



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105563309 A

(43) 申请公布日 2016. 05. 11

(21) 申请号 201510764987. 9

(22) 申请日 2015. 11. 11

(71) 申请人 华中科技大学

地址 430074 湖北省武汉市洪山区珞喻路
1037 号

(72) 发明人 杨文玉 赵源 陈琪琳

(74) 专利代理机构 华中科技大学专利中心
42201

代理人 曹葆青

(51) Int. Cl.

B24B 41/00(2006. 01)

B24B 51/00(2006. 01)

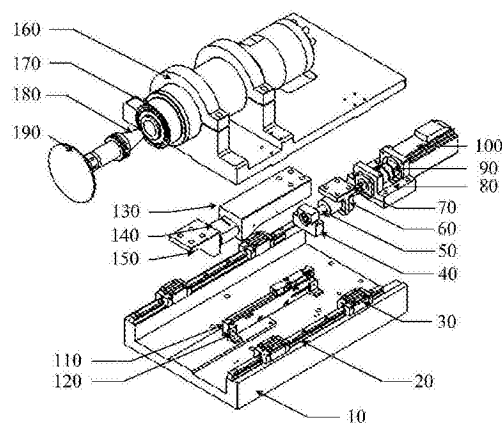
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

一种用于可调距螺旋桨机器人磨削的主动顺应末端执行器及其控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种用于可调距螺旋桨机器人磨削的主动顺应末端执行器及控制方法,主动顺应末端执行器包括:磨具, BT30 刀柄, 磨削电主轴, 用于固定磨削电主轴的支架, 用于检测法向磨削力的力传感器, 用于安装力传感器的支座, 用于检测末端位置偏差的位移传感器, 用于固定位移传感器的支座, 提供轴向移动自由度和传递扭矩的滚珠丝杠, 用于支撑和固定滚珠丝杠的轴承座, 滚珠丝杠螺母, 滚珠丝杠螺母支座, 交流伺服电机, 用于连接伺服电机和滚珠丝杠的法兰支座与联轴器, 直线导轨和滑块, 底部支撑板, 还包括用于驱动伺服电机的控制系统。本发明具有结构简单、装配方便、控制精度高、响应速度快的优点, 同时可以自动更换磨具。



1. 一种用于可调距螺旋桨机器人磨削的主动顺应末端执行器,其特征在于,该末端执行器包括执行磨具组件、控制组件以及底部支撑组件,其中控制组件容纳于执行磨具组件与底部支撑组件组成的空间内;

其中执行磨具组件包括用于承担执行刀具的磨削电主轴支架(160),磨削电主轴(170)以及执行磨具(180,190),所述磨削电主轴支架(160)设置有用套设所述磨削电主轴(170)的卡箍,其中所述执行磨具(180,190)以所述磨削电主轴(170)为轴执行动作;

其中控制组件包括动力部与传感部,其中动力部包括如下部分:设置于所述底部支撑组件中的底部支撑板(10)上的电机法兰支座(80),滚珠丝杠(50)左端和右端分别通过轴承座(40)和所述电机法兰支座(80)固定于底部支撑板(10),所述滚珠丝杠(50)通过滚珠丝杠螺母(60)提供所述磨削电主轴(170)轴向移动自由度,交流伺服电机(100),通过联轴器(90)与所述滚珠丝杠(50)相连并且通过所述电机法兰支座(80)固定于所述底部支撑板(10)上,所述动力部还包括与所述交流伺服电机(100)相连的控制器;

所述传感部包括如下部分:位移传感器(110)以及力传感器(140),其中所述位移传感器(110)通过设置于两侧的位移传感器支座(120)与所述底部支撑板(10)相连,活动部分与力传感器右支座(130)相连,所述力传感器(140)的左侧通过力传感器左支座(150)与磨削电主轴支架(160)相连,右侧通过力传感器右支座(130)与设置于所述滚珠丝杠螺母(60)上的滚珠丝杠螺母支座(70)相连,用于检测所述磨具(180,190)所受的法向磨削力;

所述底部支撑组件还包括设置于所述底部支撑板(10)上两侧边沿的直线导轨(20),所述磨削电主轴支架(160)底部通过滑块(30)沿直线导轨(20)滑动。

2. 如权利要求1所述的用于可调距螺旋桨机器人磨削的主动顺应末端执行器,其特征在于,所述力传感器(140)为S型拉压力传感器,实时检测所述磨具(180,190)所受法向磨削力,并且输出与所测磨削力线性相关的模拟电压作为所述控制器输入。

3. 如权利要求1或2所述的用于可调距螺旋桨机器人磨削的主动顺应末端执行器,其特征在于,所述位移传感器(110)为直线光栅,输出与所测位置信息线性相关的信号予所述控制器。

4. 如权利要求3所述的用于可调距螺旋桨机器人磨削的主动顺应末端执行器,其特征在于,所述控制器接收来自所述机器人、所述力传感器(140)以及所述位移传感器(110)的信号,并且通过控制所述交流伺服电机(100)的位置以及伺服刚度来调节所述磨具(180,190)的法向磨削力。

5. 一种实现如权利要求1-4中任意一项所述的用于可调距螺旋桨机器人磨削的主动顺应末端执行器的控制方法,其中机器人具有主控制器,所述末端执行器的控制器为嵌入式微控制器,所述主控制器与所述嵌入式微控制器通过串行总线进行通讯,其特征在于,所述控制方法包括如下步骤:

(1)由所述机器人的主控制器发出信号使所述末端执行器进入输出状态,所述控制器设置所述交流伺服电机(100)回到零位并保持较小的伺服刚度和阻尼;所述末端执行器接近待磨削工件表面的加工规划路径起始点;

(2)执行磨削加工,所述力传感器(140)检测法向磨削力信号,若所述磨削力信号大于或小于阈值,所述控制器相应控制所述交流伺服电机(100)回退或前进使得所述力传感器(140)的输出保持在所述阈值或阈值附近波动,并反馈调整后的信号给所述机器人继续执

行磨削加工。

一种用于可调距螺旋桨机器人磨削的主动顺应末端执行器及其控制方法

技术领域

[0001] 本发明属于机电领域,更具体地,涉及一种用于可调距螺旋桨机器人磨削系统的主动顺应末端执行器及其控制方法。

背景技术

[0002] 随着微电子技术、传感器技术、控制技术和机械制造工艺水平的飞速发展,机器人的应用领域逐步从搬运、焊接领域拓展到磨削、抛光领域。在各种类型的机械臂中,模拟人体手臂而构成的关节型机械臂,具有结构紧凑、所占空间小、运动空间大等优点,是应用最为广泛的机械臂之一。

[0003] 可调距螺旋桨桨叶尺寸大,叶片扭曲,采用定制化生产方式,目前的加工工艺主要是在数控机床精加工之后进行手工磨削和抛光。手工磨削时工人手持电动磨具,分区域对该大尺寸叶片进行磨削和抛光。接触力的恒定控制是保证加工表面质量(表面粗糙度、波纹度等)的主要因素。然而由于人手的控制精度有限,导致叶片曲面加工质量一致性差,且存在加工效率低、劳动强度大、环境恶劣等问题。

[0004] 在采用多自由度关节机械臂代替操作工人进行复杂自由曲面的磨削和抛光时,由于机器人本身非线性、强耦合、末端刚度随位姿变化、重复定位精度难以满足高精度加工的要求等因素,以及工件位置误差、刚度误差等外界干扰因素,机器人控制系统难以同时满足较高的位置精度和接触力精度。同时,机器人末端工具与工件表面接触过程中存在冲击过程,机器人本体频率较低,控制系统响应速度较慢,难以快速抑制接触力震荡,从而造成工件表面形成加工振纹。

发明内容

[0005] 针对现有技术的以上缺陷或改进需求,本发明提供了一种用于可调距螺旋桨机器人磨削的主动控制末端执行器,其目的在于提供结构简单、装配方便、定位精度高、动态响应快,同时可以自动更换磨具的主动顺应末端执行器及其控制方法,由此解决可调距螺旋桨机器人磨削和抛光加工中对于接触力的控制精度要求的技术问题。

[0006] 为实现上述目的,按照本发明的一个方面,提供了一种用于可调距螺旋桨机器人磨削的主动顺应末端执行器,其特征在于,该末端执行器包括执行磨具组件、控制组件以及底部支撑组件,其中控制组件容纳于执行磨具组件与底部支撑组件组成的空间内;

[0007] 其中执行磨具组件包括用于承担执行刀具的磨削电主轴支架,磨削电主轴以及执行磨具,所述磨削电主轴支架设置有用套设所述磨削电主轴的卡箍,其中所述执行磨具以所述磨削电主轴为轴执行动作;

[0008] 其中控制组件包括动力部与传感部,其中动力部包括如下部分:设置于所述底部支撑组件中的底部支撑板上的电机法兰支座,滚珠丝杠左端和右端分别通过轴承座和所述电机法兰支座固定于底部支撑板,所述滚珠丝杠通过滚珠丝杠螺母提供所述磨削电主轴轴

向移动自由度,交流伺服电机,通过联轴器与所述滚珠丝杠相连并且通过所述电机法兰支座固定于所述底部支撑板上,所述动力部还包括与所述交流伺服电机相连的控制器;

[0009] 所述传感部包括如下部分:位移传感器以及力传感器,其中所述位移传感器通过设置于两侧的位移传感器支座与所述底部支撑板相连,活动部分与力传感器右支座相连,所述力传感器的左侧通过力传感器左支座与磨削电主轴支架相连,右侧通过力传感器右支座与设置于所述滚珠丝杠螺母上的滚珠丝杠螺母支座相连,用于检测所述磨具所受的法向磨削力;

[0010] 所述底部支撑组件还包括设置于所述底部支撑板上两侧边沿的直线导轨,所述磨削电主轴支架底部通过滑块沿直线导轨滑动。

[0011] 进一步地,所述力传感器为S型拉压力传感器,实时检测所述磨具所受法向磨削力,并且输出与所测磨削力线性相关的模拟电压作为所述控制器输入。

[0012] 进一步地,所述位移传感器为直线光栅,输出与所测位置信息线性相关的信号于所述控制器。

[0013] 进一步地,所述控制器接收来自所述机器人、所述力传感器以及所述位移传感器的信号,并且通过控制所述交流伺服电机的位置以及伺服刚度来调节所述磨具的法向磨削力。

[0014] 本发明还提出了一种实现用于可调距螺旋桨机器人磨削的主动顺应末端执行器的控制方法,其中机器人具有主控制器,所述末端执行器的控制器为嵌入式微控制器,所述主控制器与所述嵌入式微控制器通过串行总线进行通讯,其特征在于,该方法包括如下步骤:

[0015] (1)由所述机器人发出信号使所述末端执行器进入输出状态,所述控制器设置所述交流伺服电机回到零位并保持较小的伺服刚度和阻尼;所述末端执行器接近待磨削工件表面的加工规划路径起始点;

[0016] (2)执行磨削加工,所述力传感器检测法向磨削力信号,若所述磨削力信号大于或小于阈值,所述控制器相应控制所述交流伺服电机回退或前进使得所述力传感器的输出保持在所述阈值或阈值附近波动,并反馈调整后的信号给所述机器人继续执行磨削加工;

[0017] 总体而言,通过本发明所构思的以上技术方案与现有技术相比,能够取得下列有益效果:

[0018] 按照本发明实现的主动顺应末端执行器可以安装于商用六轴工业机器人末端,商用六轴工业机器人主要采用位置控制,按照本发明实现的主动顺应末端执行器采用独立的驱动控制器进行接触力控制,其控制精度和响应速度高于六轴工业机器人,且具有自动更换磨具的功能,按照本发明实现的主动顺应末端执行器及控制方法尤其可以被很好地用于可调距螺旋桨 桨叶等复杂自由曲面的机器人磨削系统中。

[0019] 总而言之,本发明实现的主动顺应末端执行器结构简单、装配方便、控制精度高,在不影响六轴工业机器人机械臂运动控制系统的条件下实现大型复杂自由曲面机器人磨削和抛光加工中的接触力控制,有望在实际中得到广泛的应用。

附图说明

[0020] 图1是按照本发明实现的一种用于可调距螺旋桨机器人磨削的主动顺应末端执行

器的三维结构爆炸图；

[0021] 图2是按照本发明实现的一种用于可调距螺旋桨机器人磨削的主动顺应末端执行器的整体结构三维图；

[0022] 图3是按照本发明实现的主动顺应末端执行器中的接触力控制方法的控制框图；

[0023] 图4是按照本发明图1中的末端执行器力传感器的安装结构分解图；

[0024] 图5是按照本发明图1中实现的末端执行器位移传感器及伺服电机安装结构示意图；

[0025] 图6是按照本发明图1中实现的末端执行器磨削电主轴支架结构示意图；

[0026] 图7是按照本发明图1中实现的末端执行器底部支撑板结构示意图；

[0027] 图8是按照本发明图1中实现的末端执行器安装于机器人末端的示意图。

具体实施方式

[0028] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。此外，下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

[0029] 按照本发明实现的末端执行器，并没有采用多自由度关节机械臂，而是设计出了一种可以装设于商用六轴工业机器人末端的执行器，并且在此执行器中设置了独立的控制器来进行控制，总之，该末端执行器包括执行磨具组件、控制组件以及底部支撑组件，其中控制组件容纳于执行磨具组件与底部支撑组件组成的空间内；

[0030] 其中执行磨具组件包括用于承担执行刀具的磨削电主轴支架160，磨削电主轴170以及执行磨具，磨削电主轴支架160设置有用套设所述磨削电主轴170的卡箍，其中执行磨具以磨削电主轴170为轴执行动作；

[0031] 其中控制组件包括动力部与传感部，其中动力部包括如下部分：设置于底部支撑组件中的底部支撑板10上的电机法兰支座80，滚珠丝杠50左端和右端分别通过轴承座40和电机法兰支座80固定于底部支撑板10，滚珠丝杠50通过滚珠丝杠螺母60提供磨削电主轴170轴向移动自由度，交流伺服电机100通过联轴器90与滚珠丝杠50相连并且通过电机法兰支座80固定于底部支撑板10上，动力部还包括与交流伺服电机100相连的控制器；

[0032] 传感部包括如下部分：位移传感器110以及力传感器140，其中位移传感器110通过设置于两侧的位移传感器支座12与底部支撑板10相连，活动部分与力传感器右支座130相连，力传感器140的左侧通过力传感器左支座150与磨削电主轴支架160相连，右侧通过力传感器右支座130与设置于滚珠丝杠螺母60上的滚珠丝杠螺母支座70相连，用于检测执行磨具所受的法向磨削力；

[0033] 底部支撑组件还包括设置于所述底部支撑板10上两侧边沿的直线导轨20，磨削电主轴支架160底部通过滑块30沿直线导轨20滑动。

[0034] 实施例

[0035] 如图1、2所示，为按照本发明实现的末端执行器的结构示意图，其中 该末端执行器包括：底部支撑板10、直线导轨20、滑块30、轴承座40、滚珠丝杠50、滚珠丝杠螺母60、滚珠丝杠螺母支座70、电机法兰组件80、弹性联轴器90、伺服电机100、位移传感器110、位移传感

器支座120、力传感器右支座130、力传感器140、力传感器左支座150、磨削电主轴支架160、磨削电主轴170、BT30刀柄180、磨具190等构成的末端执行器,以及由驱动器2、控制器3等构成的末端执行器控制系统。主动顺应末端执行器为单自由度机构,主要通过力传感器140检测磨削电主轴170与工件接触时的法向磨削力以及位移传感器110检测磨削电主轴170的位置变化,通过调节伺服电机100的位置和伺服刚度保持接触力恒定或在设定值附近小范围波动。

[0036] 如图3所示,从末端执行器控制系统的控制框图可以看出,末端执行器控制器接受力传感器和位移传感器的模拟电压信号作为输入,通过设计好的控制算法处理输出伺服电机控制信号,驱动器驱动伺服电机精确调节磨削电主轴位置 p 。整个控制系统的最终目的是使磨具与工件之间的法向磨削力 f 保持在设定值或在设定值附近小范围1%波动。

[0037] 如图1、2和4所示,力传感器140两端分别固结在力传感器右支座130和力传感器左支座150上,此时测得的接触力为磨削电主轴与工件接触时的法向磨削力。力传感器右支座130和力传感器左支座150具有两条肋板,具有较高的刚度。滚珠丝杠螺母支座70置于力传感器右支座130的矩形槽内,可以保证较高的直线度。

[0038] 如图1、2和5所示,轴承座40与电机法兰支座80固定于底部支撑板10上,其中台阶面可以保证两者的同轴度。滚珠丝杠螺母60通过滚珠丝杠螺母支座70与力传感器右支座130相连,位移传感器110紧靠台阶面安装,位移传感器滑动部分也固结在力传感器右支座130上,从而保证位移传感器滑动部分与滚珠丝杠螺母60在移动时具有较高的平行度。

[0039] 如图1、2和6所示,磨削电主轴支架160底部设计有凹槽161和凸台162,凹槽161作为定位特征,便于安装力传感器右支座130和力传感器左支座150,并保证良好的直线度;四个凸台162对称分布,加工时平面度较高,从而保证滑块30沿直线导轨20运动时平稳无卡顿。

[0040] 如图1、2和7所示,底部支撑板设计有定位法兰11,并通过六个均匀分布的螺纹孔12固定于机器人末端,可实现高精度定位,方便拆卸。

[0041] 如图1、2和图8所示,主动顺应末端执行器通过底部支撑板10安装于机器人末端,安装方式选择悬挂法,其中机器人末端法兰200,六维力/力矩传感器210,六维力/力矩传感器连接法兰220,快换工具230,快换工具连接法兰240不属于本发明主动顺应末端执行器的结构设计。

[0042] 下面将参照图1、4、5和图8来说明主动顺应末端执行器的安装过程。

[0043] 安装时分为三个模块。首先按照图5所示,将轴承座40、滚珠丝杠50、滚珠丝杠螺母60、滚珠丝杠螺母支座70、电机法兰组件80、弹性联轴器90、伺服电机100等电机驱动部分以及位移传感器110、位移传感器支座120固定于底部支撑板10,将直线导轨20紧靠底部支撑板10台阶面安装,并将滑块置于直线导轨上,并保证良好润滑,从而组成模块1;其次按照图4所示,将力传感器140分别与力传感器右支座130和力传感器左支座150相连,然后将力传感器左支座150安装到磨削电主轴支架160上组成模块2,其中凹槽161作为定位特征保证其与两边导轨的平行度;再次将模块2置于模块1上,通过螺纹孔连接力传感器右支座130与滚珠丝杠螺母支座70,以及磨削电主轴支架160与四个滑块30;最后将磨削电主轴170安装于磨削电主轴支架160并通过螺栓夹紧,将磨具190的刀轴安装于BT30刀柄180中,BT30刀柄180通过磨削电主轴170内部机构锁紧,从而完成末端执行器的装配过程。如图8所示,通过

底部支撑板10的定位法兰11与螺纹孔12将末端执行器安装到机器人末端,安装方式选择悬挂法,这种方式机器人具有较好的可达性和可操作性,适用于可调距螺旋桨等大型曲面的磨削加工。

[0044] 其中,上述力传感器140优选为S型拉压力传感器,实时检测磨具190所受法向磨削力,输出与所测磨削力线性相关的模拟电压作为末端执行器的控制器输入。

[0045] 位移传感器110优选为直线光栅,输出与位置偏差线性相关的上升沿信号数量。

[0046] 利用上述主动顺应末端执行器对复杂自由曲面进行机器人磨削的方法包括以下步骤:

[0047] 首先由机器人控制系统发出信号使主动顺应末端执行器进入初始状态,末端执行器控制系统设置驱动电机回到零位并保持较小的伺服刚度和阻尼;机器人驱动末端执行器接近工件表面规划路径起始点,力传感器检测法向磨削力信号,如果信号快速上升并超过设定值,控制系统控制伺服电机回退使得力传感器的输出保持在设定值或在设定值附近小范围波动,并通知机器人控制器沿规划轨迹运动;如果接收到机器人控制系统接近完毕信号,力传感器没有检测到接触力信号或者接触力信号小于设定值,则控制系统控制伺服电机前进使得力传感器的输出保持在设定值或在设定值附近小范围波动,并通知机器人控制器沿规划轨迹运动;由于螺旋桨叶片边缘处刚度较小,而叶片中间部位刚度较大,通过位移传感器和力传感器的反馈数据可以得到机器人末端执行器与叶片接触状态下的综合刚度,从而可以更有效的进行接触力控制;当机器人末端执行器与叶片脱离接触时,位移传感器检测滚珠丝杠螺母60的位置,以免其超出滚珠丝杠行程。同时,每次启动前位移传感器都要回到零点,以保证机器人的变换矩阵不变。末端执行器接触力控制和机器人的位置控制是独立的,机器人控制器主要控制机器人本体的运动,完成加工过程中的轨迹规划任务;末端执行器的控制器主要是采集传感器数据,同时快速动态调节伺服电机的伺服刚度和位置,以保持接触力恒定或在设定值附近小范围波动,该小范围的容纳范围在1%,两者通过串行总线通讯,耦合度低,因此便于实施。

[0048] 本领域的技术人员容易理解,以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

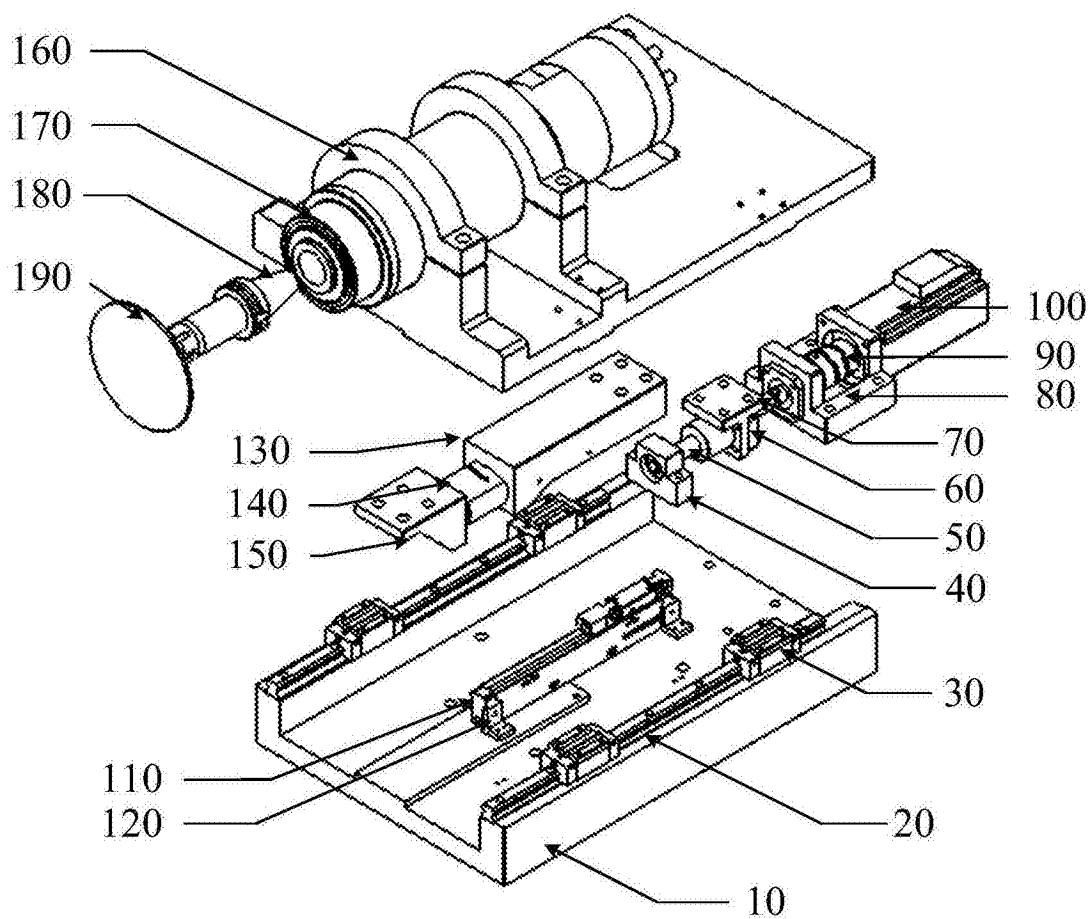


图1

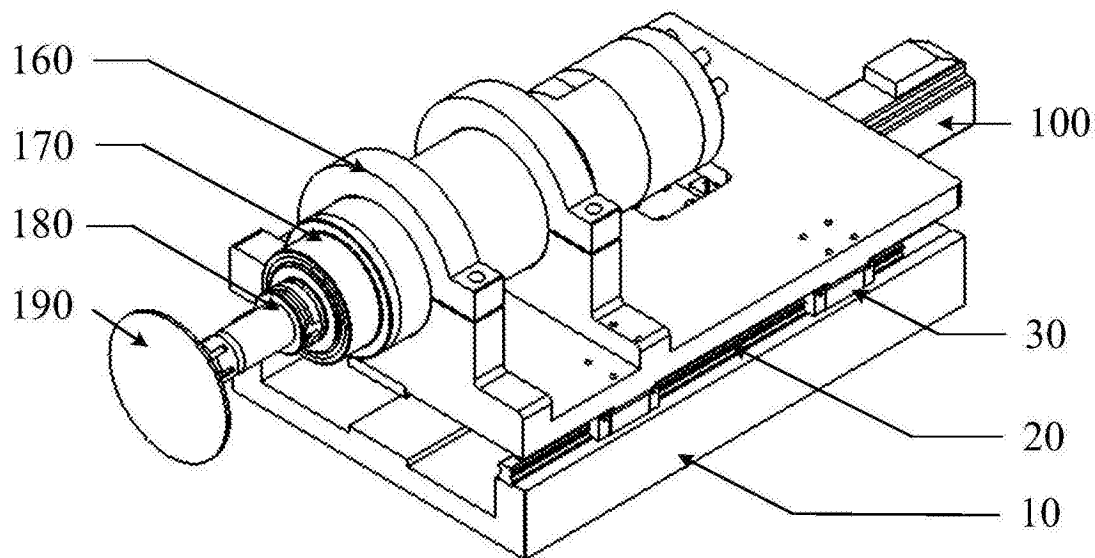


图2

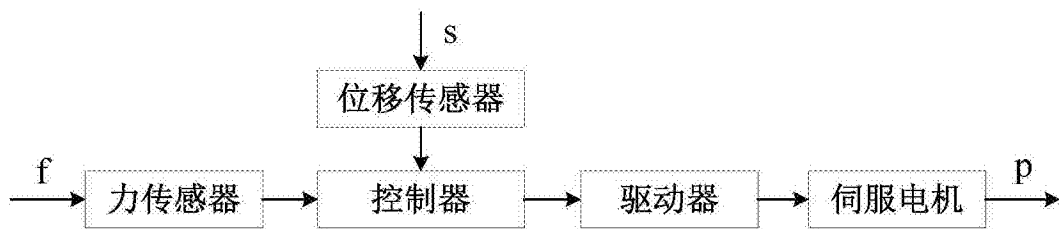


图3

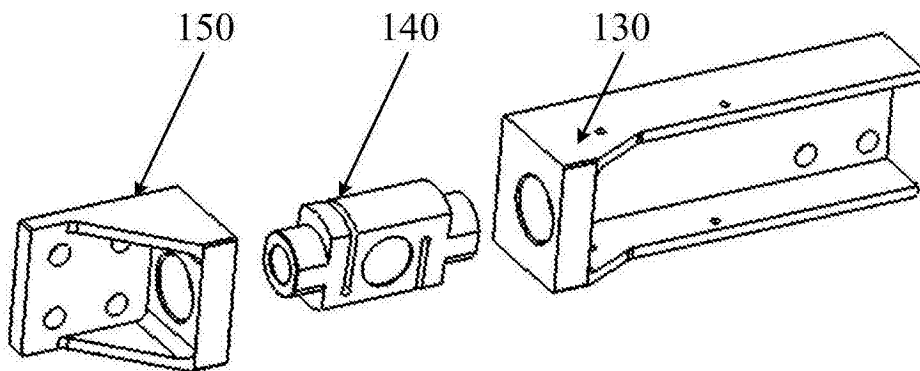


图4

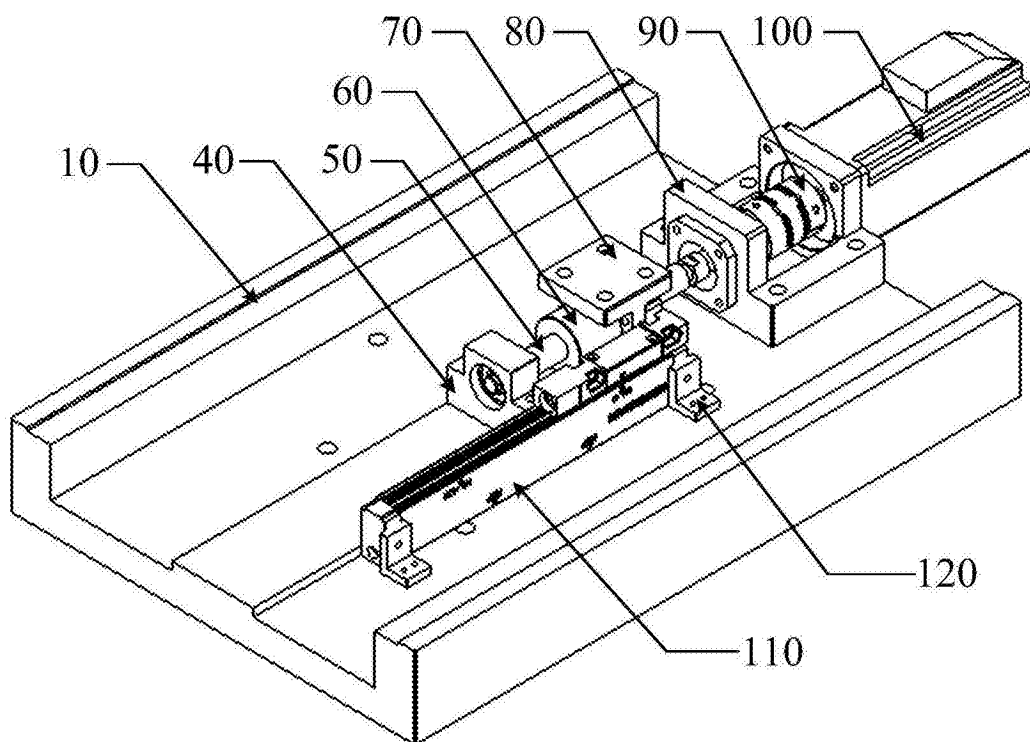


图5

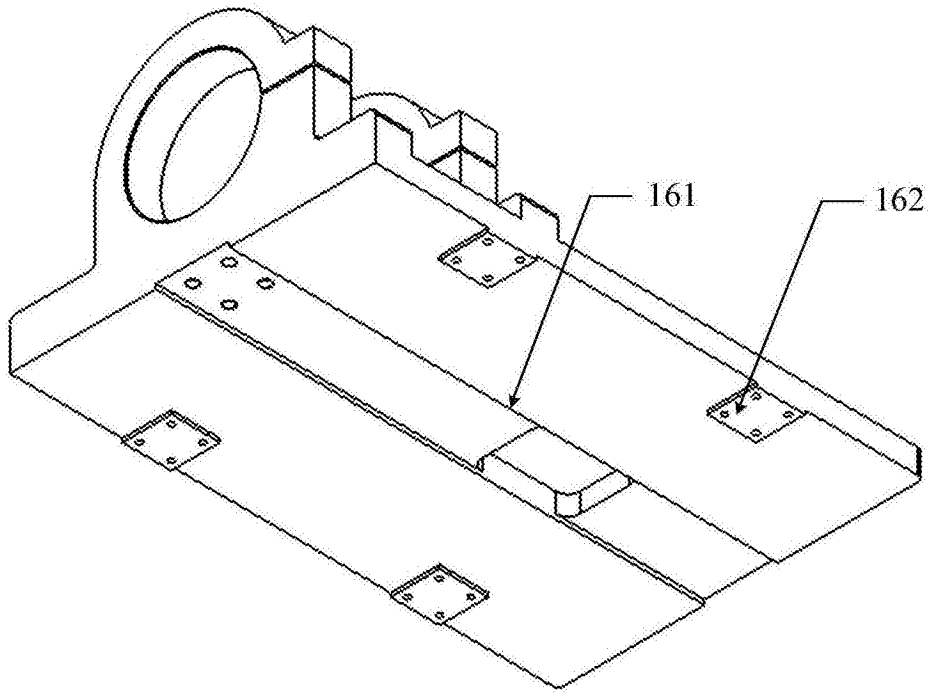


图6

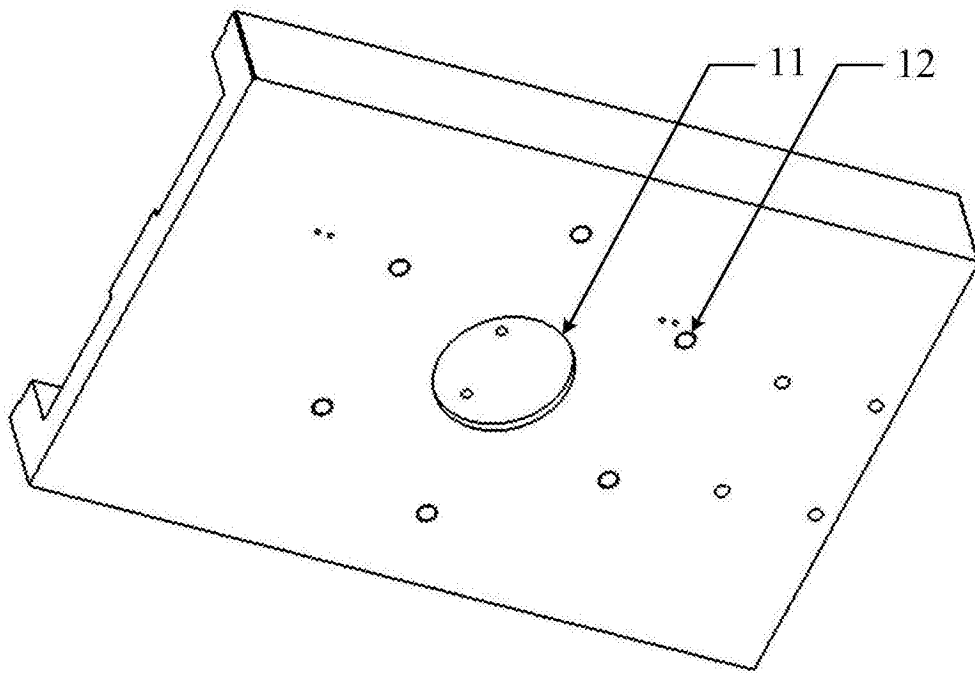


图7

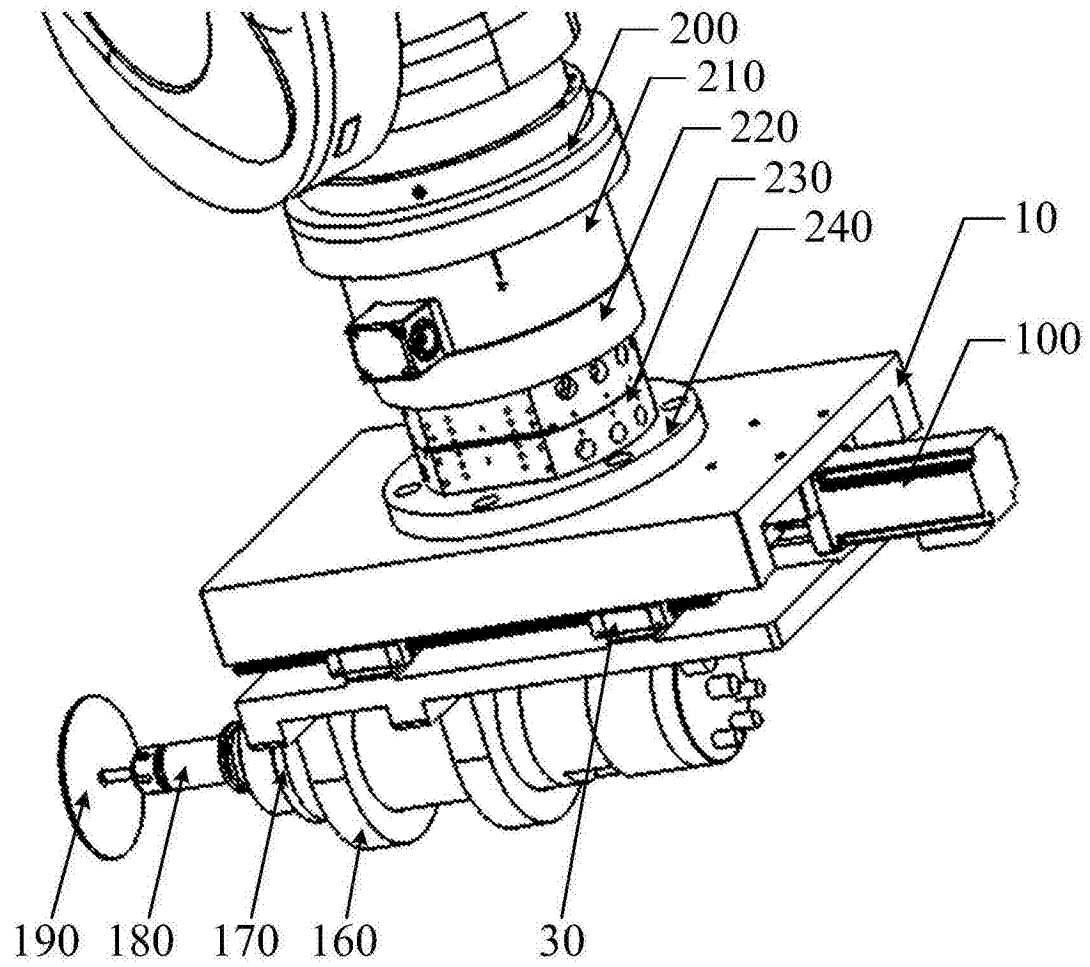


图8