线转动的自由度。将第一转动机构耦接于第一连杆和第二连杆之中的一个、及底座连杆的步骤包括：

[0139] 将第一转动机构分布设置于底座连杆和第一连杆的步骤。进而，可以使第一弹性机构在第一自由度产生平衡平行四边形机构的重力矩的补偿力矩。

[0140] 一些实施例中，第一转动机构包括第一转动部、第二转动部、第三转动部及第四转动部，第一弹性机构包括第一弹性元件和第一线缆。将第一转动机构耦接于第一连杆和第二连杆之中的一个、及底座连杆，并将第一弹性

机构耦接底座连杆和第一转动机构的步骤包括：

[0141] 将第一转动部固定连接于底座连杆，将第二转动部与第一转动部同轴设置且第二转动部相对第一转动部可转动，将第三转动部和第四转动部分别转动连接于第一连杆的步骤。

[0142] 其中，第三转动部的旋转轴线重合第一旋转轴线，第二转动部和第四转动部的旋转轴线分别与第一旋转轴线平行。

[0143] 将第一弹性元件的第一端连接底座连杆，将第一线缆的第一端固定连接第一转动部，将第一线缆的第二端绕设第二转动部、并经过第三转动部导向、再绕设第四转动部后，连接第一弹性元件的第二端的步骤。

[0144] 一较佳实施例中，该安装方法还包括：

[0145] 根据如下公式对第一弹性元件和第一转动机构进行配置。

$$k1 \times a1 \times b1 = G1 \times L1 + G3 \times L3 + G4 \times L4$$

[0146] 其中，k1 表示第一弹性元件的弹性系数，a1 表示第四转动部的旋转轴线到第一旋转轴线的距离，b1 表示第三转动部的旋转轴线到第二转动部的旋转轴线的距离，G1 表示第一连杆的重力，G3 表示第三连杆的重力，G4 表示第四连杆的重力，L1 表示第一连杆的重心到第一旋转轴线的距离，L3 表示第三连杆的重心到第二连杆和第三连杆之间的第二旋转轴线的距离，L4 表示第四连杆和第一连杆之间的第四旋转轴线到第一旋转轴线的距离。

[0147] 一些实施例中，平行四边形机构包括第二自由度，第二自由度包括平行四边形机构中相邻两个连杆之间转动的自由度，将第二转动机构耦接于第一连杆和第二连杆之中的另一个、及底座连杆，并将第二弹性机构耦接底座连杆和第二转动机构的步骤包括：

[0148] 将第二转动机构分布设置于底座连杆和第二连杆的步骤。进而，可以使第二弹性机构在第二自由度产生平衡平行四边形机构的重力矩的补偿力矩。

[0149] 一些实施例中，第二转动机构包括第五转动部、第七转动部及第八转动部，第二弹性机构包括第二弹性元件和第二线缆。将第二转动机构耦接于

第一连杆和第二连杆之中的另一个、及底座连杆，并将第二弹性机构耦接底座连杆和第二转动机构的步骤包括：

[0150] 将第五转动部固定连接于底座连杆，将第七转动部和第八转动部分别转动连接于第二连杆的步骤。

[0151] 其中，第七转动部的旋转轴线重合第一旋转轴线，第八转动部的旋转轴线分别与第一旋转轴线平行。

[0152] 将第二弹性元件的第一端连接底座连杆，将第二线缆的第一端固定连接第五转动部，将第一线缆的第二端经过第七转动部导向、再绕设第八转动部后，连接第二弹性元件的第二端的步骤。

[0153] 一较佳实施例中，该安装方法还包括：

[0154] 根据如下公式对第二弹性元件和第二转动机构进行配置。

$$k2\times a2\times b2=G2\times L2'+G3\times L3'+G4\times L4'$$

[0155] 其中， k2 表示第二弹性元件的弹性系数，a2 表示第八转动部的旋转轴线到第一旋转轴线的距离，b2 表示第七转动部的旋转轴线到第五转动部的旋转轴线的距离，G2 表示第二连杆的重力，G3 表示第三连杆的重力，G4 表示第四连杆的重力，L2'表示第二连杆的重心到第一旋转轴线的距离，L3'表示第二连杆和第三连杆之间的第二旋转轴线到第一旋转轴线的距离，L4'表示第四连杆的重心到第四连杆和第一连杆之间的第四旋转轴线的距离。

[0156] 本申请所记载的包括底座连杆、平行四边形机构及重力补偿机构的机械臂适用于多个技术领域的机器人使用，并至少可作为一部分被使用。例如，本申请的机械臂可作为医疗领域的手术机器人的机械臂的至少一部分被使用。例如，例如，本申请的机械臂可作为工业领域的工业机器人的机械臂的至少一部分被使用。

[0157] 一些实施例中，本申请还提供一种手术机器人，该手术机器人包括主操作台 100 及由主操作台 100 控制的从操作设备。主操作台 100 具有操作部 110，医生通过操作（如拖动）操作部 110 向从操作设备发送包括位姿指令的控制命令，以令操作设备执行该控制命令。

[0158] 该操作部 110 包括机械臂。该机械臂 110 包括底座连杆 2’，该机械臂还包括具备依次相互转动连接的第一连杆 31’、第二连杆 32’、第三连杆 33’及第四连杆 34’的平行四边形机构 3’，该机械臂还包括耦接于该底座连杆 2’和平行四边形机构 3’之间的重力补偿机构（图未示），由于该机械臂的基本组成部分即底座连杆 2’和平行四边形机构 3’与上述任一项实施例所述的机械臂 1 中底座连杆 2 和平行四边形机构 3 相当，故对于机械臂 110 中重力补偿机构的设置可以参照上述任一项实施例中对机械臂 1 中重力补偿机构 4 的设置来进行实现，此处不再重复赘述。

[0159] 在一些实施例中，如图 16 所示，该机械臂 110 中平行四边形机构 3’远端还可以包括负载 130，该负载 130 具体例如设置于第四连杆 34’远端，该负载 130 可称之为腕部机构，该腕部机构 130 具备多个自由度，以用于与底座连杆 2’和平行四边形机构 3’一起协同被操作产生用以控制从操作设备运动的包括位置及/或姿态的控制命令。一些实施例中，该腕部机构 130 还可以额外具备用以被操作产生用以控制装设于从操作设备上的末端执行器的开合自由度。

[0160] 一些实施例中，如图 15 所示，主操作台 100 可以包括基座 140，底座连杆 2’可转动地耦接于基座 140。

[0161] 本申请通过在底座连杆 2’和平行四边形机构 3’之间耦接重力补偿机构，可以较好地平衡平行四边形机构 3’的重力矩，由于该方案不同于现有技术采用的配重补偿方式，有效改善了医生操作的手感，即改善了力透明性。另外，由于该方案也不同于现有技术采用的主动补偿方式，不用担心掉电时机械臂坠落的问题，同时有助于节省电力。

[0162] 对于本申请所述的“负载”进行理解时，图 16 所示的腕部机构 130 可以被作为一种具体的示例以便于理解。

[0163] 以上所述实施例的各技术特征可以进行任意的组合，为使描述简洁，未对上述实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述，然而，只要这些技术特征的组合不存在矛盾，都应当认为是本说明书记载的范围。

[0164] 以上所述实施例仅表达了本申请的几种实施方式，其描述较为具体和详细，但并不能因此而理解为对申请专利范围的限制。应当指出的是，对于本领域的普通技术人员来说，在不脱离本申请构思的前提下，还可以做出若干变形和改进，这些都属于本申请的保护范围。因此，本申请专利的保护范围应以所附权利要求为准。

权利要求书

1、一种机械臂，其特征在于，包括：

底座连杆；

平行四边形机构，包括依次转动连接的第一连杆、第二连杆、第三连杆及第四连杆，所述平行四边形机构转动连接于所述底座连杆，所述平行四边形机构围绕所述底座连杆转动的轴线与所述第一连杆和所述第二连杆之间的第一旋转轴线重合，所述平行四边形机构具有所述平行四边形机构整体相对于所述底座连杆转动的自由度、及所述平行四边形机构中相邻两个连杆之间相互转动的自由度；及

重力补偿机构，包括转动机构和弹性机构，所述转动机构耦接于所述第一连杆和所述第二连杆之中的至少一个、及所述底座连杆，所述弹性机构耦接所述底座连杆和所述转动机构，以在所述平行四边形机构关联的至少一个自由度产生平衡所述平行四边形机构的重力矩的补偿力矩。

2、根据权利要求 1 所述的机械臂，其特征在于，所述转动机构包括第一转动机构，所述弹性机构包括第一弹性机构，所述第一转动机构耦接于所述第一连杆和所述第二连杆之中的一个、及所述底座连杆，所述第一弹性机构耦接所述底座连杆和所述第一转动机构，以在所述平行四边形机构关联的一个自由度产生平衡所述平行四边形机构的重力矩的补偿力矩；及/或

所述转动机构包括第二转动机构，所述弹性机构包括第二弹性机构，所述第二转动机构耦接于所述第一连杆和所述第二连杆之中的另一个、及所述底座连杆，所述第二弹性机构耦接所述底座连杆和所述第二转动机构，以在所述平行四边形机构关联的另一个自由度产生平衡所述平行四边形机构的重力矩的补偿力矩。

3、根据权利要求 2 所述的机械臂，其特征在于，所述平行四边形机构包括第一自由度，所述第一自由度包括所述平行四边形机构整体围绕所述第一旋转轴线转动的自由度，所述第一转动机构耦接于所述底座连杆和所述第一连杆，所述第一弹性机构在所述第一自由度产生平衡所述平行四边形机构的

重力矩的补偿力矩。

4、根据权利要求 3 所述的机械臂，其特征在于，所述第一转动机构包括第一转动部、第二转动部、第三转动部及第四转动部，所述第一转动部固定连接于所述底座连杆，所述第二转动部与所述第一转动部同轴设置且所述第二转动部相对所述第一转动部可转动，所述第三转动部和所述第四转动部分别转动连接于所述第一连杆，所述第三转动部的旋转轴线重合所述第一旋转轴线，所述第二转动部和所述第四转动部的旋转轴线分别与所述第一旋转轴线平行；

所述第一弹性机构包括第一弹性元件和第一线缆，所述第一弹性元件的第一端连接所述底座连杆，所述第一线缆的第一端固定连接所述第一转动部，所述第一线缆的第二端绕设所述第二转动部、并经过所述第三转动部导向、再绕设所述第四转动部后，连接所述第一弹性元件的第二端；或，所述第一弹性元件的第一端连接所述底座连杆，所述第一线缆的第一端固定连接所述第一转动部，所述第一线缆的第二端绕设所述第四转动部、并经过所述第三转动部导向、再绕设所述第二转动部后，连接所述第一弹性元件的第二端。

5、根据权利要求 4 所述的机械臂，其特征在于，所述第一弹性元件的弹性系数、所述第三转动部的旋转轴线与所述第二转动部的旋转轴线之间的距离、及所述第四转动部的旋转轴线到所述第一旋转轴线之间的距离中包括至少一个第一待确定参数，所述第一待确定参数基于第一条件和第二条件而确定，所述第一条件包括所述第一连杆的重力、所述第三连杆的重力、所述第四连杆的重力、所述第一连杆的重心到所述第一旋转轴线的距离、所述第三连杆的重心到所述第二连杆和所述第三连杆之间的第二旋转轴线的距离、及所述第四连杆和所述第一连杆之间的第四旋转轴线到所述第一旋转轴线的距离，所述第二条件包括所述第一弹性元件的弹性系数、所述第三转动部的旋转轴线与所述第二转动部的旋转轴线之间的距离、及所述第四转动部的旋转轴线到所述第一旋转轴线之间的距离中除所述第一待确定参数以外的参数。

6、根据权利要求 5 所述的机械臂，其特征在于，所述第一弹性元件和所

述第一转动机构的配置满足如下公式：

$$k1\times a1\times b1\leqslant G1\times L1+G3\times L3+G4\times L4$$

k1 表示所述第一弹性元件的弹性系数，a1 表示所述第四转动部的旋转轴线与所述第三转动部的旋转轴线之间的距离，b1 表示所述第三转动部的旋转轴线到所述第二转动部的旋转轴线的距离，G1 表示所述第一连杆的重力，G3 表示所述第三连杆的重力，G4 表示所述第四连杆的重力，L1 表示所述第一连杆的重心到所述第一旋转轴线的距离，L3 表示所述第三连杆的重心到所述第二连杆和所述第三连杆之间的第二旋转轴线的距离，L4 表示所述第四连杆和所述第一连杆之间的第四旋转轴线到所述第一旋转轴线的距离。

7、根据权利要求 4 所述的机械臂，其特征在于，第一弹性元件包括变刚度弹簧以实现弹性系数可调、所述第四转动部的旋转轴线到所述第一旋转轴线的距离可调、及/或所述第三转动部的旋转轴线到所述第二转动部的旋转轴线的距离可调。

8、根据权利要求 4 所述的机械臂，其特征在于，所述重力补偿机构包括第一导向部和第一安装部，所述第一导向部设置于所述第一连杆，所述第一安装部可移动地设置于所述第一导向部，所述第四转动部可转动地装设于所述第一安装部；及/或

所述重力补偿机构包括第二导向部和第二安装部，所述第二导向部设置于所述底座连杆，所述第一转动部固定装设于所述第二安装部，所述第二转动部可转动地装设于所述第二安装部。

9、根据权利要求 8 所述的机械臂，其特征在于，所述重力补偿机构还包括第一驱动机构，所述第一驱动机构耦接所述第一导向部或所述第一安装部，以驱动所述第一安装部在所述第一导向部移动而带动所述第四转动部相对于所述第一连杆移动；及/或

所述重力补偿机构还包括第二驱动机构，所述第二驱动机构耦接所述第二导向部或所述第二安装部，以驱动所述第二安装部在所述第二导向部移动而带动所述第一转动部和所述第二转动部相对于所述底座连杆移动。

10、根据权利要求 2 所述的机械臂，其特征在于，所述平行四边形机构包括第二自由度，所述第二自由度包括所述平行四边形机构中相邻两个连杆之间转动的自由度，所述第二转动机构耦接于所述底座连杆和所述第二连杆，所述第二弹性机构在所述第二自由度产生平衡所述平行四边形机构的重力矩的补偿力矩。

11、根据权利要求 10 所述的机械臂，其特征在于，所述第二转动机构包括第五转动部、第七转动部及第八转动部，所述第五转动部固定连接于所述底座连杆，所述第七转动部和所述第八转动部分别转动连接于所述第二连杆，所述第七转动部的旋转轴线重合所述第一旋转轴线，所述第五转动部和所述第八转动部的旋转轴线分别与所述第一旋转轴线平行；

所述第二弹性机构包括第二弹性元件和第二线缆，所述第二弹性元件的第一端连接所述底座连杆，所述第二线缆的第一端固定连接所述第五转动部，所述第一线缆的第二端经过所述第七转动部导向、再绕设所述第八转动部后，连接所述第二弹性元件的第二端；或，所述第二弹性元件的第一端连接所述底座连杆，所述第二线缆的第一端固定连接所述第五转动部，所述第一线缆的第二端绕设所述第八转动部、并经过所述第七转动部导向后，连接所述第二弹性元件的第二端。

12、根据权利要求 11 所述的机械臂，其特征在于，所述第二弹性元件的弹性系数、所述第七转动部的旋转轴线与所述第五转动部的旋转轴线之间的距离、及所述第八转动部的旋转轴线与所述第七转动部的旋转轴线之间的距离中包括至少一个第二待确定参数，所述第二待确定参数基于第三条件和第四条件而确定，所述第三条件包括所述第二连杆的重力、所述第三连杆的重力、所述第四连杆的重力、所述第二连杆的重心到所述第一旋转轴线的距离、所述第二连杆和所述第三连杆之间的第二旋转轴线到所述第一旋转轴线的距离、及所述第四连杆的重心到所述第四连杆和所述第一连杆之间的第四旋转轴线的距离，所述第四条件包括所述第二弹性元件的弹性系数、所述第七转动部的旋转轴线与所述第五转动部的旋转轴线之间的距离、及所述第八转动

部的旋转轴线与所述第七转动部的旋转轴线之间的距离中除所述第二待确定参数以外的参数。

13、根据权利要求 11 所述的机械臂，其特征在于，所述第二弹性元件和所述第二转动机构的配置满足如下公式：

$$k2\times a2\times b2\geq G2\times L2'+G3\times L3'+G4\times L4'$$

k2 表示所述第二弹性元件的弹性系数，a2 表示所述第八转动部的旋转轴线与所述第七转动部的旋转轴线之间的距离，b2 表示所述第七转动部的旋转轴线到所述第五转动部的旋转轴线的距离，G2 表示所述第二连杆的重力，G3 表示所述第三连杆的重力，G4 表示所述第四连杆的重力，L2'表示所述第二连杆的重心到所述第一旋转轴线的距离，L3'表示所述第二连杆和所述第三连杆之间的第二旋转轴线到所述第一旋转轴线的距离，L4'表示所述第四连杆的重心到所述第四连杆和所述第一连杆之间的第四旋转轴线的距离。

14、根据权利要求 11 所述的机械臂，其特征在于，所述第二弹性元件包括变刚度弹簧以实现弹性系数可调、所述第八转动部的旋转轴线到所述第一旋转轴线的距离可调、及/或所述第七转动部的旋转轴线到所述第五转动部的旋转轴线的距离可调。

15、根据权利要求 11 所述的机械臂，其特征在于，所述重力补偿机构包括第三导向部和第三安装部，所述第三导向部设置于所述第二连杆，所述第三安装部可移动地设置于所述第三导向部，所述第八转动部可转动地装设于所述第三安装部；及/或

所述重力补偿机构包括第四导向部和第四安装部，所述第四导向部设置于所述底座连杆，所述第五转动部固定装设于所述第四安装部。

16、根据权利要求 15 所述的机械臂，其特征在于，所述重力补偿机构还包括第三驱动机构，所述第三驱动机构耦接所述第三导向部或所述第三安装部，以驱动所述第一安装部在所述第一导向部移动而带动所述第八转动部相对于所述第二连杆移动；及/或

所述重力补偿机构还包括第四驱动机构，所述第四驱动机构耦接所述述

第四导向部或所述第四安装部，以驱动所述第四安装部在所述第四导向部移动而带动所述第五转动部相对于所述底座连杆移动。

17、根据权利要求 1 所述的机械臂，其特征在于，所述重力补偿机构还包括第一电机，所述第一电机耦接所述第一连杆，以主动补偿所述平行四边形机构整体围绕所述第一旋转轴线转动的自由度上的重力矩；及/或

所述重力补偿机构还包括第二电机，所述第二电机耦接所述第二连杆，以主动补偿所述平行四边形机构中相邻连杆之间相对转动的自由度上的重力矩。

18、根据权利要求 1 所述的机械臂，其特征在于，所述平行四边形机构中相邻两个连杆之间转动的角度范围 $\theta \in (0°, 180°)$；所述平行四边形机构包括连接于所述平行四边形机构远端的负载，所述重力补偿机构还用于产生平衡包括所述负载的平行四边形机构的重力矩的补偿力矩。

19、一种主操作台，其特征在于，所述主操作台具有用以产生包括位姿指令的控制命令的操作部，所述操作部包括如权利要求 1～18 任一项所述的机械臂。

20、一种手术机器人，其特征在于，所述手术机器人包括从操作设备和如权利要求 19 所述的主操作台，所述从操作设备根据所述主操作台发送的控制命令执行相应操作。

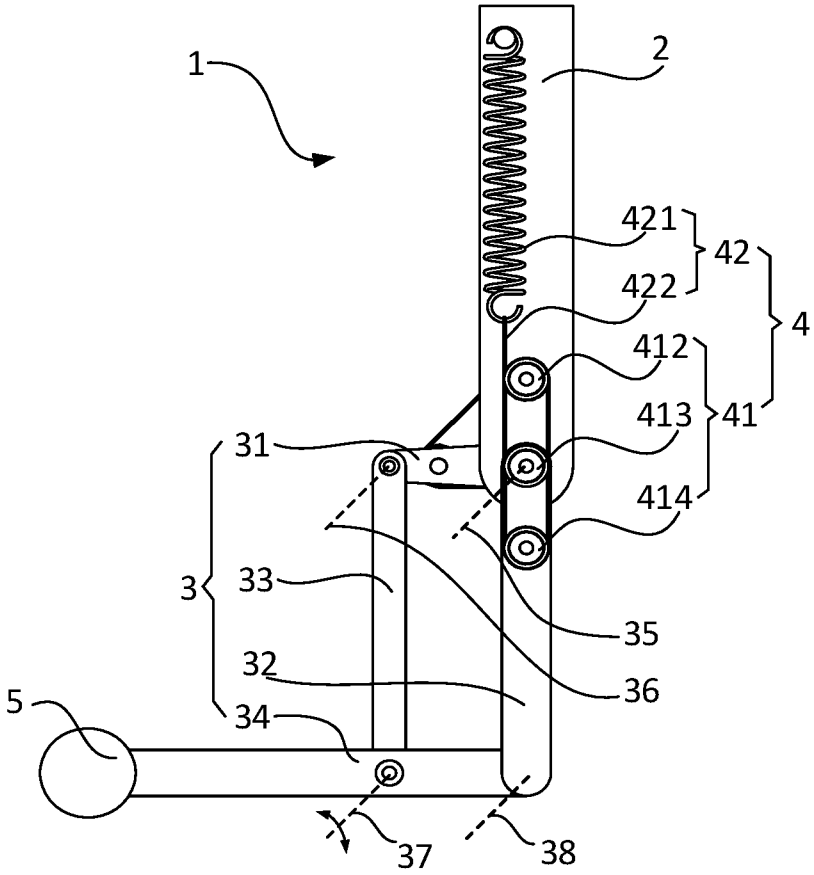

1
2
421
42
422
4
412
413
41
414
31
3
33
35
32
36
5
34
37
38

图 1

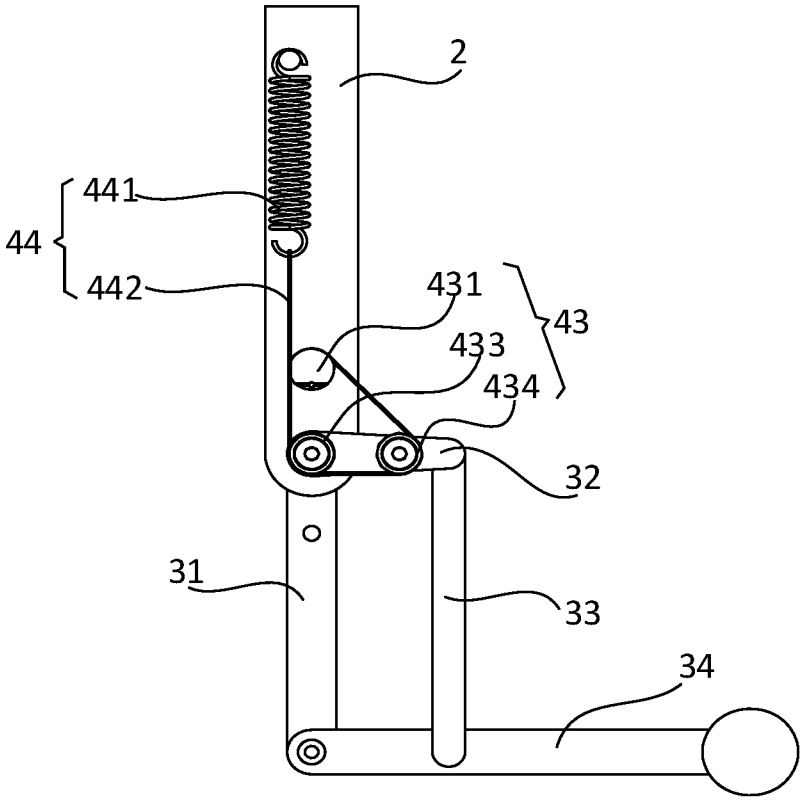

2
441
44
442
431
43
433
434
32
31
33
34

图 2

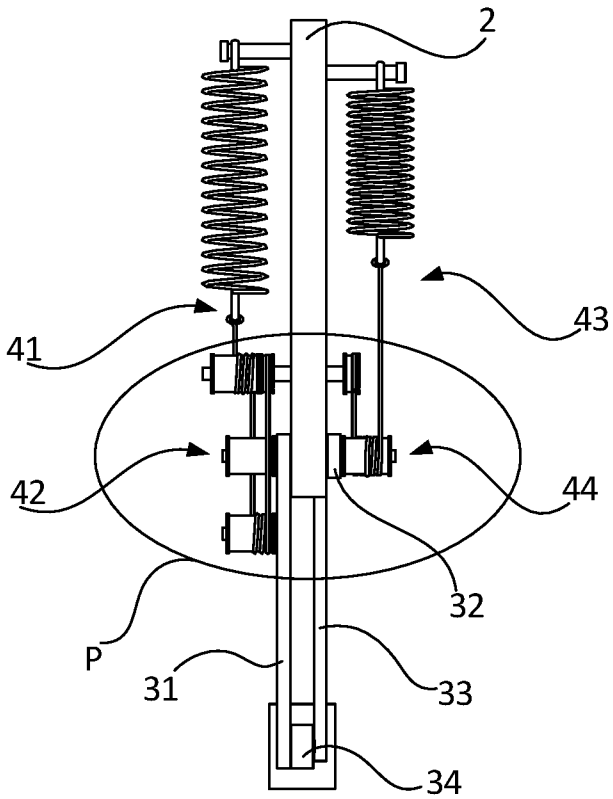


图 3

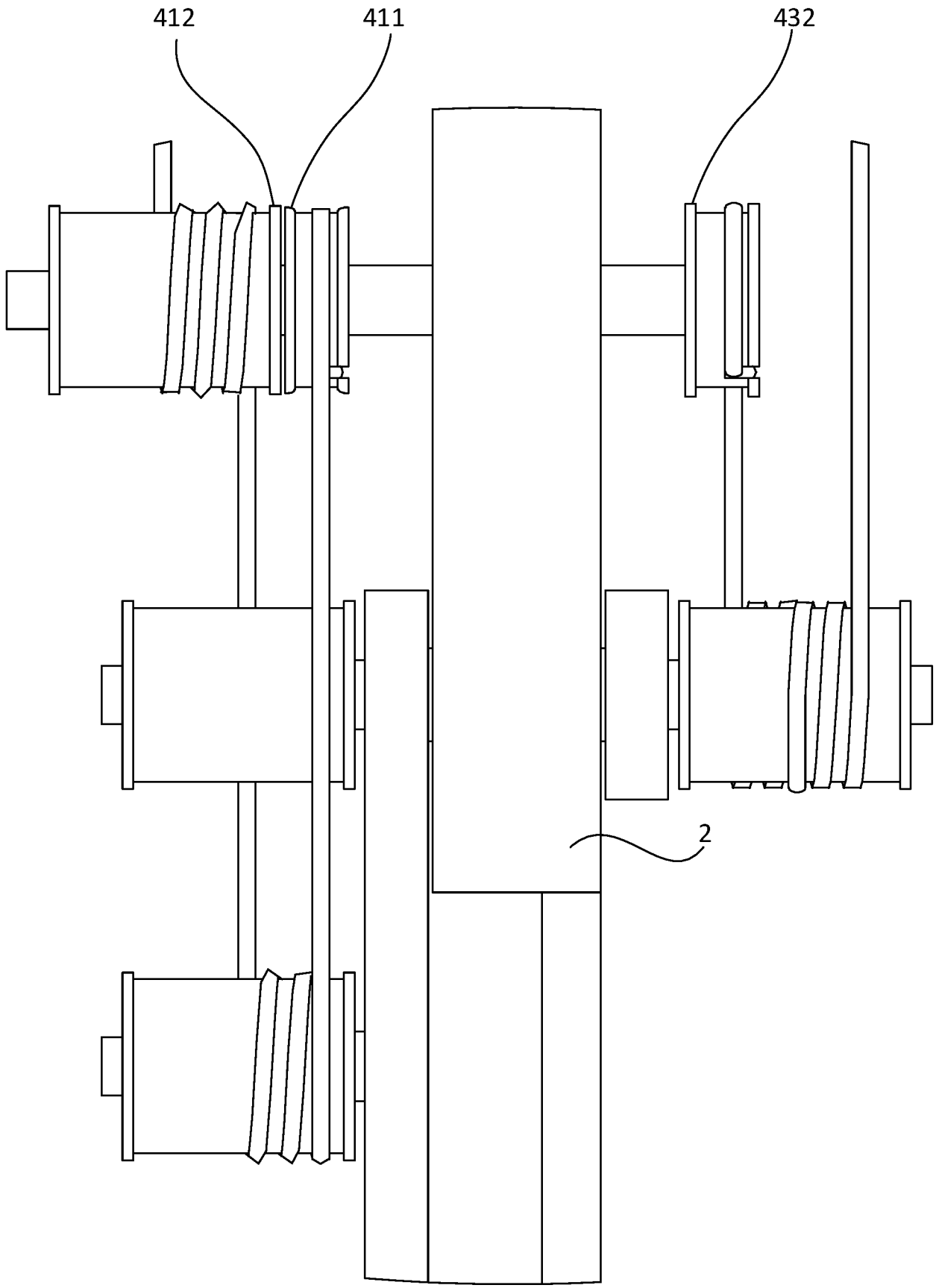


图 4

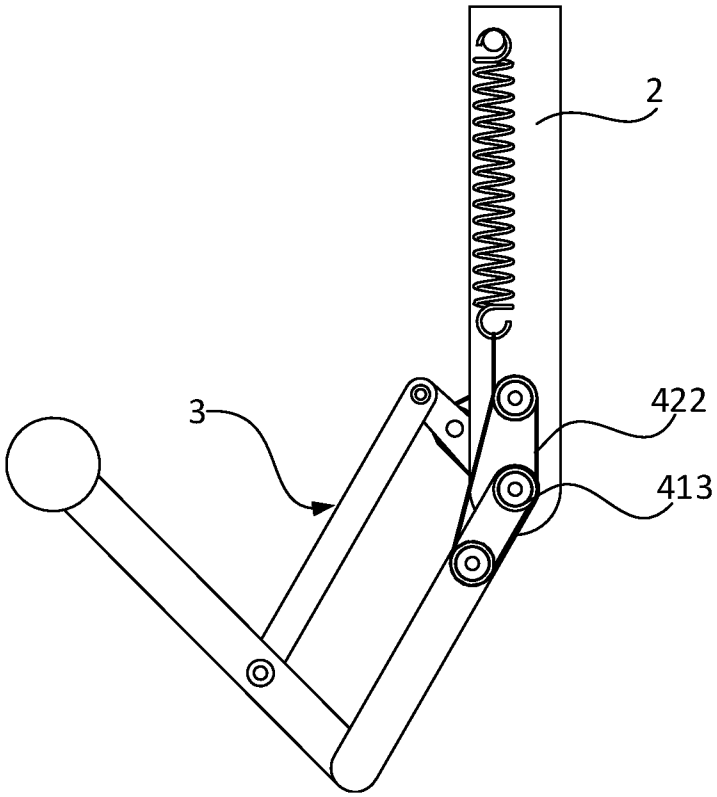


图 5

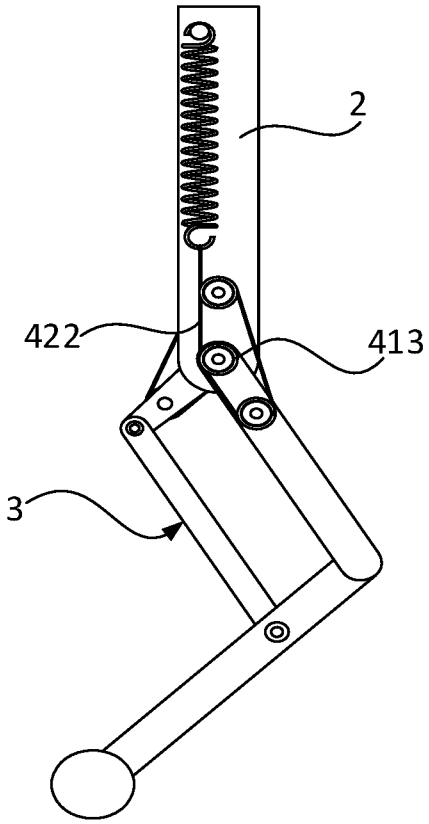


图 6

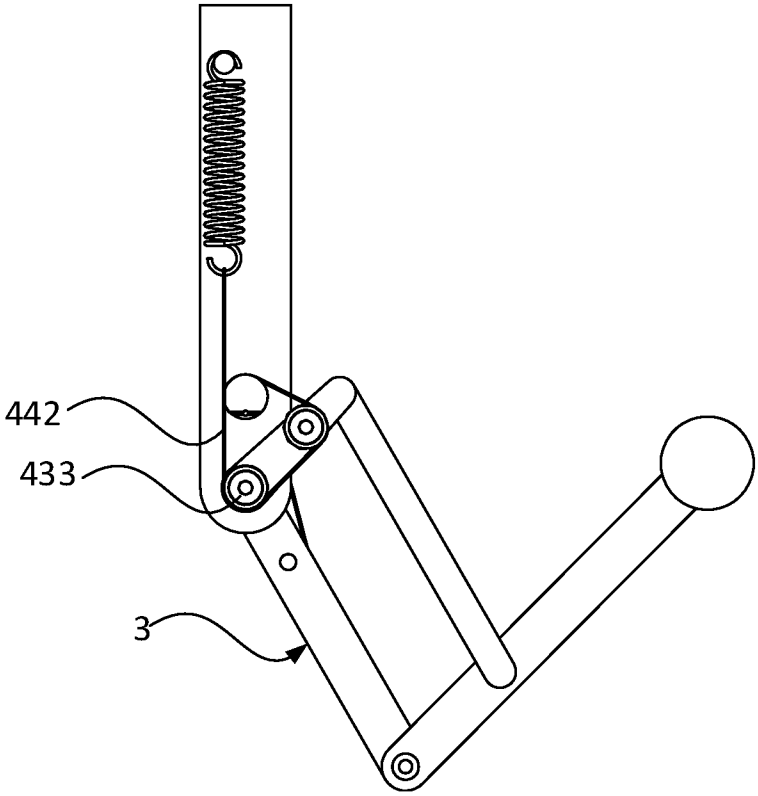


图 7

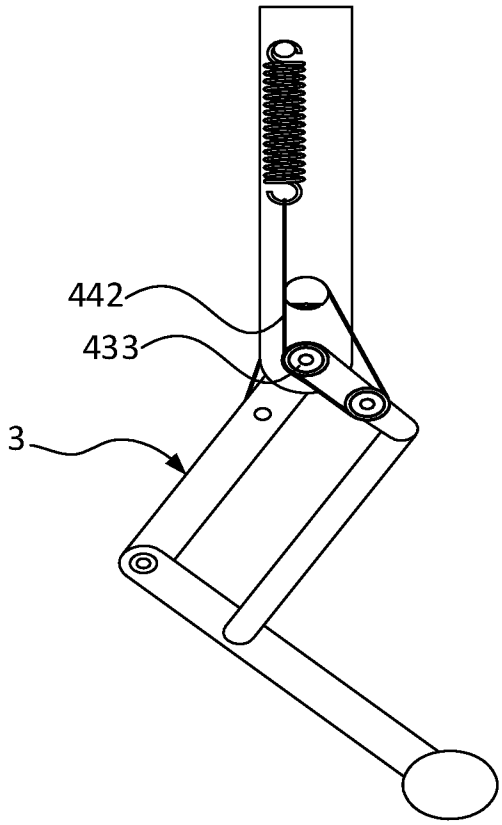


图 8

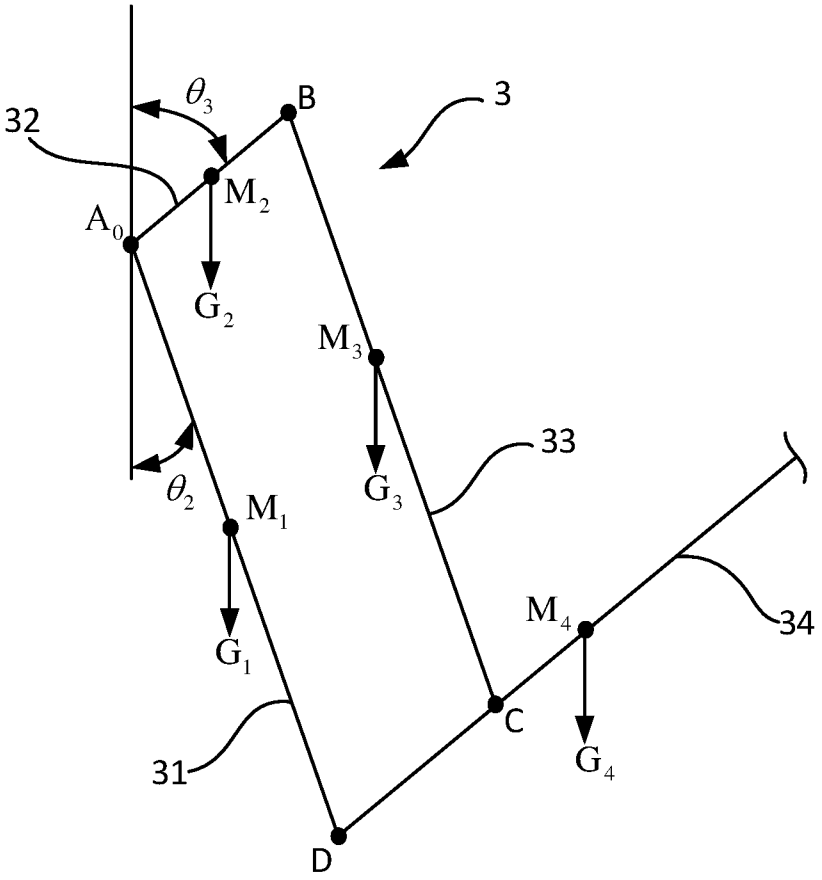


图 9

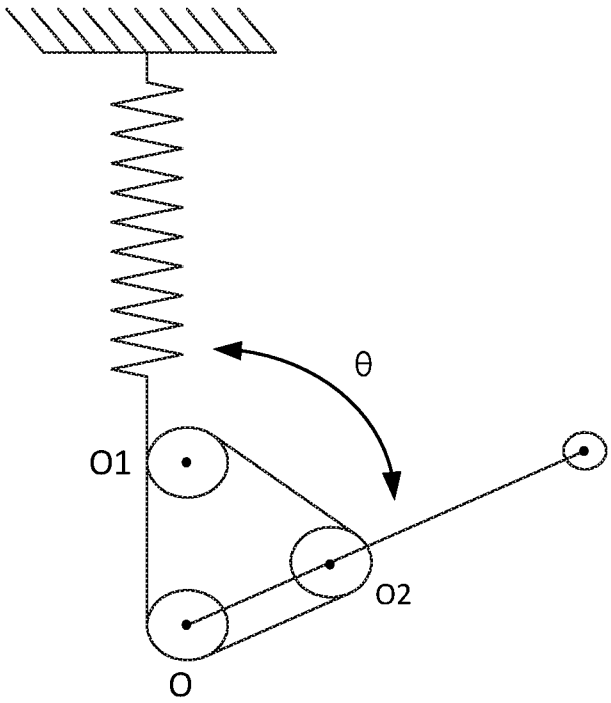


图 10

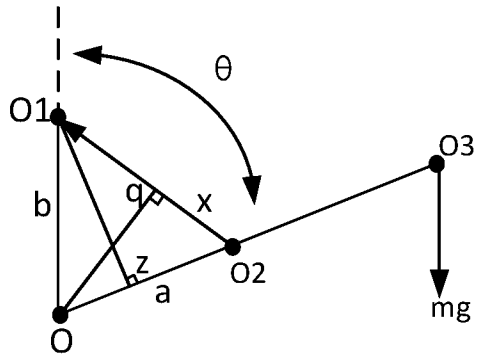


图 11

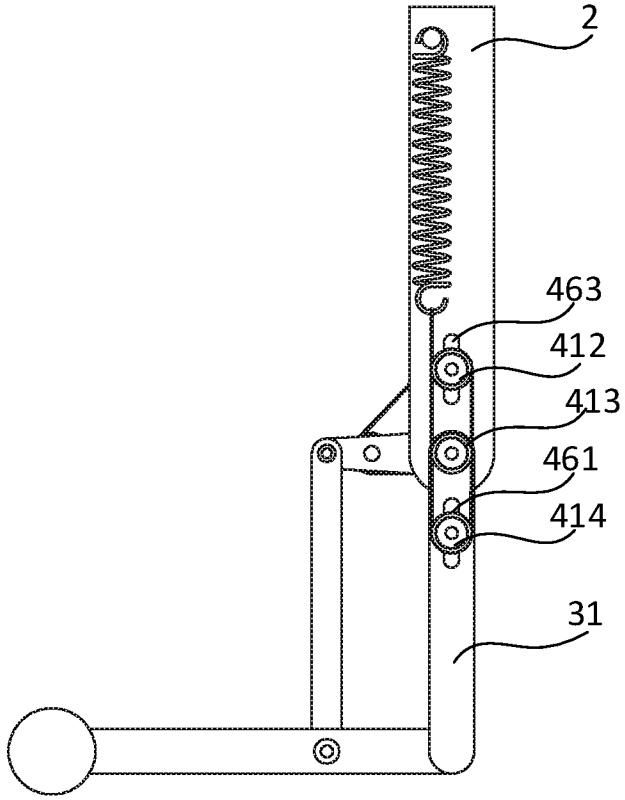


图 12

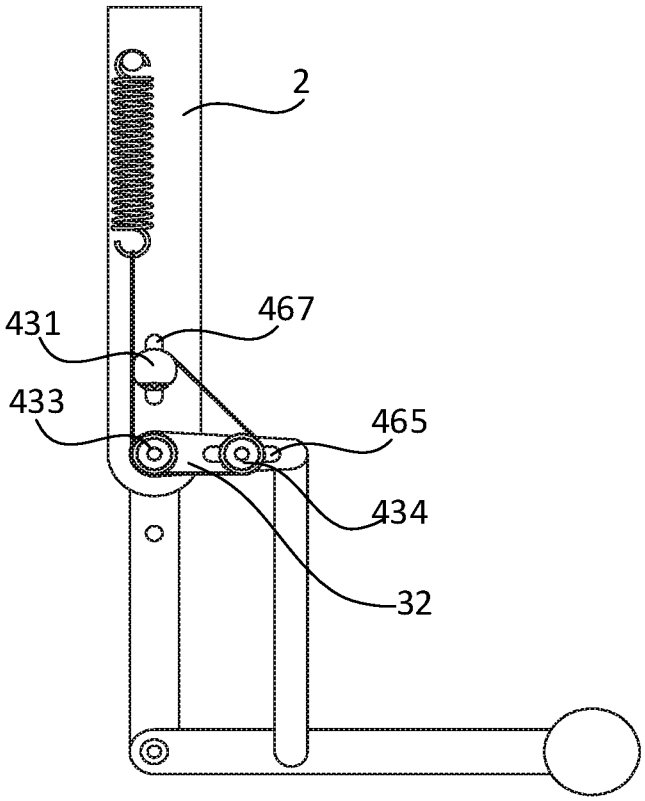


图 13

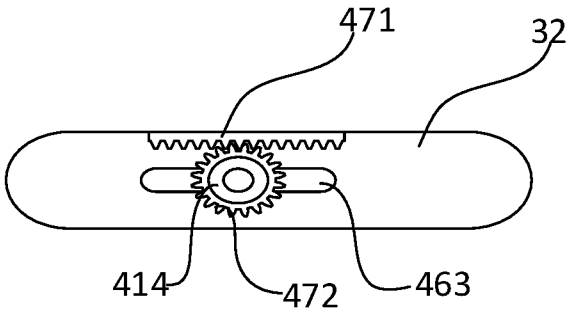


图 14

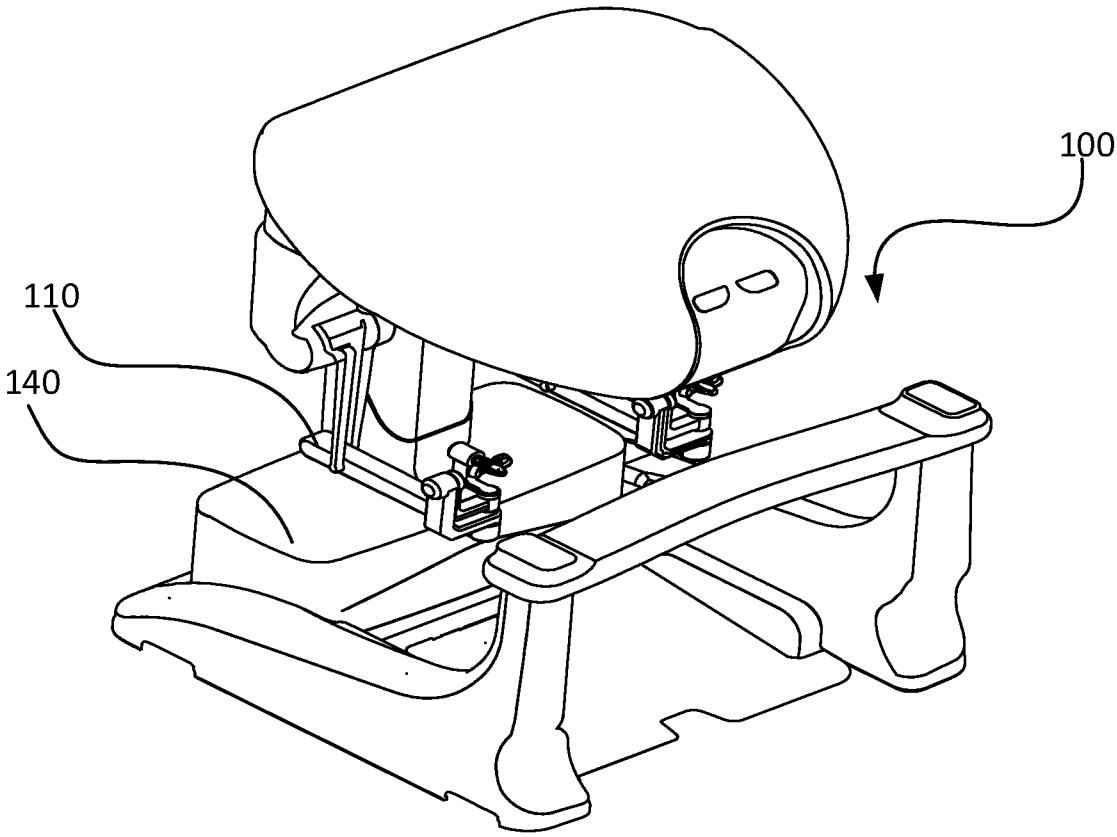


图 15

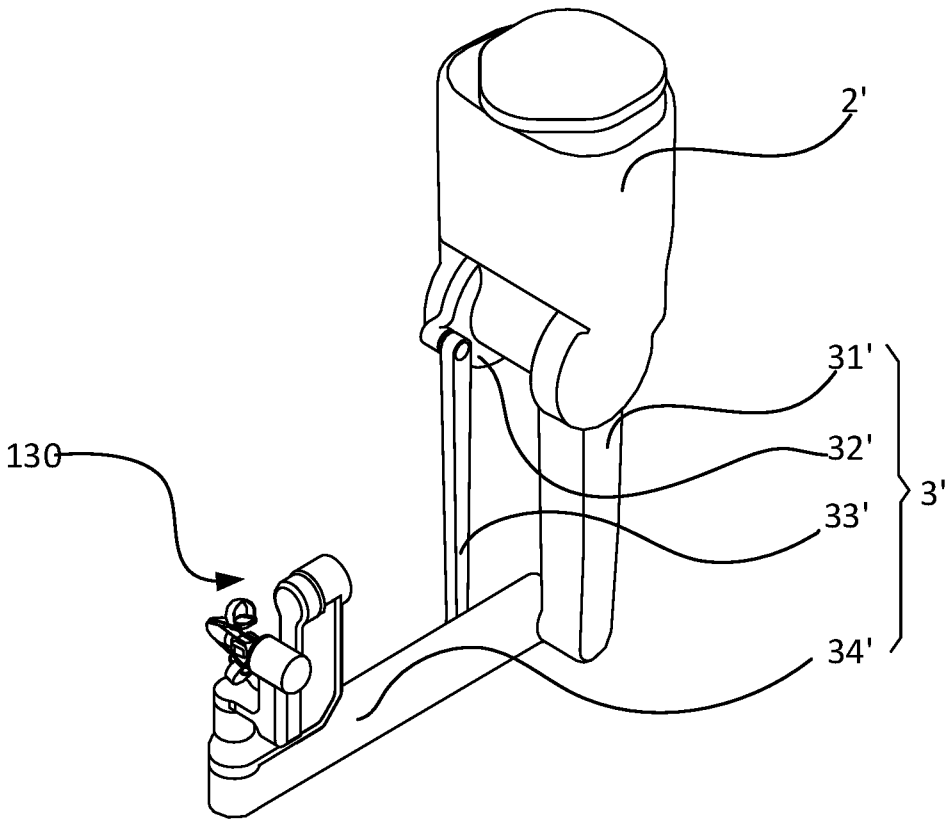


图 16

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2022/126409

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

A61B 34/37(2016.01)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)

A61B34/-

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)

WPI, EPODOC, CNKI, CNPAT: 深圳市精锋医疗, 手术机器人, 机械臂, 操作臂, 底座, 连杆, 平行四边形, 重力, 补偿, 转动, 弹性, 弹簧, surgery robot, machine arm, seat, rod, parallelogram, gravity, compensation, rotat+, elastic, spring

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 207745190 U (CHONGQING INSTITUTE OF GREEN AND INTELLIGENT TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 21 August 2018 (2018-08-21) description, paragraphs [0014]-[0021], and figure 1	1-3, 17-20
Y	TW I624341 B (INSTITUTE OF NUCLEAR ENERGY RESEARCH, ATOMIC ENERGY COUNCIL) 21 May 2018 (2018-05-21) description, pages 5-12, and figure 2	1-3, 17-20
A	CN 113543943 A (EASYENDO SURGICAL INC. et al.) 22 October 2021 (2021-10-22) entire document	1-20
A	CN 113116404 A (BEIJING SURGERII TECHNOLOGY CO., LTD.) 16 July 2021 (2021-07-16) entire document	1-20
A	CN 105287003 A (MICROPORT (SHANGHAI) MEDICAL ROBOT CO., LTD.) 03 February 2016 (2016-02-03) entire document	1-20
A	WO 2015060626 A1 (KOREA UNIVERSITY RESEARCH AND BUSINESS FOUNDATION) 30 April 2015 (2015-04-30) entire document	1-20

☐ 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
09 December 2022	**22 December 2022**
Name and mailing address of the ISA/CN **China National Intellectual Property Administration (ISA/CN)** **No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088, China** Facsimile No. **(86-10)62019451**	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2022/126409

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	207745190	U	21 August 2018	None			
TW	I624341	B	21 May 2018	TW	201904735	A	01 February 2019
CN	113543943	A	22 October 2021	WO	2020159021	A1	06 August 2020
				US	2022097226	A1	31 March 2022
				KR	20200095193	A	10 August 2020
				KR	102188210	B	09 December 2020
CN	113116404	A	16 July 2021	CN	212346589	U	15 January 2021
CN	105287003	A	03 February 2016	CN	105287003	B	25 August 2017
WO	2015060626	A1	30 April 2015	KR	20150047090	A	04 May 2015
				KR	101638695	B1	12 July 2016
				US	2016332312	A1	17 November 2016
				US	10537999	B2	21 January 2020

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2022/126409

A. 主题的分类

A61B 34/37(2016.01)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)

A61B34/-

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））

WPI，EPODOC，CNKI，CNPAT：深圳市精锋医疗，手术机器人，机械臂，操作臂，底座，连杆，平行四边形，重力，补偿，转动，弹性，弹簧，surgery robot，machine arm，seat，rod，parallelogram，gravity，compensation，rotat+，elastic，spring

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
Y	CN 207745190 U (中国科学院重庆绿色智能技术研究院) 2018年8月21日 (2018-08-21) 说明书第[0014]-[0021]段，附图1	1-3,17-20
Y	TW I624341 B (原子能委员会核能研究所) 2018年5月21日 (2018-05-21) 说明书第5-12页，附图2	1-3,17-20
A	CN 113543943 A (逸吉恩哆股份公司 等) 2021年10月22日 (2021-10-22) 全文	1-20
A	CN 113116404 A (北京术锐技术有限公司) 2021年7月16日 (2021-07-16) 全文	1-20
A	CN 105287003 A (微创上海医疗机器人有限公司) 2016年2月3日 (2016-02-03) 全文	1-20
A	WO 2015060626 A1 (KOREA UNIVERSITY RESEARCH AND BUSINESS FOUNDATION) 2015年4月30日 (2015-04-30) 全文	1-20

☐ 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
2022年12月9日	2022年12月22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 张萌 电话号码 86-(10)-53962402

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2022/126409

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	207745190	U	2018年8月21日	无			
TW	I624341	B	2018年5月21日	TW	201904735	A	2019年2月1日
CN	113543943	A	2021年10月22日	WO	2020159021	A1	2020年8月6日
				US	2022097226	A1	2022年3月31日
				KR	20200095193	A	2020年8月10日
				KR	102188210	B	2020年12月9日
CN	113116404	A	2021年7月16日	CN	212346589	U	2021年1月15日
CN	105287003	A	2016年2月3日	CN	105287003	B	2017年8月25日
WO	2015060626	A1	2015年4月30日	KR	20150047090	A	2015年5月4日
				KR	101638695	B1	2016年7月12日
				US	2016332312	A1	2016年11月17日
				US	10537999	B2	2020年1月21日