(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109079552 B
(45)授权公告日 2020.06.30

(21)申请号 201810931177.1
(22)申请日 2018.08.15
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109079552 A
(43)申请公布日 2018.12.25
(73)专利权人 广东工业大学
地址 510006 广东省广州市越秀区东风东路729号
(72)发明人 王瑞洲
(74)专利代理机构 广州粤高专利商标代理有限公司 44102
代理人 林丽明
(51)Int.Cl.
B23Q 5/28(2006.01)

审查员 陈尚书

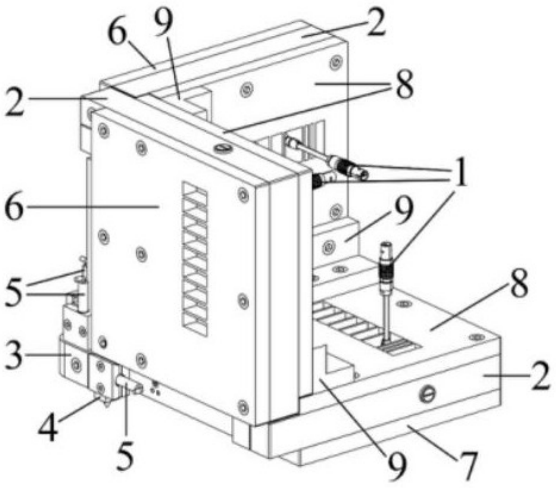
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

(54)发明名称

一种基于柔顺并联机构的三轴刀具伺服装置

(57)摘要

本发明涉及纳米定位、测量与加工装置的技术领域，更具体地，涉及一种基于柔顺并联机构的三轴刀具伺服装置，包括外侧固定基座、内侧固定基座以及通过柔顺铰链和柔性杆件传递运动的单轴纳米定位平台和三轴末端执行器，所述三轴末端执行器上连接有刀具；所述三轴末端执行器设有电容传感器，所述电容传感器连接有控制器；所述控制器的输出端连接有压电陶瓷驱动器，所述压电陶瓷驱动器连接于单轴纳米定位平台的输入端，所述三轴末端执行器连接于三个单轴纳米定位平台的输出端。本发明能够实现三轴末端执行器的纳米级直线位移的输出，同时通过传感器直接测量末端输出位移并反馈控制，具有高刚度、高精度、高带宽、大行程、高速度、高加速度、大承载力和优异的解耦性能。



CN 109079552 B

1.一种基于柔顺并联机构的三轴刀具伺服装置,其特征在于,包括外侧固定基座、内侧固定基座、通过第一运动支链传递运动的单轴纳米定位平台以及通过第二运动支链导向和解耦的三轴末端执行器,三组外侧固定基座、内侧固定基座、单轴纳米定位平台均两两正交,分别位于XOY平面、XOZ平面和YOZ平面;所述单轴纳米定位平台设于外侧固定基座和内侧固定基座之间,所述单轴纳米定位平台与三轴末端执行器连接;所述第一运动支链和第二运动支链连接构成三条用于将压电陶瓷驱动器产生的力/位移/运动传递到三轴末端执行器的运动支链,三条运动支链并联连接且两两正交;所述三轴末端执行器上连接有刀具;所述三轴末端执行器设有用于测量刀具在空间三个正交直线轴X/Y/Z上位移量的电容传感器,所述电容传感器连接有控制器;所述控制器的输出端连接有压电陶瓷驱动器,所述压电陶瓷驱动器连接于单轴纳米定位平台的输入端,所述三轴末端执行器连接于三个单轴纳米定位平台的输出端;

所述第一运动支链包括顺次串联连接的输入端导向柔顺铰链、输入端、一级杠杆输入点转动式柔顺铰链、一级杠杆支点处转动式柔顺铰链、一级杠杆主动杆、一级杠杆输出点转动式柔顺铰链、一级杠杆从动杆以及第一连接端;所述压电陶瓷驱动器的一端通过顶丝与单轴纳米定位平台连接,压电陶瓷驱动器与输入端无间隙连接,所述第一连接端与三轴末端执行器连接;

所述一级杠杆从动杆与第一连接端之间还设有顺次连接的二级杠杆输入点转动式柔顺铰链、二级杠杆支点处转动式柔顺铰链、二级杠杆主动杆、二级杠杆输出点转动式柔顺铰链、二级杠杆从动杆、二级杠杆从动杆输出端导向柔顺铰链;

所述第二运动支链包括第二连接端、连接杆、输入点柔顺铰链以及解耦导向柔顺铰链,所述第二连接端、连接杆、输入点柔顺铰链以及解耦导向柔顺铰链依次串联连接,所述第二连接端与第一连接端连接;

所述外侧固定基座包括位于XOZ平面和YOZ平面的第一外侧固定基座和位于XOY平面的第二外侧固定基座,两组第一外侧固定基座垂直连接,所述第二外侧固定基座相邻两边分别与第一外侧固定基座垂直连接;

所述第一外侧固定基座设有用于与单轴纳米定位平台连接的第一连接孔、用于避免与单轴纳米定位平台所属运动支链上各部件产生运动干涉的第一沉槽、用于散除压电陶瓷驱动器产生热量的第一散热栅以及两组正交分布的电容传感器支架,所述第一散热栅贯穿第一外侧基座设置,所述第一沉槽设于第一外侧固定基座的内侧;所述电容传感器支架一端突出于第一外侧固定基座设置,且与电容传感器连接;

所述第二外侧固定基座设有用于与三轴纳米定位平台连接的第二连接孔、用于避免与单轴纳米定位平台所属运动支链上各部件产生运动干涉的第二沉槽以及用于散除压电陶瓷驱动器产生热量的第二散热栅,所述第二散热栅贯穿第二外侧基座设置,所述第二沉槽设于第二外侧固定基座的内侧。

2.根据权利要求1所述的基于柔顺并联机构的三轴刀具伺服装置,其特征在于,所述顶丝的端面面接触设有滚珠,所述滚珠点接触设有用于测量预紧力的力传感器,所述力传感器与压电陶瓷驱动器之间设有预紧块;所述力传感器与控制器连接。

3.根据权利要求2所述的基于柔顺并联机构的三轴刀具伺服装置,其特征在于,所述预紧块的顶部预留有用于安装测量块、反光镜支架的安装孔。

4.根据权利要求1所述的基于柔顺并联机构的三轴刀具伺服装置,其特征在于,三组内侧固定基座的连接处设有三向加强筋;所述内侧固定基座设有用于散除压电陶瓷驱动器产生热量的第三散热栅,所述压电陶瓷驱动器的驱动电压线和传感器信号线穿过第三散热栅设置。

一种基于柔顺并联机构的三轴刀具伺服装置

技术领域

[0001] 本发明涉及纳米定位、测量与加工装置的技术领域，更具体地，涉及一种基于柔顺并联机构的三轴刀具伺服装置。

背景技术

[0002] 柔顺机构是构成纳米定位、测量与加工装置机构本体的主要手段之一，是微纳操作、微纳测量以及微纳加工/制造等技术的关键部分，在超精密加工、精密工程及微机电系统等相关领域中发挥着重要的作用。

[0003] 柔顺铰链利用结构中薄弱部分易于变形的特点和材料自身的可逆性弹性变形特性来实现所要求的运动副功能，具有免装配、零间隙、无摩擦及免润滑等优点。柔顺机构将机构各运动支链的运动副以柔顺铰链代替，用柔性连杆将各个柔顺铰链连接在一起形成相对应的柔性支链，通过柔顺铰链将运动平台和固定基座相连接从而构成相应的机构。通过刚体替换法设计的柔顺机构可实现所要求的运动与功能，但在一些具有更高精度要求的领域上，柔顺并联机构要求具有更高的刚度且具有更佳的运动特性，目前的柔顺并联结构很难满足高精度、高刚度、低耦合/全解耦、大承载力、高速度/加速度等要求。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于克服现有技术的不足，提供一种基于柔顺并联机构的三轴刀具伺服装置，能够满足纳米定位、测量与加工场合高刚度、大行程、高带宽、高精度、高准确度、低耦合/全解耦、高稳定性和大负载的性能要求。

[0005] 为解决上述技术问题，本发明采用的技术方案是：

[0006] 本发明提供一种基于柔顺并联机构的三轴刀具伺服装置，包括外侧固定基座、内侧固定基座、通过第一运动支链传递运动的单轴纳米定位平台以及通过第二运动支链导向和解耦的三轴末端执行器，三组外侧固定基座、内侧固定基座、单轴纳米定位平台均两两正交，分别位于XOY平面、XOZ平面和YOZ平面；所述单轴纳米定位平台设于外侧固定基座和内侧固定基座之间，所述单轴纳米定位平台与三轴末端执行器连接；所述第一运动支链和第二运动支链连接构成三条用于将压电陶瓷驱动器产生的力/位移/运动传递到三轴末端执行器的运动支链，三条运动支链并联连接且两两正交；所述三轴末端执行器上连接有刀具；所述三轴末端执行器设有用于测量刀具在空间三个正交直线轴X/Y/Z上位移量的电容传感器，所述电容传感器连接有控制器；所述控制器的输出端连接有压电陶瓷驱动器，所述压电陶瓷驱动器连接于单轴纳米定位平台的输入端，所述三轴末端执行器连接于三个单轴纳米定位平台的输出端。

[0007] 本发明的基于柔顺并联机构的三轴刀具伺服装置，三个单轴纳米定位平台并联连接形成三轴刀具伺服装置，采用电容传感器测量末端输出位移，并根据获得的数据，通过外置控制器预设算法，得到三个压电陶瓷驱动器实时驱动电压，通过三条运动支链，实时控制三轴末端执行器在不同直线轴的进给量，带动刀具实现三轴纳米加工。本发明使用三条相

互并联且正交的运动支链，实现三轴末端执行器的纳米级直线位移的输出；同时通过电容传感器直接测量末端输出位移并反馈控制，具有高刚度、高精度、高带宽、大行程、高速度、高加速度、高承载力和优异的解耦性能，在超精密加工等应用场合具有突出的优势，也适用于微纳操作、微纳测量和微纳加工/制造等应用，不仅可集成到超精密加工机床，而且可作为独立的加工、测量或运动平台/组件/单元，安装在多种类型的精密装备/仪器/设备中。

[0008] 进一步地，所述第一运动支链包括顺次串联连接的输入端导向柔顺铰链、输入端、一级杠杆输入点转动式柔顺铰链、一级杠杆支点处转动式柔顺铰链、一级杠杆主动杆、一级杠杆输出点转动式柔顺铰链、一级杠杆从动杆以及第一连接端；所述压电陶瓷驱动器的一端通过顶丝与单轴纳米定位平台连接，压电陶瓷驱动器与输入端无间隙连接，所述第一连接端与三轴末端执行器连接。通过对柔性铰链和柔性杆件等结构参数的优化设计，可满足不同应用场合对多项性能指标的偏好需求。

[0009] 进一步地，所述一级杠杆从动杆与第一连接端之间还设有顺次连接的二级杠杆输入点转动式柔顺铰链、二级杠杆支点处转动式柔顺铰链、二级杠杆主动杆、二级杠杆输出点转动式柔顺铰链、二级杠杆从动杆以及二级杠杆从动杆输出端导向柔顺铰链。采用两级杠杆式微位移放大机构，可实现大量程的位移输出。所述第一运动支链的第一连接端与三轴末端执行器连接。

[0010] 进一步地，所述第二运动支链包括设于末端执行器的第二连接端、连接杆、输入点柔顺铰链以及解耦导向柔顺铰链，所述第二连接端、连接杆、输入点柔顺铰链以及解耦导向柔顺铰链依次串联连接所述第二连接端与第一连接端连接。设于单轴纳米定位平台以及末端执行器上的第一运动支链和第二运动支链连接构成三条运动支链；三条运动支链的设置配合静力学建模及优化，能够实现导向和多轴解耦，易于设计多轴联动的控制器。

[0011] 进一步地，所述顶丝的端面面接触设有滚珠，所述滚珠点接触设有用于测量预紧力的力传感器，所述力传感器与压电陶瓷驱动器之间设有预紧块；所述力传感器与控制器连接。在安装单轴纳米定位平台时，在滑槽中放入压电陶瓷驱动器后，采用顶丝、滚珠、力传感器和预紧块来确保压电陶瓷驱动器与输入端的无间隙连接；使用滚珠来实现预紧过程中的面接触或点接触，易于确定预紧力的作用点和作用方向，保证预紧精度，避免预紧过程中产生侧向力和弯矩，同时消除顶丝转动产生的扭矩和侧向力，保护压电陶瓷驱动器等所能承受扭矩受限的驱动器。本发明在应用时，顶丝、滚珠、力传感器、预紧块、压电陶瓷驱动器、输入端、一级杠杆输入点转动式柔顺铰链的轴线重合，采用顶丝、滚珠、力传感器和预紧块来确保压电陶瓷驱动器与输入端的无间隙连接。

[0012] 进一步地，所述预紧块的顶部预留有用于安装测量块、反光镜支架的安装孔。安装测量块，便于电容传感器对该测量块的测量面进行测量，也可以安装反光镜支架，使用激光干涉仪进行测量，校正或标定电容传感器，也可监测预紧块转动对电容传感器直线位移测量精度的影响。

[0013] 进一步地，所述外侧固定基座包括位于XOZ平面和YOZ平面的第一外侧固定基座和位于XOY平面的第二外侧固定基座，两组第一外侧固定基座垂直连接，所述第二外侧固定基座相邻两边分别与第一外侧固定基座垂直连接。这样设置的三轴刀具伺服装置结构紧凑，占用体积小，使用轻便。

[0014] 进一步地，所述第一外侧固定基座设有用于与单轴纳米定位平台连接的第一连接

孔、用于避免与单轴纳米定位平台所属运动支链上各部件产生运动干涉的第一沉槽、用于散除压电陶瓷驱动器产生热量的第一散热栅以及两组正交分布的电容传感器支架，所述第一散热栅贯穿第一外侧基座设置，所述第一沉槽设于第一外侧固定基座的内侧；所述电容传感器支架突出于第一外侧固定基座设置，且与电容传感器连接。第一外侧固定基座分别位于XOZ平面和YOZ平面，通过若干螺钉和销钉分别与单轴纳米定位平台连接；第一沉槽对应单轴纳米定位平台上传递力和位移的多组杆件及柔顺铰链，通过第一散热栅进行散热，确保压电陶瓷驱动器的高功率工况下的稳定性；电容传感器支架下半部分与第一外侧固定基座连接，用于固定电容传感器，为加强电容传感器支架的刚度，可设置若干加强筋。

[0015] 进一步地，所述第二外侧固定基座设有用于与三轴纳米定位平台连接的第二连接孔、用于避免与单轴纳米定位平台所属运动支链上各部件产生运动干涉的第二沉槽以及用于散除压电陶瓷驱动器产生热量的第二散热栅，所述第二散热栅贯穿第二外侧基座设置，所述第二沉槽设于第二外侧固定基座的内侧。第二外侧固定基座位于XOY平面，通过若干螺钉和销钉分别与单轴纳米定位平台连接；第二沉槽对应单轴纳米定位平台上传递力和位移的多组杆件及柔顺铰链，通过第一散热栅和第二散热栅进行散热，确保压电陶瓷驱动器的高功率工况下的稳定性。

[0016] 进一步地，三组内侧固定基座的连接处设有三向加强筋；所述内侧固定基座设有用于散除压电陶瓷驱动器产生热量的第三散热栅，所述压电陶瓷驱动器的驱动电压线和传感器信号线穿过第三散热栅设置。单轴纳米定位平台两两之间、单轴纳米定位平台与第一外侧固定基座、单轴纳米定位平台与第二外侧固定基座、单轴纳米定位平台与内侧固定基座、内侧固定基座与三向加强筋之间分别采用若干垫片、螺钉和销钉等紧固在一起，使得单轴纳米定位平台的固定部分、电容传感器的支架相对于第一外侧固定基座、第二外侧固定基座、内侧固定基座、三向加强筋没有相对位移。

[0017] 与现有技术相比，本发明的有益效果是：

[0018] (1)本发明使用三个相并联的运动支链，实现三轴末端执行器的位移输出，具有高刚度、高精度、高速度、高加速度和大承载力，使得三轴末端执行器在超精密加工等应用场合中具有突出优势；

[0019] (2)本发明使用柔顺铰链和柔性杆件传递纳米级的运动，通过对机构静力学、运动学和动力学等性能指标参数进行多维度的充分优化，可得到优异的解耦性、带宽、刚度、工作空间等；

[0020] (3)本发明的三轴末端执行器的输出位移均可以直接测量，便于进行全闭环实时反馈控制；通过电容传感器检测可能存在的耦合或误差，改善纳米定位的准确性和稳定性；

[0021] (4)本发明的单轴纳米定位平台使用两级杠杆式微位移放大机构，有效扩展压电驱动式柔顺机构的输出位移量程，实现更大范围内的纳米级加工。实际使用中也可根据需求设计位移增益系数，配合柔顺铰链和柔性杆件的优化设计，满足特定应用场景下对多项性能指标参数的偏好特征；

[0022] (5)本发明的外侧和内侧固定基座上均设有与压电陶瓷驱动器对应的散热栅孔，可实现高功率的位移输出；也设有针对各个运动杆件和柔顺铰链的沉槽，可实现高功率的位移传递；由此提高装置在高带宽高功率工况下的稳定性；

[0023] (6)本发明的三个单轴纳米定位平台两两之间连接，每个单轴纳米定位平台分别

与外侧固定基座和内侧固定基座连接，三个内侧固定基座通过三向加强筋紧固，整个装置固定基座具有足够的刚度；

[0024] (7)本发明的单轴纳米定位平台使用滚珠来实现预紧过程中的面接触或点接触，易于确定预紧力作用点和作用方向，保证预紧精度，避免预紧过程中产生侧向力和弯矩，同时能消除顶丝转动产生的扭矩和侧向力，保护承受扭矩有限的压电陶瓷驱动器。

附图说明

[0025] 图1为本发明的基于柔顺并联机构的三轴刀具伺服装置的正三轴测图。

[0026] 图2为图1中的单轴纳米定位平台的正三轴测图。

[0027] 图3为图1中的三轴末端执行器的正三轴测图。

[0028] 图4为图1中的第一外侧固定基座的正三轴测图。

[0029] 图5为图1中的第二外侧固定基座的正三轴测图。

[0030] 图6为图1中的内侧固定基座的正三轴测图。

[0031] 图7为图1中的三向加强筋的正三轴测图。

[0032] 附图中：1-压电陶瓷驱动器；2-单轴纳米定位平台；21-顶丝；22-滚珠；23-预紧块；24-输入端导向柔顺铰链；25-输入端；26-一级杠杆输入点转动式柔顺铰链；27-一级杠杆支点处转动式柔顺铰链；28-一级杠杆主动杆；29-一级杠杆输出点转动式柔顺铰链；210-一级杠杆从动杆；211-二级杠杆输入点转动式柔顺铰链；212-二级杠杆支点处转动式柔顺铰链；213-二级杠杆主动杆；214-二级杠杆输出点转动式柔顺铰链；215-二级杠杆从动杆；216-二级杠杆从动杆输出端导向柔顺铰链；217-第一连接端；3-三轴末端执行器；311-Z向第二连接端；312-Z向连接杆；313-Z向输入点柔顺铰链；314-Z-Y解耦导向柔顺铰链；315-Z-X解耦导向柔顺铰链；321-Y向第二连接端；322-Y向连接杆；323-Y向输入点柔顺铰链；324-Y-Z解耦导向柔顺铰链；325-Y-X解耦导向柔顺铰链；331-X向第二连接端；332-X向连接杆；333-X向输入点柔顺铰链；334-X-Z解耦导向柔顺铰链；335-X-Y解耦导向柔顺铰链；34-刀具固定端和测量基准面；4-金刚石刀具；5-电容传感器；6-第一外侧固定基座；61-第一连接孔；62-第一散热栅；63-第一沉槽；64-电容传感器支架；7-第二外侧固定基座；71-第二连接孔；72-第二散热栅；73-第二沉槽；8-内侧固定基座；81-第一螺钉孔；82-第三散热栅；83-第一销钉孔；84 -第三沉槽；9-三向加强筋；91-第二螺钉孔；92-第二销钉孔。

具体实施方式

[0033] 下面结合具体实施方式对本发明作进一步的说明。其中，附图仅用于示例性说明，表示的仅是示意图，而非实物图，不能理解为对本专利的限制；为了更好地说明本发明的实施例，附图某些部件会有省略、放大或缩小，并不代表实际产品的尺寸；对本领域技术人员来说，附图中某些公知结构及其说明可能省略是可以理解的。

[0034] 本发明实施例的附图中相同或相似的标号对应相同或相似的部件；在本发明的描述中，需要理解的是，若有术语“上”、“下”、“左”、“右”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本发明和简化描述，而不是指示或暗示所指的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，因此附图中描述位置关系的用语仅用于示例性说明，不能理解为对本专利的限制，对于本领域的普通技术人员而言，可

以根据具体情况理解上述术语的具体含义。

[0035] 实施例一

[0036] 如图1至图7所示为本发明的基于柔顺并联机构的三轴刀具伺服装置的实施例，包括外侧固定基座、内侧固定基座8、通过第一运动支链传递运动的单轴纳米定位平台2以及通过第二运动支链导向和解耦的三轴末端执行器3，三组外侧固定基座、内侧固定基座8、单轴纳米定位平台2均两两正交，分别位于XOY平面、XOZ平面和YOZ平面，单轴纳米定位平台2设于外侧固定基座和内侧固定基座8之间，单轴纳米定位平台2与三轴末端执行器3连接；第一运动支链和第二运动支链均包括多种柔顺铰链和柔性杆件，第一运动支链和第二运动支链连接构成三条运动支链，把压电陶瓷驱动器1产生的力/位移/运动传递到三轴末端执行器3，三条运动支链并联连接且两两正交；三轴末端执行器3可外接不同类型的金刚石刀具4，包含由多组用于导向和解耦的柔顺铰链和柔性杆件构成的第二运动支链，设有用于位移闭环反馈检测的测量面；金刚石刀具4通过若干螺钉紧固在三轴末端执行器3的内部；三轴末端执行器3设有用于测量刀具4在空间三个正交直线轴X/Y/Z上位移量的电容传感器5，电容传感器5连接有控制器；控制器的输出端连接有压电陶瓷驱动器1，压电陶瓷驱动器1连接于单轴纳米定位平台2的输入端，三轴末端执行器3连接于三个单轴纳米定位平台2的输出端。

[0037] 本实施例在实施时，金刚石刀具4三个直线轴的输出位移由电容传感器5直接检测，检测的数据反馈到控制器中，经预设算法计算得到输入端电压数据，输送到压电陶瓷驱动器1中，通过三条运动支链，实时控制三轴末端执行器3在不同直线轴的进给量，带动刀具4实现三轴纳米加工；柔顺铰链的设置可实现高功率的运动传递。

[0038] 如图2所示，单轴纳米定位平台2设有顶丝21、滚珠22(图中被遮挡)、预紧块23、输入端导向柔顺铰链24、输入端25、一级杠杆输入点转动式柔顺铰链26、一级杠杆支点处转动式柔顺铰链27、一级杠杆主动杆28、一级杠杆输出点转动式柔顺铰链29、一级杠杆从动杆210、二级杠杆输入点转动式柔顺铰链211、二级杠杆支点处转动式柔顺铰链212、二级杠杆主动杆213、二级杠杆输出点转动式柔顺铰链214、二级杠杆从动杆215、二级杠杆从动杆输出端导向柔顺铰链216、第一连接端217，压电陶瓷驱动器1的一端通过顶丝21与单轴纳米定位平台2的固定部分连接，若干杆件和柔顺铰链顺次串联设于输入端25和第一连接端217之间，输入端25与压电陶瓷驱动器1无间隙连接。其中，顶丝21的端面面接触设有滚珠22，滚珠22点接触设有用于测量预紧力的力传感器(图中未示出，实际使用中可以省略)，力传感器与压电陶瓷驱动器1之间设有预紧块23，力传感器连接有控制器；预紧装置中使用滚珠22来实现预紧过程中的面接触或点接触，易于确定预紧力的作用点和作用方向，保证预紧精度，避免预紧过程中产生侧向力和弯矩，同时消除顶丝21转动产生的扭矩和侧向力，保护压电陶瓷驱动器1等所能承受扭矩受限的驱动器。顶丝21、滚珠22、力传感器、预紧块23、压电陶瓷驱动器1、输入端25、一级杠杆输入点转动式柔顺铰链26的轴线重合，采用顶丝21、滚珠22、力传感器和预紧块23来确保压电陶瓷驱动器1与输入端25的无间隙连接。柔顺铰链包括串联连接的输入端导向柔顺铰链24、一级杠杆输入点转动式柔顺铰链26、一级杠杆支点处转动式柔顺铰链27、一级杠杆输出点转动式柔顺铰链29、二级杠杆输入点转动式柔顺铰链211、二级杠杆支点处转动式柔顺铰链212、二级杠杆输出点转动式柔顺铰链214、二级杠杆从动杆输出端导向柔顺铰链216。预紧块23的顶部预留有用于安装测量块、反光镜支架的安

装孔，安装测量块，便于电容传感器5对该测量块的测量面进行测量，也可以安装反光镜支架，使用激光干涉仪进行测量，校正或标定电容传感器5，也可监测预紧块23转动对电容传感器5直线位移测量精度的影响。本实施例中的力传感器用以测量预紧力的大小，也可以分别监测压电陶瓷驱动器1在整个工作过程中输出力的值并反馈回控制器，进而结合预紧块23、输入端25的位移来计算三条运动支链对应的预紧刚度和输入刚度。压电陶瓷驱动器1内置了高精度高带宽应变片传感器，实时测量数据与电容传感器5一起发送给控制器。输入端导向柔顺铰链24和二级杠杆从动杆输出端导向柔顺铰链216主要用于调节输入/输出刚度和耦合系数，与其他多组柔顺铰链和柔性杆件一起进行优化设计，可以实现预期的刚度和耦合系数。

[0039] 如图1所示，外侧固定基座包括位于XOZ平面和YOZ平面的第一外侧固定基座6和位于XOY平面的第二外侧固定基座7，两组第一外侧固定基座6垂直连接，第二外侧固定基座7相邻两边分别与第一外侧固定基座6垂直连接；三组内侧固定基座8的连接处设有三向加强筋9。本实施例的单轴纳米定位平台2两两之间、单轴纳米定位平台2与第一外侧固定基座6、单轴纳米定位平台2与第二外侧固定基座7、单轴纳米定位平台2与内侧固定基座8、内侧固定基座8与三向加强筋9之间分别采用若干垫片、螺钉和销钉等紧固在一起，三向加强筋9设有与螺钉配合的第二螺钉孔91以及与销钉配合的第二销钉孔92，使得单轴纳米定位平台2的固定部分、电容传感器5的支架相对于第一外侧固定基座6、第二外侧固定基座7、内侧固定基座8、三向加强筋9没有相对位移。

[0040] 如图3所示，第一外侧固定基座6分别位于XOZ平面和YOZ平面，通过若干螺钉和销钉分别与单轴纳米定位平台2连接；若干第一连接孔61对应单轴纳米定位平台2上的固定部分，进行二次加固；第一散热栅62对应单轴纳米定位平台2上安装压电陶瓷驱动器1的滑槽，第一沉槽63对应单轴纳米定位平台2上传递力和位移的多组杆件及柔顺铰链，避免产生运动干涉，也通过间隙和栅孔进行散热，确保压电陶瓷驱动器1高功率工况下的稳定性；两个电容传感器支架64呈正交分布，通过若干螺钉和销钉与电容传感器支架的另一部分连接，用于固定电容传感器5；为加强支架64的刚度，设有若干加强筋等。

[0041] 如图4所示，第二外侧固定基座7位于XOY平面，结构与第一外侧固定基座相似，通过若干螺钉和销钉分别与单轴纳米定位平台2连接；若干第二连接孔71对应单轴纳米定位平台2上的固定部分，进行二次加固；第二散热栅72对应单轴纳米定位平台2上安装压电陶瓷驱动器1的滑槽，第二沉槽73对应单轴纳米定位平台2上传递力和位移的多组柔顺铰链及柔性杆件，避免产生运动干涉，也通过第二散热栅72进行散热，确保压电陶瓷驱动器1和单轴纳米定位平台2高功率工况下的稳定性。

[0042] 如图5所示，三个内侧固定基座8分别位于XOY平面、XOZ平面和YOZ平面，通过若干螺钉和销钉分别与单轴纳米定位平台2连接；若干第一螺钉孔81对应单轴纳米定位平台2上的固定部分，进行三次加固；第三散热栅82对应单轴纳米定位平台2上安装压电陶瓷驱动器1的滑槽，第三沉槽84对应单轴纳米定位平台2上传递力和位移的多组柔顺铰链及柔性杆件，避免产生运动干涉，也通过间隙和栅孔进行散热，确保压电陶瓷驱动器1和单轴纳米定位平台2高功率工况下的稳定性；若干第一销钉孔83和第一螺钉孔81用于和三向加强筋9连接。

[0043] 如图6所示，三向加强筋9呈立体结构，三条支链分别通过若干螺钉和销钉与内侧

固定基座8连接，提高内侧固定基座8的刚度，也作为整个三轴刀具伺服装置的加强筋，提高装置结构刚度；预留多组螺钉孔和销钉孔，配合构型和尺寸的灵活设计，用于集成到不同的超精密加工机床、精密测量、微纳制造等多种精密装备/仪器/设备中。

[0044] 如图7所示，三轴末端执行器3包括三条分别对应于X轴、Y轴、Z轴的由多组柔顺铰链和柔性杆件构成的第二运动支链；第二运动支链包括依次串联的第二连接端、连接杆、输入点柔顺铰链以及解耦导向柔顺铰链，第二连接端与第一连接端连接，通过刀具固定端34与刀具4连接。具体地，三轴末端执行器3在Z向、Y向、X向三个方向的第二连接端Z向连接端311、Y向连接端321、X向连接端331通过若干沉槽、螺钉和销钉分别与三个单轴纳米定位平台2连接；三轴末端执行器3包含三条由多组柔顺铰链和柔性杆件构成的第二运动支链，分别对应Z轴、Y轴和X轴，每条轴均依次串联轴向柔顺铰链、杆件和若干组导向柔顺铰链等；对于Z轴方向，依次串联Z向连接端311、Z向连接杆312、Z向输入点柔顺铰链313、Z-Y解耦导向柔顺铰链314、Z-X解耦导向柔顺铰链315；对于Y轴方向，依次串联Y向连接端321、Y向连接杆322、Y向输入点柔顺铰链323、Y-Z解耦导向柔顺铰链324、Y-X解耦导向柔顺铰链325；对于X轴方向，依次串联X向连接端331、X向连接杆332、X向输入点柔顺铰链333、X-Z解耦导向柔顺铰链334、X-Y解耦导向柔顺铰链335；配合单轴纳米定位平台2的多组柔顺铰链，实现导向和多轴解耦，易于设计多轴联动的控制器；三轴末端执行器3通过若干螺钉对金刚石刀具4进行加固；本实施例的三轴末端执行器3具有三个直线轴的自由度，金刚石刀具4也具有与之相同的自由度；三轴末端执行器3设有四个测量面，分别对应四支电容传感器5；其中，三轴末端执行器3在空间三个正交直线轴X/Y/Z上的位移量被电容传感器5直接测量得到，发送给控制器(图中未示出)；同在一个轴上的两支电容传感器5可以相互校对，也可以测量三轴末端执行器直线运动轴以外的角度耦合位移量；三轴末端执行器3预留接口，可以外接激光干涉仪(图中未示出)、激光尺(图中未示出)、三坐标测量机(图中未示出)或激光追踪仪(图中未示出)等，用于对装置本身自带电容传感器5的测量数据进行评估、校对或验证；电容传感器5的支架安装精度、与被测量面的平行度和初始距离使用塞尺(图中未示出)等确定；本实施例采用的电容传感器5为柱状结构，也可以采用片式结构或其他类型的微位移传感器进行测量；本实施例采用的三轴末端执行器3也可以外接精密测量头、成像装置、样品台等，集成到多种类型的精密装备/仪器/设备中。

[0045] 本实施例中柔顺并联机构的静力学、运动学和动力学特性取决于三条运动支链的多组柔顺铰链和柔性杆件等，可通过对结构参数的优化设计，实现机构多项性能指标的组合优化，满足不同应用场景下对性能图谱的偏好需求。

[0046] 显然，本发明的上述实施例仅仅是为清楚地说明本发明所作的举例，而并非是对本发明的实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说，在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式的变化或变动。这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。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，均应包含在本发明权利要求的保护范围之内。

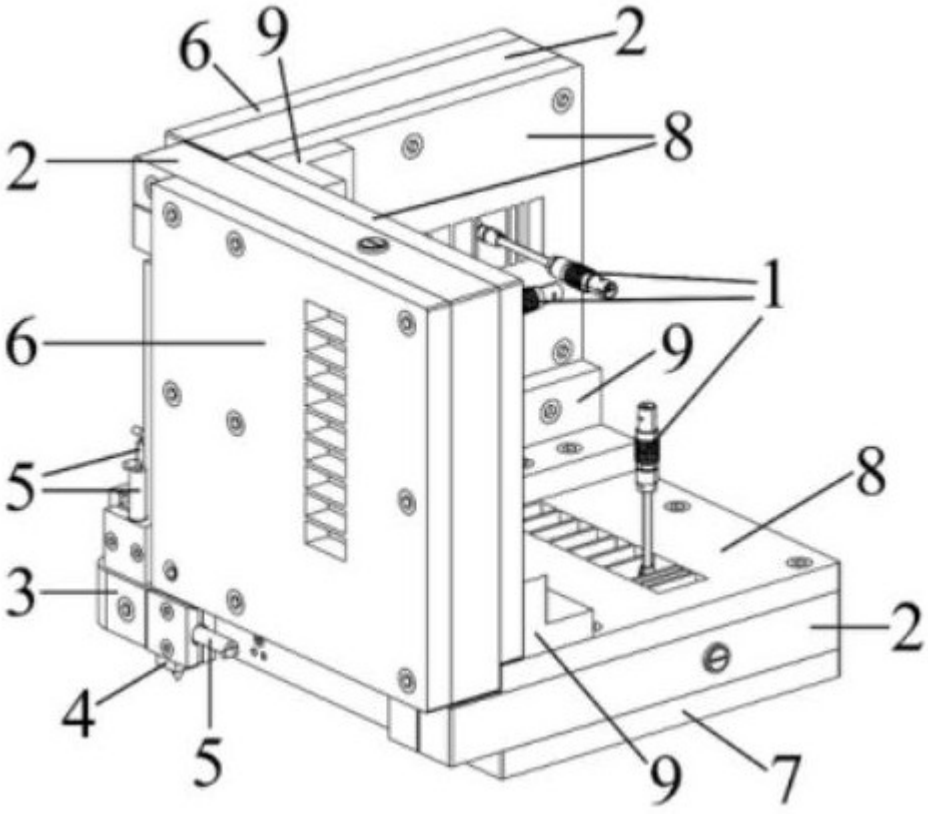

6
9
2
2
8
1
6
9
5
8
3
2
4
5
9
7

图1

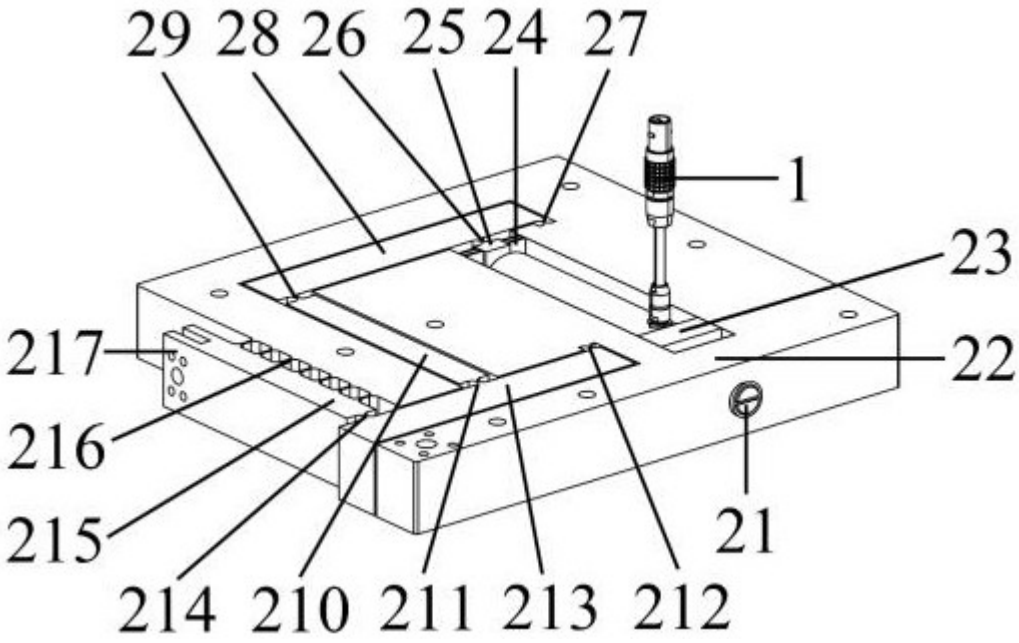

29
28
26
25
24
27
1
23
217
22
216
215
21
214
210
211
213
212

图2

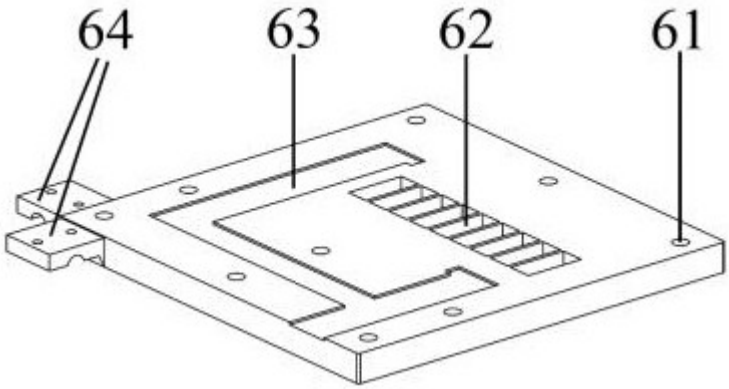


图3

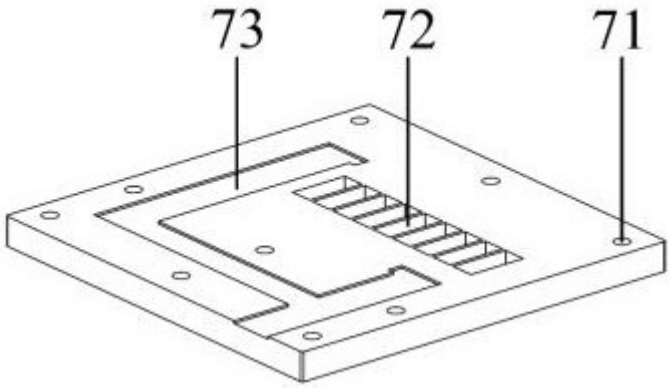


图4

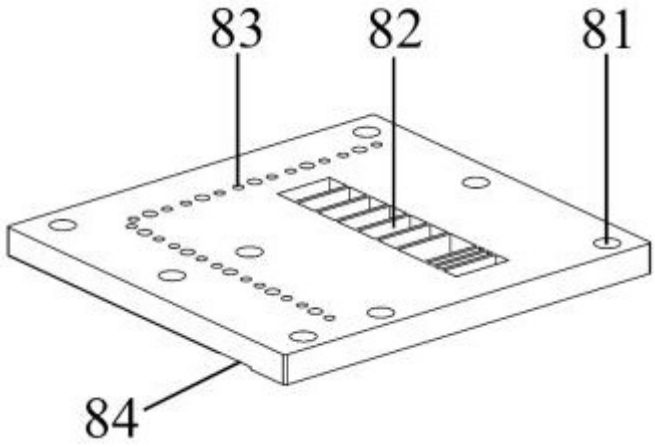


图5

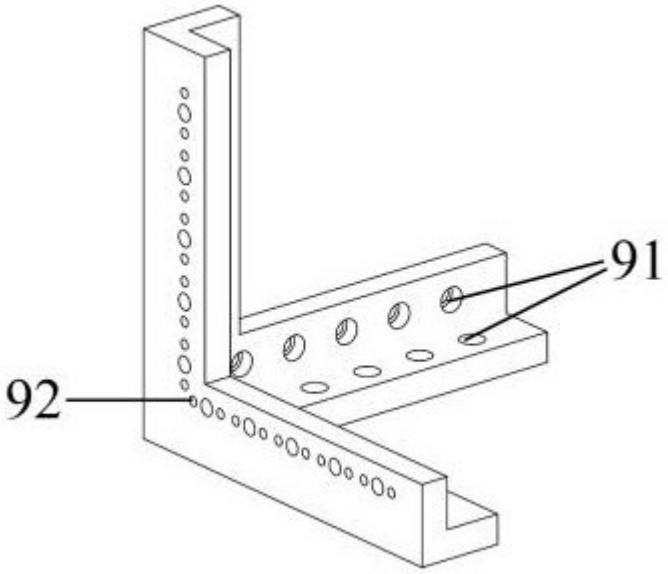

91
92

图6

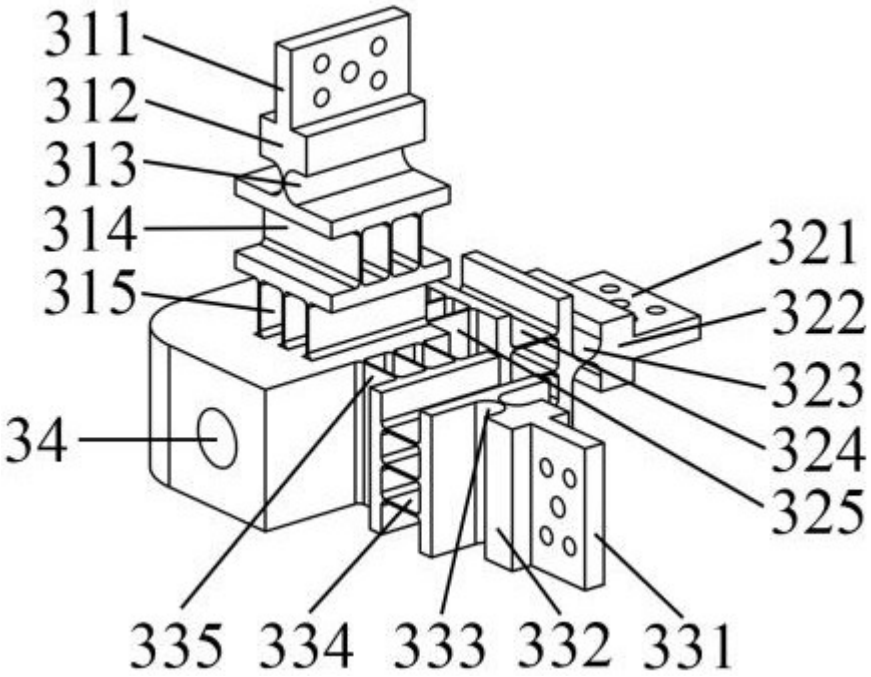

311
312
313
314
315
34
321
322
323
324
325
335
334
333
332
331

图7