

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.  
B25J 7/00 (2006.01)



## [12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200910096414.8

[43] 公开日 2009 年 8 月 5 日

[11] 公开号 CN 101497196A

[22] 申请日 2009.3.2

[21] 申请号 200910096414.8

[71] 申请人 杭州电子科技大学

地址 310018 浙江省杭州市江干区下沙高教  
园区 2 号大街

[72] 发明人 罗志增 顾培民 张 卫 孟 明  
席旭刚

[74] 专利代理机构 杭州求是专利事务所有限公司

代理人 杜 军

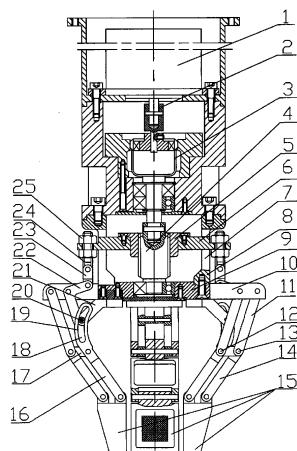
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 2 页

[54] 发明名称

平动匀速夹紧机械手爪

[57] 摘要

本发明涉及平动匀速夹紧机械手爪。现有技术外形尺寸大、控制复杂度高。本发明包括步进电机、固定套筒、十字连杆和四个手指。十字连杆设置在固定套筒内，四个端部伸出导向槽设置，步进电机通过丝杆螺母运动副与十字连杆连接。四个手指分别与十字连杆的四个端部连接。手指包括指尖、限位连杆、移动连杆、斜撑架。移动连杆中的第二移动杆具有延伸部分，延伸部分为弧形，开有弧形滑槽，斜撑架上的固定销与弧形滑槽位置配合，弧形延伸部分利用弧形滑槽沿固定销移动。本发明采用单电机驱动，手爪的四个手指沿中心轴对称，当驱动电机匀速转动时，手爪指尖的夹紧或张开速度是均匀平动，有利于指尖与目标物体的接触与手爪对目标物体的整体抓握。



1、平动匀速夹紧机械手爪，包括步进电机、固定套筒、十字连杆和四个手指，其特征在于：

固定套筒的侧壁在同一圆周上开有四个导向槽，四个导向槽在固定套筒侧壁圆周上均匀分布，十字连杆设置在固定套筒内，十字连杆的四个端部伸出导向槽设置，十字连杆能够沿导向槽上下移动，升降螺母穿过十字连杆的中心设置并与十字连杆固定连接；套筒端盖固定在固定套筒的底部，包括封盖部分和手指支架部分，其中封盖部分与固定套筒的底面形状相同，四个手指支架部分位于封盖部分侧面的四个方向上，并且分别与十字连杆的四个端部位置对应；

步进电机的动力输出轴通过联轴节与谐波减速器的输入端连接，谐波减速器的输出轴与丝杆连接，丝杆与升降螺母配合活动连接，构成丝杆螺母运动副；

四个手指分别与十字连杆的四个端部连接，所述的手指包括指尖、限位连杆、移动连杆、斜撑架；限位连杆包括第一限位杆和第二限位杆，第一限位杆的一端与套筒端盖的手指支架部分通过铰链活动连接，第一限位杆的另一端与第二限位杆的一端通过限位杆铰链活动连接，第二限位杆的另一端与指尖的端部通过铰链活动连接；移动连杆包括第一移动杆和第二移动杆，第一移动杆为L形，拐点处与套筒端盖的手指支架部分通过铰链活动连接，第一移动杆的一端与牵引杆的一端通过铰链活动连接，牵引杆的另一端与调节杆的一端通过铰链活动连接，调节杆的另一端穿过十字连杆的端部设置，调节杆上设置有调节螺母；第二移动杆包括移动部分和延伸部分，移动部分的端部与指尖的端部通过铰链活动连接，移动部分与延伸部分的过渡处与第一移动杆的另一端通过移动杆铰链活动连接，移动杆铰链的销轴和限位杆铰链的销轴设置在过渡杆件上；第二移动杆的延伸部分为弧形，弧形延伸部分内开有弧形滑槽，斜撑架上的固定销与弧形滑槽位置配合，弧形延伸部分利用弧形滑槽沿固定销移动；

弧形滑槽的曲线满足下面的极座标方程：

$$\rho = \sqrt{(l_1 \cos \varphi - b)^2 + (a - l_1 \sin \varphi)^2}$$

$$\theta = \operatorname{arctg}\left(\frac{l_1 \cos \varphi - b}{a - l_1 \sin \varphi}\right) - \varphi - \arcsin\left(\frac{w - l_1 \sin \varphi}{l_2}\right)$$

$\rho$  极径,  $\theta$  极角;

式中,  $l_1$  是第一移动杆拐点至第二移动杆连接铰链间的长度;

$l_2$  是第二移动杆移动部分的长度;

$\varphi$  是第一移动杆转角;

$a$  是斜撑架上固定销与第一移动杆 L 形拐点处铰链的水平距离;

$b$  是斜撑架上固定销与第一移动杆 L 形拐点处铰链的垂直距离;

$w$  是指尖偏离手爪初始位置的距离。

## 平动匀速夹紧机械手爪

### 技术领域

本发明属于机械设计与制造领域，涉及机器人手爪结构设计，具体涉及机械手爪传动机构的设计，主要应用于机器人末端操作。

### 背景技术

机器人手爪作为机器人与环境相互作用的最后环节和执行部件，对机器人完成作业任务、提高作业水平有非常重要影响，有时甚至起到关键作用。抓取操作目标对象的灵活性、精确性和适应性是衡量机械手爪设计水平的一个重要标志。通用工业机器人的末端执行机构多为形状简单的夹钳式、托持式、吸附式等型式，其动力驱动的方式有气压驱动、电机驱动、电磁驱动、液压驱动等。传统机械手爪结构和抓握目标物的工作原理决定了其抓握功能有限。随着机器人应用范围的日益扩大，机器人正向着智能化、拟人化方向发展，各种特种用途的机械手应运而生，其中，尤以手部具有多指多关节结构的拟人化结构手爪引人注目。相对于夹钳式结构，多指多关节的机械手能更加适应不同形状物体的抓取，其抓握也更加稳定，但也由于手爪自由度数增加，引发控制复杂度大大增加、手爪外形尺寸庞大等问题。

多指多关节机械手爪的研究正越来越受到国内外相关专家、学者的重视，世界上已经研制出的多指多关节机械手爪不胜枚举。Utah/MIT 手是较有代表性的一种，它是一种四指结构的机械手，具有 16 个自由度，驱动系统是由 32 个独立的聚合绳索和气压驱动器组成的腱、滑轮传动系统。Kenneth J. Salisbury 博士研制的 Stanford/JPL 手具有 3 个手指，每个手指具有 3 个自由度和 4 根控制线，整个手由 12 个直流伺服电机组成的驱动块驱动。近年来，国内北京航空航天大学(BH-3)、哈尔滨工业大学(HIT/DLR)及华南理工大学的五指形仿人机械手也在多指多关节机械手的研究方面取得了进展。这些多指多关节机械手往往以空间操作应用为背景，每个手指的各个关节都有独立的驱动单元，并配有传感和控制系统。虽然操作灵活，但存在着结构复杂，控制繁琐，制造价格十分昂贵以及体积和重量均较大等弊端。在一些工业应用中，随着末端执行器体积和重量的增大，将直接限制机器人的工作能力。所以，根据特殊的应用场合，设计出控制方式简单、结构巧妙、经济适用的机械手爪非常必要。

## 发明内容

本发明的目的就是针对现有技术的不足，提供一种简单实用、功能价格比高的一种单电机驱动的四指十二关节指尖平动夹紧的机械手爪结构，该机械手爪在电机匀速转动时能够实现指尖平动匀速夹紧。

本发明包括步进电机、固定套筒、十字连杆和四个手指。

固定套筒的侧壁在同一圆周上开有四个导向槽，四个导向槽在固定套筒侧壁圆周上均匀分布，十字连杆设置在固定套筒内，十字连杆的四个端部伸出导向槽设置，十字连杆能够沿导向槽上下移动，升降螺母穿过十字连杆的中心设置并与十字连杆固定连接。套筒端盖固定在固定套筒的底部，包括封盖部分和手指支架部分，其中封盖部分与固定套筒的底面形状相同，四个手指支架部分位于封盖部分侧面的四个方向上，并且分别与十字连杆的四个端部位置对应。

步进电机的动力输出轴通过联轴节与谐波减速器的输入端连接，谐波减速器的输出轴与丝杆连接，丝杆与升降螺母配合活动连接，构成丝杆螺母运动副。

四个手指分别与十字连杆的四个端部连接。手指包括指尖、限位连杆、移动连杆、斜撑架。限位连杆包括第一限位杆和第二限位杆，第一限位杆的一端与套筒端盖的手指支架部分通过铰链活动连接，第一限位杆的另一端与第二限位杆的一端通过限位杆铰链活动连接，第二限位杆的另一端与指尖的端部通过铰链活动连接。移动连杆包括第一移动杆和第二移动杆，第一移动杆为L形，拐点处与套筒端盖的手指支架部分通过铰链活动连接，第一移动杆的一端与牵引杆的一端通过铰链活动连接，牵引杆的另一端与调节杆的一端通过铰链活动连接，调节杆的另一端穿过十字连杆的端部设置，调节杆上设置有调节螺母。第二移动杆包括移动部分和延伸部分，移动部分的端部与指尖的端部通过铰链活动连接，移动部分与延伸部分的过渡处与第一移动杆的另一端通过移动杆铰链活动连接，移动杆铰链的销轴和限位杆铰链的销轴设置在过渡杆件上。第二移动杆的延伸部分为弧形，弧形延伸部分内开有弧形滑槽，斜撑架上的固定销与弧形滑槽位置配合，弧形延伸部分利用弧形滑槽沿固定销移动。

弧形滑槽的曲线满足下面的极坐标方程：

$$\rho = \sqrt{(l_1 \cos \varphi - b)^2 + (a - l_1 \sin \varphi)^2}$$

$$\theta = \operatorname{arctg} \left( \frac{l_1 \cos \varphi - b}{a - l_1 \sin \varphi} \right) - \varphi - \arcsin \left( \frac{w - l_1 \sin \varphi}{l_2} \right)$$

$\rho$  极径,  $\theta$  极角;

式中,  $l_1$  是第一移动杆拐点至第二移动杆连接铰链间的长度;

$l_2$  是第二移动杆移动部分的长度;

$\varphi$  是第一移动杆转角;

$a$  是斜撑架上固定销与第一移动杆 L 形拐点处铰链的水平距离;

$b$  是斜撑架上固定销与第一移动杆 L 形拐点处铰链的垂直距离;

$w$  是指尖偏离手爪初始位置(中位)的距离。

本发明的机械手爪当步进电机正、反转动时, 带动丝杆旋转, 由丝杆螺母传动副将运动传递至升降螺母, 带动十字连杆沿固定套筒的四个导向槽上、下移动, 十字连杆通过调节杆带动四根牵引杆跟随十字连杆上、下运动, 四根牵引杆各牵引四个手指。牵引杆带动第一移动杆绕其设置在手指支架上的活动铰链回转, 第一移动杆另一端推动第二移动杆弧形延伸部分沿斜撑架上的固定销滑移, 致使第二移动杆作同方向的运动, 由此带动与第二移动杆相连的指尖完成夹紧和张开的动作。

第一移动杆和第一限位杆之间, 分别与设置在手指支架上的活动铰链、过渡杆件上的移动杆铰链销轴和限位杆铰链销轴构成平行四边形连杆机构; 第二移动杆和第二限位杆之间, 分别与设置在指尖上的活动铰链、过渡杆件上的移动杆铰链销轴和限位杆铰链销轴构成平行四边形连杆机构, 起到传递至指尖的运动是平动的作用。斜撑架上固定销支点在第二移动杆弧形滑槽中的位置随手爪张合运动而变化, 工作时第二移动杆受力点与支点间的力臂是变化的, 所以, 弧形滑槽曲线的参数确定了力臂的这种变化, 选择适当的曲线参数能实现步进电机匀速转动时, 指尖的张合也是匀速的。

本发明采用单电机驱动, 手爪的四个手指沿中心轴对称, 当驱动电机匀速转动时, 手爪指尖的夹紧或张开速度是均匀的, 所做运动是平动, 有利于指尖与目标物体的接触与手爪对目标物体的整体抓握。

#### 附图说明

图 1 为本发明的结构示意图;

图 2 (a) 为手爪处于张开极限位置时的手指杆件连接关系简图;

图 2 (b) 为手爪处于中位位置时的手指杆件连接关系简图;

图 2 (c) 为手爪处于闭合极限位置时的手指杆件连接关系简图;

图 3 (a) 为手爪处于中位位置时杆件的运动分析示意图;

图 3 (b) 为手爪处于闭合极限位置时杆件的运动分析示意图。

#### 具体实施方式

如图 1 所示, 平动匀速夹紧机械手爪包括步进电机 1、固定套筒 8、十

字连杆 6 和四个手指。

固定套筒 8 的侧壁在同一圆周上开有四个导向槽 7，四个导向槽 7 在固定套筒 8 侧壁圆周上均匀分布，十字连杆 6 设置在固定套筒内，十字连杆 6 的四个端部伸出导向槽 7 设置，十字连杆 6 能够沿导向槽 7 上下移动，升降螺母 5 穿过十字连杆 6 的中心设置，并与十字连杆 6 固定连接。套筒端盖固定在固定套筒 8 的底部，包括封盖部分 9 和手指支架部分 10，其中封盖部分 9 与固定套筒 8 的底面形状相同，四个手指支架部分 10 位于封盖部分 9 侧面的四个方向上，并且分别与十字连杆 6 的四个端部位置对应。

步进电机 1 的动力输出轴通过联轴节 2 与谐波减速器 3 的输入端连接，谐波减速器 3 的输出轴与丝杆 4 连接，丝杆 4 与升降螺母 5 配合活动连接，构成丝杆螺母运动副。

四个手指分别与十字连杆 6 的四个端部连接。手指包括指尖 15、限位连杆、移动连杆、斜撑架 21。限位连杆包括第一限位杆 11 和第二限位杆 14，第一限位杆 11 的一端与套筒端盖的手指支架部分 10 通过铰链活动连接，第一限位杆 11 的另一端与第二限位杆 14 的一端通过限位杆铰链活动连接，第二限位杆 14 的另一端与指尖 15 的端部通过铰链活动连接。移动连杆包括第一移动杆 22 和第二移动杆，第一移动杆 22 为 L 形，拐点处与套筒端盖的手指支架部分 10 通过铰链活动连接，第一移动杆 22 的一端与牵引杆 23 的一端通过铰链活动连接，牵引杆 23 的另一端与调节杆 24 的一端通过铰链活动连接，调节杆 24 的另一端穿过十字连杆 6 的端部设置，调节杆 24 上设置有调节螺母 25。第二移动杆包括移动部分 16 和延伸部分 19，移动部分 16 的端部与指尖 15 的端部通过铰链活动连接，移动部分 16 与延伸部分 19 的过渡处与第一移动杆 22 的另一端通过移动杆铰链活动连接，移动杆铰链的销轴 12 和限位杆铰链的销轴 13 设置在过渡杆件 17 上。第二移动杆的延伸部分 19 为弧形，弧形延伸部分内开有弧形滑槽 18，斜撑架 21 上的固定销 20 与弧形滑槽 18 位置配合，弧形延伸部分利用弧形滑槽 18 沿固定销 20 移动。

该机械手爪运动学分析如下：

图 2 为机械手爪的三个运动位置，其中图 2 (a) 为手爪处于张开极限位置时的手指杆件连接关系简图，图 2 (b) 为手爪处于中位位置时的手指杆件连接关系简图，图 2 (c) 为手爪处于闭合极限位置时的手指杆件连接关系简图。

图 3 (a) 为手爪处于中位位置时杆件的运动分析示意图，图 3 (b) 为手爪处于闭合极限位置时杆件的运动分析示意图。

为了分析从步进电机到指尖的运动传递关系，设步进电机转速为  $n$  rpm，谐波减速器的速比为  $i$ ，丝杆螺距  $\delta$  mm，则，十字连杆的移动速度为

$$v_1 = \frac{n}{60 \times i} \cdot \delta \quad (1)$$

式中， $v_1$  单位是 mm/s。

如图 3 所示，十字连杆带动牵引杆运动，使第一移动杆的 A 点绕手指支架上的活动铰链 B 转动。如果初始状态 A、B 在同一水平上，即第一移动杆的水平初始夹角  $\varphi_0 = 0$ ，由于牵引杆的摆动幅度很小，忽略牵引杆摆动的影响，那么，A 点运动的垂直向距离与十字连杆的移动距离相等。

$t$  时刻 A 点上升的高度  $h$  为

$$h = v_1 t \quad (2)$$

第一移动杆的角速度  $\omega_1$  为

$$\omega_1 \approx \arcsin\left(\frac{v_1 t}{l_0}\right) / t \quad (3)$$

式中， $l_0$  是第一移动杆上 A、B 间的长度，单位 mm， $\omega_1$  的单位是 rad/s。

$t$  时刻第一移动杆 AB 的水平夹角

$$\varphi = \frac{360}{2\pi} \cdot \omega_1 t \quad (4)$$

第一移动杆上 B、C 间的长度是  $l_1$ ，且 CB 与 BA 固接并垂直。第二移动杆的移动部分 CD 的长度是  $l_2$ ，延伸段弧形滑槽部分 CE，弧形滑槽上的固定销支点 O 相对于 B 点的坐标是  $(a, b)$ 。 $x'Cy'$  是固定在第二移动杆上的座标，那么，弧形滑槽上的固定销支点 O 离  $x'Cy'$  座标原点 C 的极径  $\rho$  是

$$\rho = \sqrt{(l_1 \cos \varphi - b)^2 + (a - l_1 \sin \varphi)^2} \quad (5)$$

如果被控机械手爪指尖的水平方向夹紧速度是  $v_2$  mm/s， $t$  时刻在水平方向移动了  $w = v_2 t$  距离，则，第一移动杆和第二移动杆的相对转角  $\theta'$  为

$$\theta' = \arcsin\left(\frac{w - l_1 \sin \varphi}{l_2}\right) \quad (6)$$

如图 3 (b) 所示, CO 与 CX' 的夹角  $\theta$  是 CE 曲线上 O 点的极角, 是 CO 的水平夹角与第一移动杆转过的角度  $\varphi$  和第二移动杆相对第一移动杆的转角  $\theta'$  之差, 即

$$\theta = \operatorname{arctg}\left(\frac{l_1 \cos \varphi - b}{a - l_1 \sin \varphi}\right) - \varphi - \arcsin\left(\frac{w - l_1 \sin \varphi}{l_2}\right) \quad (7)$$

式 (5)、式 (7) 构成了弧形滑槽曲线的极座标方程。

为保证多指多关节的平动匀速夹紧机械手爪精度, 在制作过程中, 对制造和装配工艺有严格的要求。首先, 各手指的移动杆、限位杆长度, 连杆之间的轴销孔距有严格的精度要求, 否则手爪将被卡死, 为此, 对各手指孔系加工时需要设计专用夹具, 以满足上述要求; 其次, 第二移动杆延伸部分的弧形滑槽(封闭凸轮)及槽宽一定要与斜撑架上的固定销配作, 以保证弧形滑槽与固定销之间有良好的配合与运动精度, 在加工弧形滑槽时可以由第二移动杆上两个活动铰链关节的销轴孔作为定位基准孔, 通过数控加工保证弧形滑槽的一致性及精度, 否则四指合拢时难以保证均匀对称的动作; 最后, 在装配时, 需要调整 4 个斜撑架、十字连杆的轴对称性和调节杆的伸出长度等, 调整好调节杆的伸出长度后应将调节杆两侧的螺母并紧, 调整上述各影响因素可以保证机械手爪四个手指均匀对称。另外, 为减轻机械手爪自身重量, 在确保设计指标的强度和刚度前提下, 对杆件的选材、热处理和结构设计都要进行优化。

以平行四边形机构构成的移动杆和限位杆结构, 在步进电机匀速转动的情况下, 机械手爪指尖夹紧或张开的速度是随手爪开度变化的, 在平行四边形机构成 90° 时速度最大, 大于或小于 90° 时速度减小, 这在实际使用时增加了控制难度, 尤其在一些对手爪夹紧、张开速度有严格要求的场合。按本发明平动匀速夹紧机械手爪的结构, 其最大的优点是, 通过第二移动杆延伸部分弧形滑槽的曲线参数变化, 能补偿机械手爪指尖夹紧速度的非线性, 所以, 弧形滑槽曲线的设计非常关键。

下面以设计实例加以说明。

设手爪的杆件尺寸  $l_0 = 11\text{ mm}$ ,  $l_1 = 40\text{ mm}$ ,  $l_2 = 35\text{ mm}$ , 与弧形滑槽配合的斜撑架上固定销支点 O 相对于 B 点的坐标是,  $a = 19\text{ mm}$ ,  $b = 21\text{ mm}$ , 机械手爪抓取物体的范围确定为 38—150 mm。由于机械手爪是四指对称结构, 所以对于单根手指来说, 离中心轴最小为 19mm, 最大为 75mm, 运动行程为 56mm。设定初始状态为机械手爪的指尖中位位置, 即 A、B 在同一水平上,

且确定指尖运动的 56 (34+22) mm 行程中, 34mm 在夹紧一侧, 22mm 在张开一侧, 那么指尖运动行程  $w$  在 [-22, 34] 内变化。考察机械手爪夹紧时单边的运动状况, 不妨设定 A 点的高度  $h$  在 0~3.4mm 变化, 即  $\varphi$  在 0~ $\arcsin(3.4/11) \approx 18^\circ$  之间变化, 当  $w$  在 0~34mm 变化时, 将  $h$ 、 $w$  等分并按算式 (5)、(7) 得表 1 所示机械手爪运动各点与对应的弧形滑槽曲线极坐标参数。进一步细分参数间隔, 并延伸至张开区间, 便可得细分的  $\rho-\theta$  参数表。机械手爪张开时的参数求法与之类似。

表 1 机械手爪运动各点与相应弧形滑槽曲线极坐标参数

序号	$h / \text{mm}$	$\varphi / {}^\circ$	$w / \text{mm}$	$\rho / \text{mm}$	$\theta / {}^\circ$
1	0.000	0.000	0.000	26.870	45.000
2	0.500	2.605	5.000	25.586	39.994
3	1.000	5.216	10.000	24.306	35.104
4	1.500	7.837	15.000	23.031	30.311
5	2.000	10.476	20.000	21.763	25.595
6	2.500	13.137	25.000	20.506	20.932
7	3.000	15.827	30.000	19.265	16.284
8	3.400	18.004	34.000	18.288	12.535

根据  $\rho-\theta$  参数表, 结合槽宽要求, 可在加工中心完成弧形滑槽的加工。机械手爪运动范围要求以外的弧形滑槽参数, 可以根据结构要求进行过渡性设计, 以使外形更加美观, 具有流线型。

当步进电机工作转速  $n = 1000 \text{ rpm}$ , 谐波齿轮减速器减速比  $i = 80:1$ , 丝杆螺母副的螺距  $\delta = 1.25 \text{ mm}$  时, 由式 (1) 知, A 点的上升速度  $v_1 = 0.260 \text{ mm/s}$ , 由表 1 知,  $h$ 、 $w$  的等分及比例关系就是 A 点上升速度与 D 点夹紧速度间的关系, 表中数据是  $v_1:v_2 = 1:10$ , 所以, 指尖的夹紧速度是  $v_2 = 2.6 \text{ mm/s}$ 。要提高夹紧或张开的速度, 可以通过改变步进电机转速、谐波齿轮减速器速比及丝杆螺母副的螺距等参数实现。

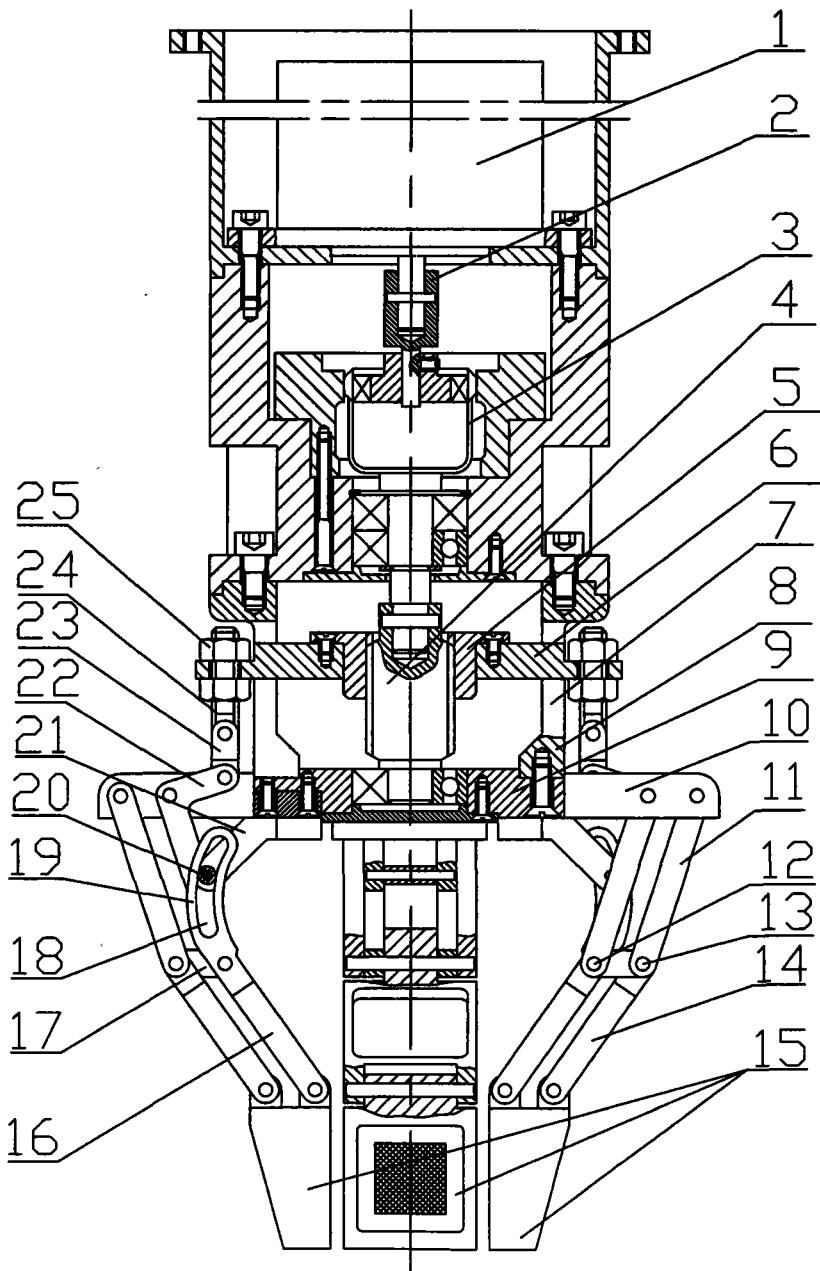


图 1

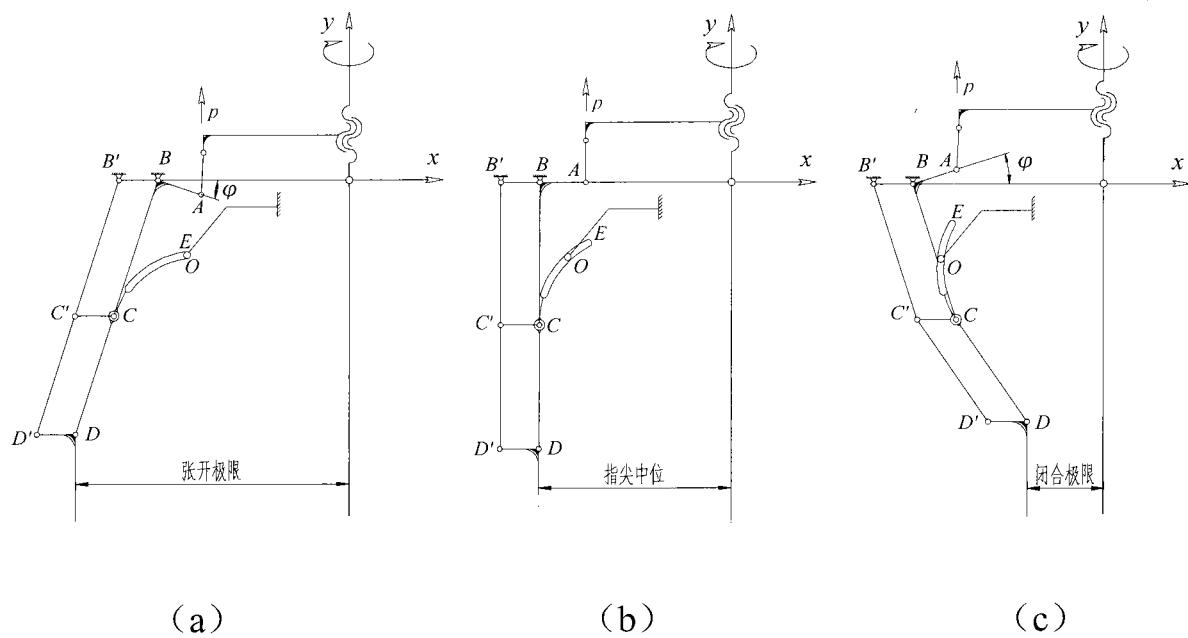


图 2

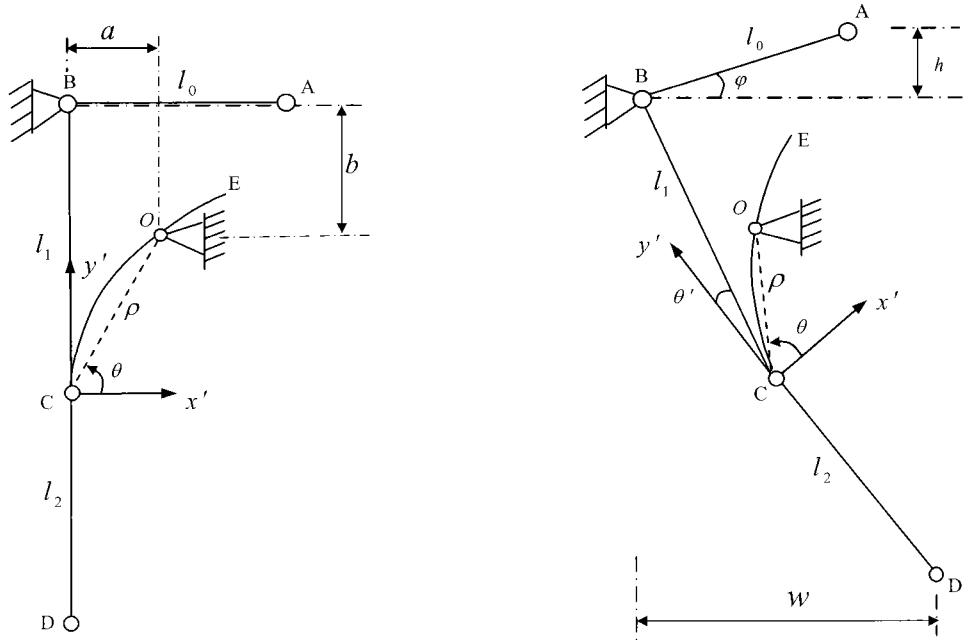


图 3