

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G01C 19/72 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200810115131.9

[43] 公开日 2008 年 10 月 22 日

[11] 公开号 CN 101290227 A

[22] 申请日 2008.6.17

[21] 申请号 200810115131.9

[71] 申请人 北京航空航天大学

地址 100083 北京市海淀区学院路 37 号

[72] 发明人 章 博 张春熹 张小跃 杜新政
宋凝芳 林 恒

[74] 专利代理机构 北京凯特来知识产权代理有限公司
代理人 郑立明

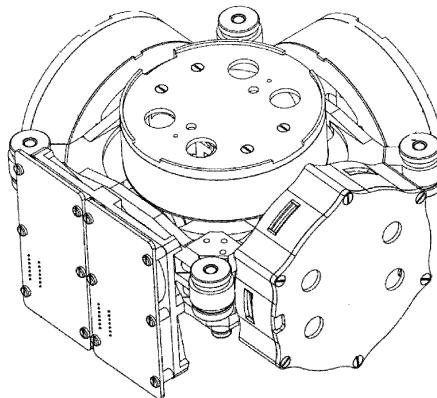
权利要求书 3 页 说明书 10 页 附图 13 页

[54] 发明名称

一种三轴光纤陀螺惯性测量单元一体化结构

[57] 摘要

本发明涉及一种三轴光纤陀螺惯性测量单元一体化结构，包括安装骨架、三个光纤陀螺、三个加速度计、光源、电路板、减振器。安装骨架采用镂空六面体框架结构，对称布置各组安装孔，且在安装孔的定位端面上设有安装凸台。三个光纤陀螺成相互空间正交安装在安装骨架外表面上，光源、电路板分别安装在与三个光纤陀螺相对的安装骨架的外表面上，三个加速度计成相互空间正交安装于与三个光纤陀螺安装面相对的安装骨架的内表面，并靠近安装骨架的几何中心，减振器安装在安装骨架的外表面。本发明具有质量轻，整个惯性测量单元的质量中心与几何安装中心的偏离度小，动态测试精度高，惯性测量单元的温度场分布有利于各部件的温度补偿与控制等优点。



1、一种三轴光纤陀螺惯性测量单元一体化结构，包括安装骨架（1），以及通过安装骨架（1）上的多组安装孔安装其上的三个光纤陀螺、三个加速度计、光源、电路板、减振器（8），其特征在于：

所述安装骨架（1）采用镂空六面体框架结构，对称布置各组安装孔，且在安装孔的定位端面上设有安装凸台；

所述三个光纤陀螺成相互空间正交安装在安装骨架（1）外表面上，光源、电路板分别安装在与三个光纤陀螺相对的安装骨架（1）的外表面上，三个加速度计成相互空间正交安装于与三个光纤陀螺安装面相对的安装骨架（1）的内表面，并靠近安装骨架（1）的几何中心，减振器（8）安装在安装骨架（1）的外表面。

2、根据权利要求1所述的三轴光纤陀螺惯性测量单元一体化结构，其特征在于：所述三个光纤陀螺、光源、电路板分别采用模块化设计，形成第一组光纤陀螺组件（2）、第二组光纤陀螺组件（3）、第三组光纤陀螺组件（4）、光源组件（5）、一组电路板组件（6）、另一组电路板组件（7）。

3、根据权利要求2所述的三轴光纤陀螺惯性测量单元一体化结构，其特征在于：所述每组光纤陀螺组件包括光纤陀螺，外罩（301）、上盖（302）、安装凸台（303）、安装凸台孔（304）、光纤陀螺支架（305）；光纤陀螺置于外罩（301）内，固定在光纤陀螺支架（305）上，外罩（301）上面连接上盖（302），外罩（301）与光纤陀螺支架（305）相连，光纤陀螺支架（305）上布置有安装凸台（303），安装凸台上设有安装凸台孔（304），每组光纤陀螺组件通过安装凸台孔（304）与安装骨架（1）连接。

4、根据权利要求2所述的三轴光纤陀螺惯性测量单元一体化结构，其特

征在于：所述光源组件（5）包括光源、底座（601）、顶盖（602），光源固定于底座（601）上，顶盖（602）连接于底座（601）之上，在底座（601）外表面上设有安装凸台（603），安装凸台（603）上设有安装孔（604），光源组件（5）通过安装孔604）与安装骨架（1）连接。

5、根据权利要求2所述的三轴光纤陀螺惯性测量单元一体化结构，其特征在于：

所述一组电路板组件（6）包括两块电路板（402）、电路板支架（401），两块电路板（402）固定于电路板支架（401）上，电路板支架（401）上设有安装孔（403），一组电路板组件（6）通过安装孔（403）与安装骨架（1）连接；

所述另一组电路板组件（7）包括一块电路板（503）、电路板支架（501），电路板（503）固定于电路板支架（501）上，电路板支架（501）上设有安装孔（502），另一组电路板组件（7）通过安装孔（502）与安装骨架（1）连接。

6、根据权利要求1所述的三轴光纤陀螺惯性测量单元一体化结构，其特征在于：所述安装骨架（1）上的多组安装孔包括三组光纤陀螺安装孔、三组加速度计安装孔、一组光源安装孔、两组电路板安装孔、一组减振器安装孔；

并且，第一组、第二组光纤陀螺安装孔（201、202）分别布置在安装骨架（1）相邻的两个侧面外侧，第三组光纤陀螺安装孔（203）布置在安装骨架（1）的底面外侧；

所述的一组电路板安装孔（207）对应布置在与其中第一组光纤陀螺安装孔（201）相对的安装骨架（1）的侧面外侧；

所述的光源安装孔（206）对应布置在与其中第二组光纤陀螺安装孔（202）相对的安装骨架（1）的侧面外侧；

所述的另一组电路板安装孔（208）对应布置在与其中第三组光纤陀螺安装孔（203）相对的安装骨架（1）的上面外侧；

所述的每一组加速度计安装孔分别对应布置在远离三组光纤陀螺安装孔的安装骨架（1）的内部，三组加速度计安装孔成相互空间正交布置，并靠近安装骨架（1）的几何中心；

所述减振器安装孔对称布置在安装骨架（1）外面四周。

7、根据权利要求6所述的三轴光纤陀螺惯性测量单元一体化结构，其特征在于：所述安装骨架（1）还包括沿上面外侧有四个用于与外部连接的安装孔（105），安装孔（105）通过安装支腿（104）与安装骨架（1）相连，安装孔（105）同时也是减振器安装孔。

8、根据权利要求7所述的三轴光纤陀螺惯性测量单元一体化结构，其特征在于：所述安装骨架（1）还包括加强筋（103）。

9、根据权利要求7或8所述的三轴光纤陀螺惯性测量单元一体化结构，其特征在于：所述安装支腿（104）和加强筋（103）采用有限元法计算机辅助设计技术进行尺寸和形状优化设计。

10、根据权利要求6所述的三轴光纤陀螺惯性测量单元一体化结构，其特征在于：三组加速度计安装孔分别布置在三个加速度计安装槽（204）外面四周，三个加速度计安装槽（204）采用镂空结构；

所述三个加速度计分别安装在三组加速度计安装孔上，加速度计的一部分伸入加速度计安装槽（204）内。

一种三轴光纤陀螺惯性测量单元一体化结构

技术领域

本发明涉及光纤陀螺测量装置的结构，尤其涉及一种三轴光纤陀螺惯性测量单元一体化结构。

背景技术

光纤陀螺是基于萨格奈克（Sagnac）效应的一种新型角速度传感器，与机械陀螺相比，具有全固态、对重力不敏感、启动快等优点；与环形激光陀螺相比，无高电压电源、无机械抖动等优点；另外，还具有重量轻、寿命长、成本低的优势，在航空、航天、航海等军用领域及地质、石油勘探等民用领域具有广阔的应用前景。目前典型的结构形式为：以三个独立的单轴光纤陀螺子系统来实现对三个正交的空间坐标系的旋转轴角速度或位置进行测量，每个光纤陀螺子系统都包括一个光源、一个光电探测器和一个处理电路。随着应用领域需要的发展，目前对光纤陀螺的体积和重量提出了更高的要求。同时，在许多领域都涉及三维测量，因此，轻小型精确测量三轴光纤陀螺的研究引起了国际上广泛的关注。

对于三轴光纤陀螺一体的惯性测量单元结构既要保证整体的重量很小，同时又要保证结构的强度和刚度满足实际的需要，还要考虑安装各元、部件之后的惯性测量单元的整体质心与几何中心偏心度最小，对整体的温度控制布局也不容忽视。目前的三轴光纤陀螺惯性测量单元一体化结构不能同时满足上述要求。即现有技术存在如下缺点：整体重量大，在冲击、振动环境下动力学响应特性不好；整个惯性测量单元的质量中心相对于几何中心偏离度较大，严重影响系统的动态测量精度；安装过程的复杂性和各部件的布置影

响惯性测量单元的温度场分布，不利于各部件的温度补偿与控制。

三轴光纤陀螺惯性测量单元的安装骨架对于整个系统来说是很重要的部件，现有的三轴光纤陀螺惯性测量单元的安装骨架是板墙式结构，重量较大，而且，在冲击振动环境下其动力学响应特性不好。各组件安装孔位布置使安装后的整个惯性测量单元整体质心与几何安装中心偏离度大，严重影响系统的动态测试精度。而且，各光纤陀螺与安装骨架的安装面全面接触，并且安装复杂，影响了惯性测量单元的温度场分布，不利于各部件的温度补偿与控制。

发明内容

鉴于上述现有技术所存在的问题，本发明的目的是提供一种一体化结构，在保证安装骨架刚度和强度的同时尽量减轻其质量，安装光纤陀螺等各部件后的惯性测量单元质心与几何安装中心偏离度最小，保证惯性测量单元的温度场分布有利于各部件的温度补偿与控制，提高测量精度。

本发明的目的是通过以下技术方案实现的：

一种三轴光纤陀螺惯性测量单元一体化结构，包括安装骨架1，以及通过安装骨架1上的多组安装孔安装其上的三个光纤陀螺、三个加速度计、光源、电路板、减振器8。

所述安装骨架1采用镂空六面体框架结构，对称布置各组安装孔，且在安装孔的定位端面上设有安装凸台。

所述三个光纤陀螺成相互空间正交安装在安装骨架1外表面上，光源、电路板分别安装在与三个光纤陀螺相对的安装骨架1的外表面上，三个加速度计成相互空间正交安装于与三个光纤陀螺安装面相对的安装骨架1的内表面，并靠近安装骨架1的几何中心，减振器8安装在安装骨架1的外表面。

所述三个光纤陀螺、光源、电路板分别采用模块化设计，形成第一组光纤陀螺组件2、第二组光纤陀螺组件3、第三组光纤陀螺组件4、光源组件5、

一组电路板组件6、另一组电路板组件7。

所述每组光纤陀螺组件包括光纤陀螺，外罩301、上盖302、安装凸台303、安装凸台孔304、光纤陀螺支架305；光纤陀螺置于外罩301内，固定在光纤陀螺支架305上，外罩301上面连接上盖302，外罩301与光纤陀螺支架305相连，光纤陀螺支架305上布置有安装凸台303，安装凸台上设有安装凸台孔（304），每组光纤陀螺组件通过安装凸台孔304与安装骨架1连接。

所述光源组件5包括光源、底座601、顶盖602，光源固定于底座601上，顶盖602连接于底座601之上，在底座601外表面上设有安装凸台603，安装凸台603上设有安装孔604，光源组件5通过安装孔604与安装骨架1连接。

所述一组电路板组件6包括两块电路板402、电路板支架401，两块电路板402固定于电路板支架401上，电路板支架401上设有安装孔403，一组电路板组件6通过安装孔403与安装骨架1连接。

所述另一组电路板组件7包括一块电路板503、电路板支架501，电路板503固定于电路板支架501上，电路板支架501上设有安装孔502，另一组电路板组件7通过安装孔502与安装骨架1连接。

所述安装骨架1上的多组安装孔包括三组光纤陀螺安装孔、三组加速度计安装孔、一组光源安装孔、两组电路板安装孔、一组减振器安装孔。

并且，第一组、第二组光纤陀螺安装孔201、202分别布置在安装骨架1相邻的两个侧面外侧，第三组光纤陀螺安装孔203布置在安装骨架1的底面外侧。

所述的一组电路板安装孔207对应布置在与其中第一组光纤陀螺安装孔201相对的安装骨架1的侧面外侧。

所述的光源安装孔206对应布置在与其中第二组光纤陀螺安装孔202相对的安装骨架1的侧面外侧。

所述的另一组电路板安装孔208对应布置在与其中第三组光纤陀螺安装孔203相对的安装骨架1的上面外侧。

所述的每一组加速度计安装孔分别对应布置在远离三组光纤陀螺安装孔的安装骨架1的内部，三组加速度计安装孔成相互空间正交布置，并靠近安装骨架1的几何中心。

所述减振器安装孔对称布置在安装骨架1外面四周。

所述安装骨架1还包括沿上面外侧有四个用于与外部连接的安装孔105，安装孔105通过安装支腿104与安装骨架1相连，安装孔105同时也是减振器安装孔。

所述安装骨架1还包括加强筋103。

所述安装支腿104和加强筋103采用有限元法计算机辅助设计技术进行尺寸和形状优化设计。

三组加速度计安装孔分别布置在三个加速度计安装槽204外面四周，三个加速度计安装槽204采用镂空结构；

所述三个加速度计分别安装在三组加速度计安装孔上，加速度计的一部分伸入加速度计安装槽204内。

所述电路板支架401和电路板支架501采用镂空和带加强筋的结构，并且采用有限元法计算机辅助设计技术进行尺寸和形状优化设计。

将第一组光纤陀螺组件2、第二组光纤陀螺组件3、第三组光纤陀螺组件4、三个加速度计9、10、11、光源组件5、一组电路板组件6、另一组电路板组件7分别安装在安装骨架1相应的安装孔位，减振器8安装在安装孔105，形成三轴光纤陀螺惯性测量单元一体化结构。

由上述本发明提供的技术方案可以看出，本发明的有益效果如下：安装骨架采用镂空的六面体框架结构，其质量不超过750g。在保证刚度和强度的同时，极大减轻了安装骨架的重量。

采用对称布局的方式在安装骨架上布置各安装孔位，使整个惯性测量单元有效的消除了质量偏心。保证了惯性测量单元装配完成后的整体质心与安装几何中心之间具有最小的偏心度（小于6mm）。

安装骨架采用镂空设计，同时安装骨架和所安装的各部件之间仅通过安装凸台接触并固定，保证了在一体化结构的三轴光纤陀螺惯性测量单元中，各组件之间的相互热影响最小，有利于温度补偿和控制。

使用有限元法（FEM）计算机辅助设计技术对轻型安装骨架的安装支腿和加强筋进行了尺寸和形状的优化设计，保证安装骨架在同等重量下具有最好的强度和刚度。经过设计优化得到的安装骨架在制造过程中的加工变形很小，尺寸稳定性好。

安装骨架的安装部位全部采用凸台结构，不仅使各部件与安装骨架接触面积小，有利于散热，而且使得整体具有最少的精加工面，极大方便了加工过程、并减少了制造费用。

光纤陀螺、光源、电路板形成组件后，既有利于使整个惯性测量单元保持整体质心与几何中心的偏离度小，又使各部件设置于保护罩或壳内，有利于保护各部件不易损坏，延长使用寿命，提高测量精度。

附图说明

图1为本发明的一体化结构安装示意图；

图2为本发明的安装骨架结构示意图，其中（a）为仰视示意图，即底面图；（b）为俯视示意图，即上面图；

图3为本发明的光纤陀螺组件结构示意图，其中（a）为主视示意图，（b）为后视示意图；

图4为本发明的一组电路板组件结构示意图，其中（a）为主视示意图，（b）为后视示意图；

图5为本发明的另一组电路板组件结构示意图，其中（a）为主视示意图，（b）为后视示意图；

图6为本发明的光源组件结构示意图，其中（a）为主视示意图，（b）为后视示意图；

图7为本发明的一体化结构示意图；

图8为本发明的加速度计安装示意图。

具体实施方式

下面结合附图对本发明进行详细说明：

如图1、图7、图8所示，一种三轴光纤陀螺惯性测量单元一体化结构，包括安装骨架1，以及通过安装骨架1上的多组安装孔安装其上的三个光纤陀螺、三个加速度计、光源、电路板、减振器8。

所述安装骨架1采用镂空六面体框架结构，对称布置各组安装孔，且在安装孔的定位端面上设有安装凸台。安装骨架1采用镂空六面体框架结构，既保证了整体的刚度和强度，又使安装骨架1的质量很小。对称布置各组安装孔位，有利于各部件安装后的整个惯性测量单元质心与其几何安装中心的偏离度最小。在各组安装孔的定位端面上设有安装凸台，使各部件与安装骨架1的接触面积最小，有利于各组件之间的相互热影响最小，有利于温度补偿和控制。

所述三个光纤陀螺成相互空间正交安装在安装骨架1外表面上，光源、电路板分别安装在与三个光纤陀螺相对的安装骨架1的外表面上，三个加速度计成相互空间正交安装于与三个光纤陀螺安装面相对的安装骨架1的内表面，并靠近安装骨架1的几何中心，减振器8安装在安装骨架1的外表面。

三个光纤陀螺相互空间正交安装在该安装骨架1上，即三个光纤陀螺独立垂直安装，其中X轴、Y轴光纤陀螺安装在安装骨架1侧面外侧，Z轴光纤陀螺

安装在安装骨架1的底面外侧。光源、电路板分别对称安装在与三个光纤陀螺相对的安裝骨架1的另外两个侧面和上面的外侧。三个加速度计成相互空间正交安装于与三个光纤陀螺安装面相对的安裝骨架1的内表面，并靠近安裝骨架1的几何中心。即三个加速度计安装在靠近光源、电路板位置的安裝骨架1的内表面，而且靠近安裝骨架1的几何中心。减振器8对称安装在安裝骨架1的外表面，并保证在一个平面上。减振器8安装在同一个平面上，既有利于减振效果的实现，又保证整个惯性测量单元的质心与其几何安装中心的偏离度更小。这样安装后的惯性测量单元质心与几何安装中心的偏离度于6毫米。

如图3所示，将光纤陀螺进行模块化设计，即形成三组光纤陀螺组件2、3、4，每组光纤陀螺均包括光纤陀螺，外罩301、上盖302、安装凸台303、安装凸台孔304、光纤陀螺支架305。光纤陀螺置于外罩301内，固定在光纤陀螺支架305上，外罩301上面用螺钉连接上盖302，上盖上有孔便于光纤陀螺组件与外部线连接，外罩301与光纤陀螺支架305相连，光纤陀螺支架305上对称布置有安装凸台303，安装凸台上设有安装凸台孔304，光纤陀螺组件2、3、4通过安装凸台孔304与安裝骨架1连接。采用安装凸台孔设计既有利于温度场分布，又减小精加工量。其中第一组光纤陀螺组件2通过安裝骨架1上的安装孔201安装在安裝骨架1上，第二组光纤陀螺组件3通过安裝骨架1上的安装孔202安装在安裝骨架1上，第三组光纤陀螺组件4通过安裝骨架1上的安装孔203安装在安裝骨架1上。每个光纤陀螺组件的质量设计是根据整个惯性测量单元整体质心平衡原则考虑的。

如图4、5所示，将电路板进行模块化设计，形成两组电路板组件6、7。一组电路板组件6包括两块电路板402、电路板支架401，两块电路板402用螺钉固定于电路板支架401上，电路板支架401上对称设有安装孔403，电路板组件6通过安装孔403与安裝骨架1上的安装孔207连接，从而将电路板组件6

固定在安装骨架1上。

另一组电路板组件7包括一块电路板503、电路板支架501，电路板503用螺钉固定于电路板支架501上，电路板支架501上对称设有安装孔502，电路板组件7通过安装孔502与安装骨架1上的安装孔208连接，从而将电路板组件b固定在安装骨架1上。

电路板支架401、501采用薄板式镂空结构，并设有加强筋，形成镂空孔405、504和加强筋404。考虑既减轻重量，又保证刚度和强度。而且电路板支架401、501采用有限元法计算机辅助设计技术进行尺寸和形状优化设计。

如图6所示，将光源进行模块化设计形成光源组件5，其包括光源、底座601、顶盖602，光源固定于底座601上，顶盖602连接于底座601之上，而且便于拆卸，顶盖602上开有孔，便于连线。底座601设计成盒式结构，盒周围开有小孔，便于散热。在底座601外表面上设有对称布置的安装凸台603，安装凸台603上设有安装孔604，光源组件5通过安装孔604与光源组件安装孔206连接。采用安装凸台孔设计既有利于温度场分布，又减小精加工量。

如图1、图2所示，安装骨架1为一体化结构，采用镂空六面体框架结构，极大地减轻了安装骨架1的质量，而且也有利于各部件的散热；六面体框架结构有利于各部件安装后实现整个惯性测量单元的质心与其几何安装中心的偏心度最小。安装孔的定位端面上设在安装凸台，减小了各部件与安装骨架1的接触面积，有利于各部件安装后的温度场分布均匀。镂空时有一穿透安装骨架1，并垂直上面、底面的中空腔101，在安装骨架1的侧壁上开有镂空孔102，镂空孔102垂直和平行于安装骨架1的侧壁。

所述多组安装孔包括三组光纤陀螺安装孔、三组加速度计安装孔、一组光源安装孔、两组电路板安装孔、一组减振器安装孔。每组安装孔布置在同一个平面上。

并且，第一组、第二组光纤陀螺安装孔201、202分别布置在安装骨架1

相邻的两个侧面外侧，第三组光纤陀螺安装孔203布置在安装骨架1的底面外侧。

所述的光源安装孔206对应布置在与其中第一组光纤陀螺安装孔201相对的安装骨架1的侧面外侧。

所述的一组电路板安装孔207对应布置在与其中第二组光纤陀螺安装孔202相对的安装骨架1的侧面外侧。

所述的另一组电路板安装孔208对应布置在与其中第三组光纤陀螺安装孔203相对的安装骨架1的上面外侧。

所述的每一组加速度计安装孔分别对应布置在与三组光纤陀螺安装孔相对的安装骨架1的内表面，三组加速度计安装孔成相互空间正交布置，并靠近安装骨架1的几何中心。一组加速度计安装孔901和另外一组加速度计安装孔902布置在安装骨架1内部与第一组光纤陀螺安装孔201和第二组光纤陀螺安装孔202相对的安装骨架1侧面的侧壁内，即此两组加速度计安装孔靠近光源安装孔206和一组电路板安装孔207；第三组加速度计安装孔903布置在安装骨架1内部与第三组光纤陀螺安装孔底面相对的面上，即第三组加速度计安装孔903靠近另一组电路板安装孔208。这样布置三组加速度计安装孔既有利于平衡由于光纤陀螺的质量大于电路板和光源的质量造成的惯性测量单元整体质心与其几何安装中心的偏离度问题，又保证了整体质心集中于几何中心。

所述安装骨架1还包括沿上面外侧有四个用于与外部连接的安装孔105，安装孔105通过安装支腿104与安装骨架1相连，安装孔105同时也是减振器安装孔。这样布置降低了加工成本，又保证整个惯性测量单元的减震效果。

所述安装骨架1还包括加强筋103。加强筋103设于镂空孔102周围，以保证整个安装骨架1具有足够的刚度和强度。

所述安装支腿104和加强筋103采用有限元法计算机辅助设计技术进行尺

寸和形状优化设计。经有限元法（FEM）计算机辅助设计技术优化设计后的安装支腿104和加强筋103有利于保证安装骨架1在同等质量下具有更好的强度和刚度，而且经过FEM计算机辅助设计技术优化后的安装骨架1在制造过程中加工变形很小，尺寸稳定性好。

三组加速度计安装孔分别布置在三个加速度计安装槽204外面四周，三个加速度计安装槽204采用镂空结构。这样设计及有利于固定加速度计，也有利于加速度计的温度场分布，而且也减轻了安装骨架的整体质量。。

安装骨架1的质量不超过750g。

如图8所示，所述三个加速度计9、10、11分别安装在三组加速度计安装孔901、902、903上，加速度计的一部分伸入加速度计安装槽204内。既有利于加速度计稳固安装到安装骨架1上，又有利于及速度计的温度场分布。

如图1、图7所示，将光纤陀螺组件2、光纤陀螺组件3、光纤陀螺组件4、三个加速度计9、10、11、光源组件5、一组电路板组件6、另一组电路板组件7分别安装在安装骨架1相应的安装孔位，减振器8安装在安装孔105上后形成的三轴光纤陀螺惯性测量单元一体化结构的总质量不超过2800g，结构的整体质心与几何安装中心偏离度小于6mm。

以上所述，仅为本发明较佳的具体实施方式，但本发明的保护范围并不局限于此，任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内，可轻易想到的变化或替换，都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此，本发明的保护范围应该以权利要求的保护范围为准。

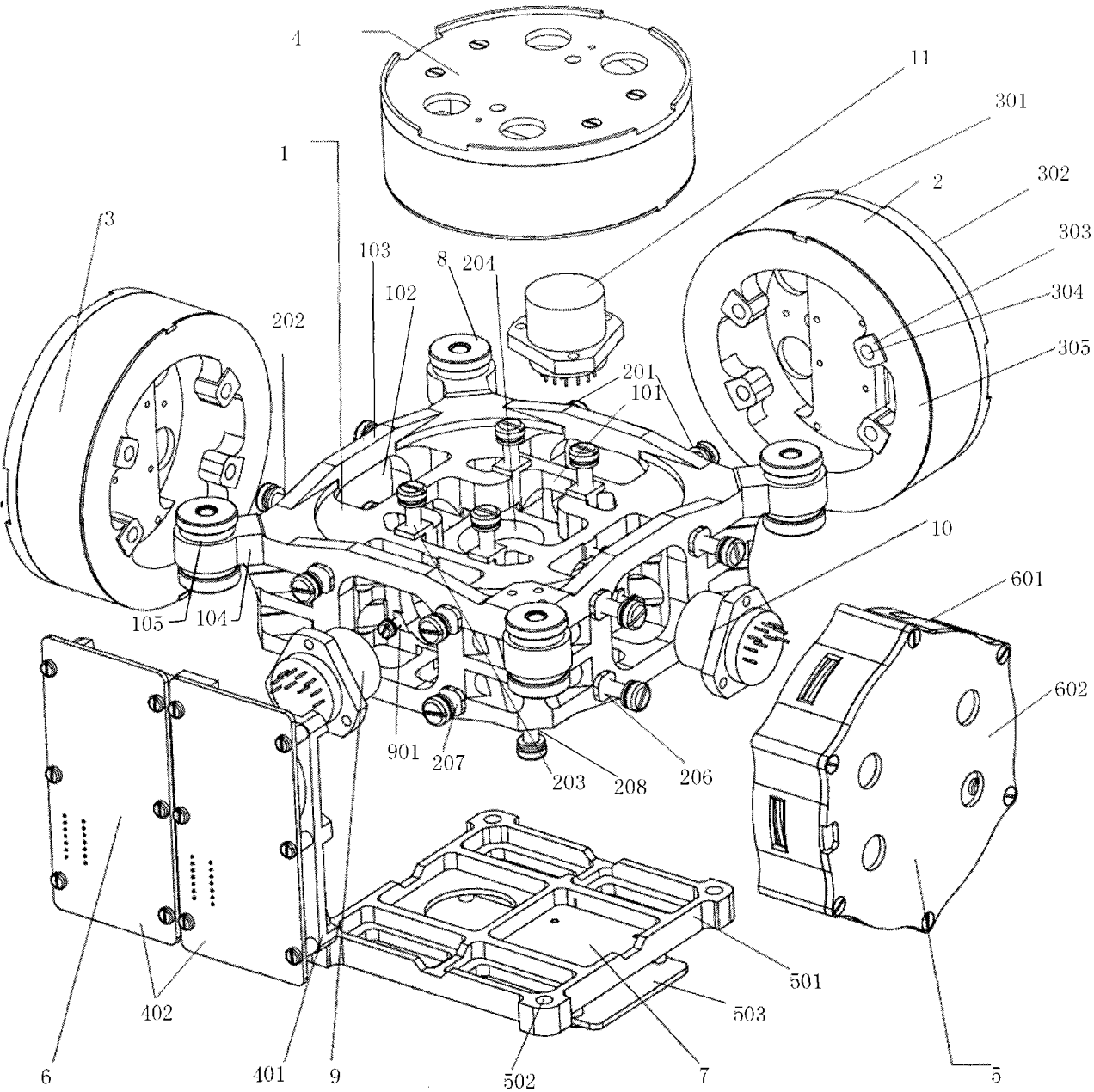


图1

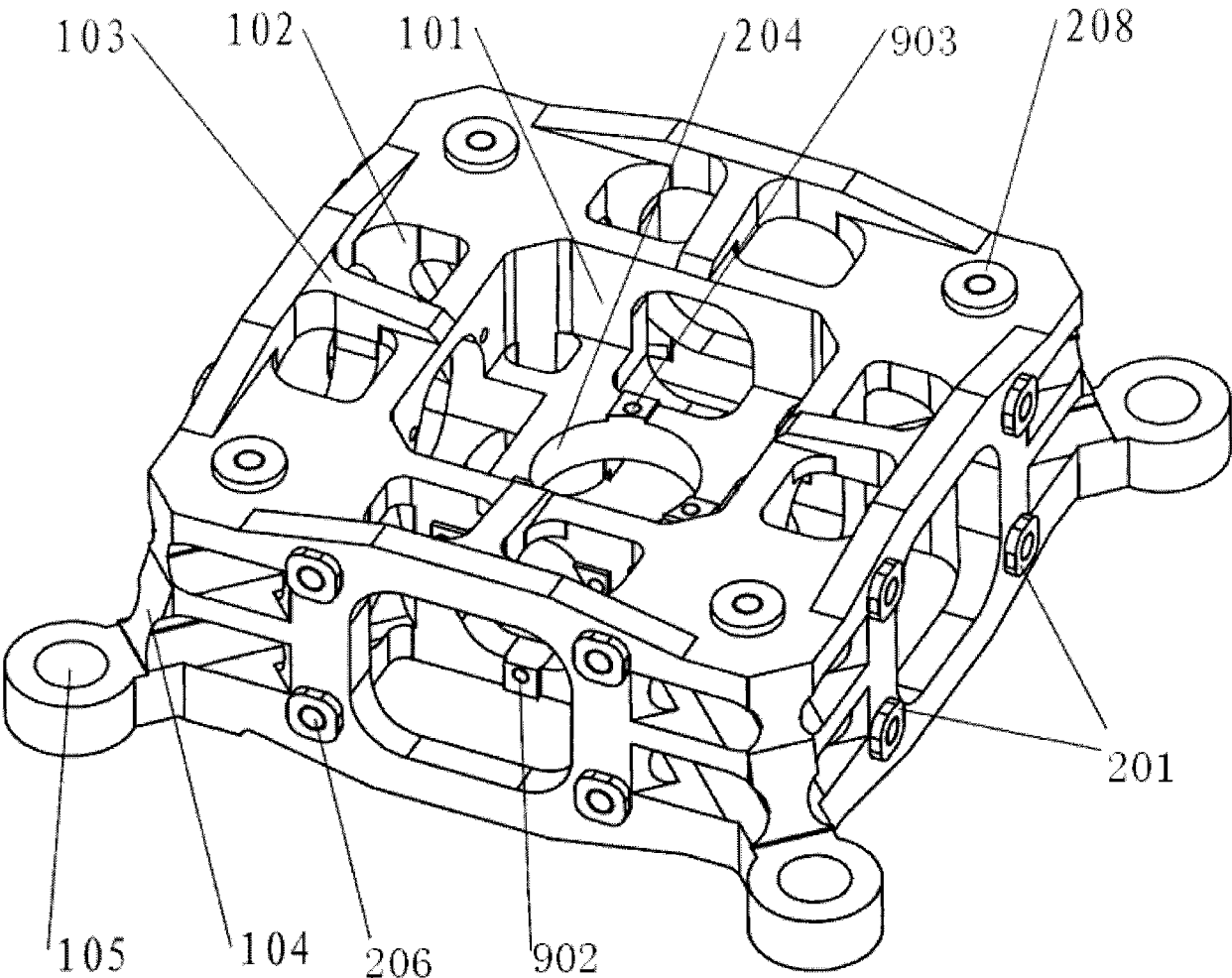


图2 (a)

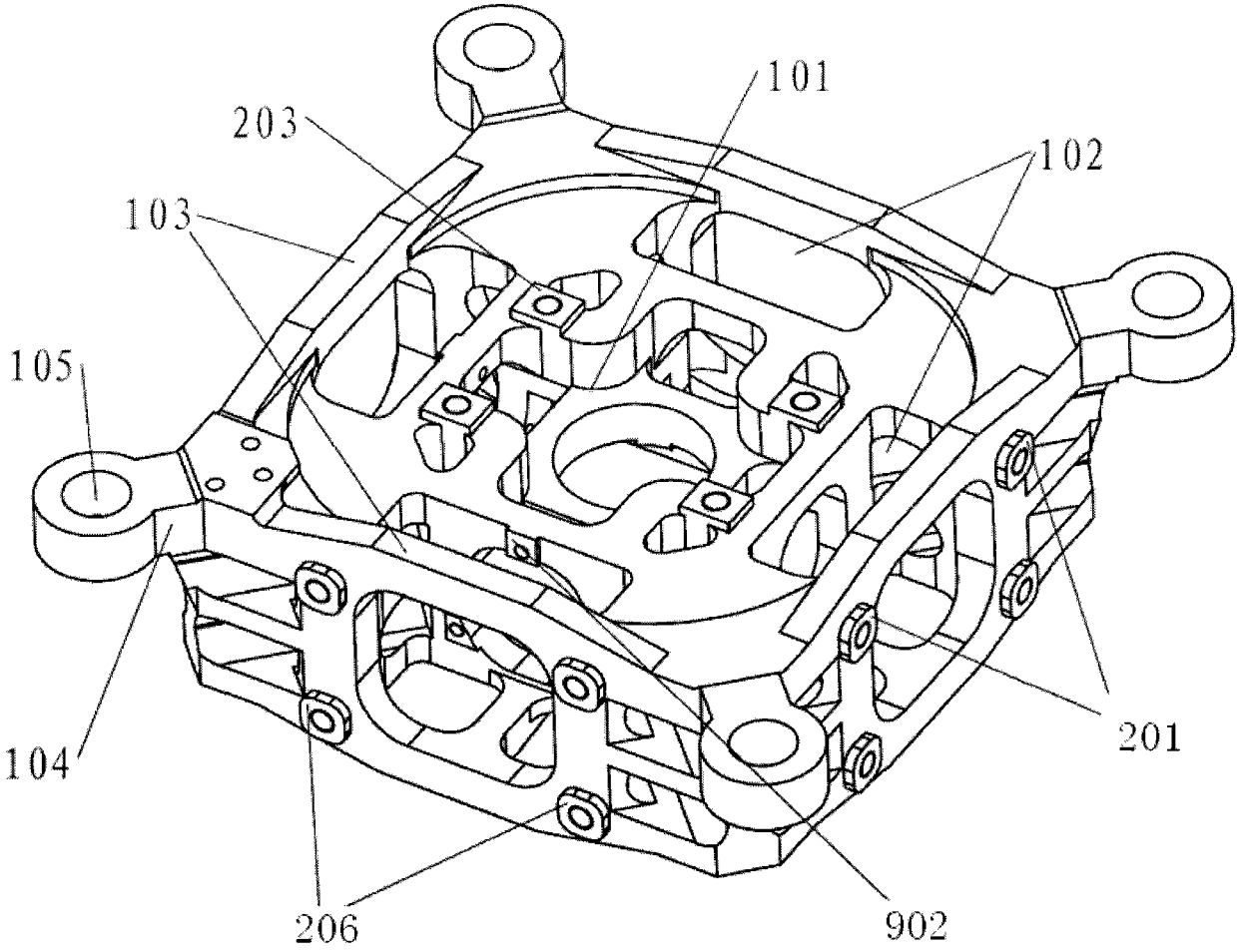


图2 (b)

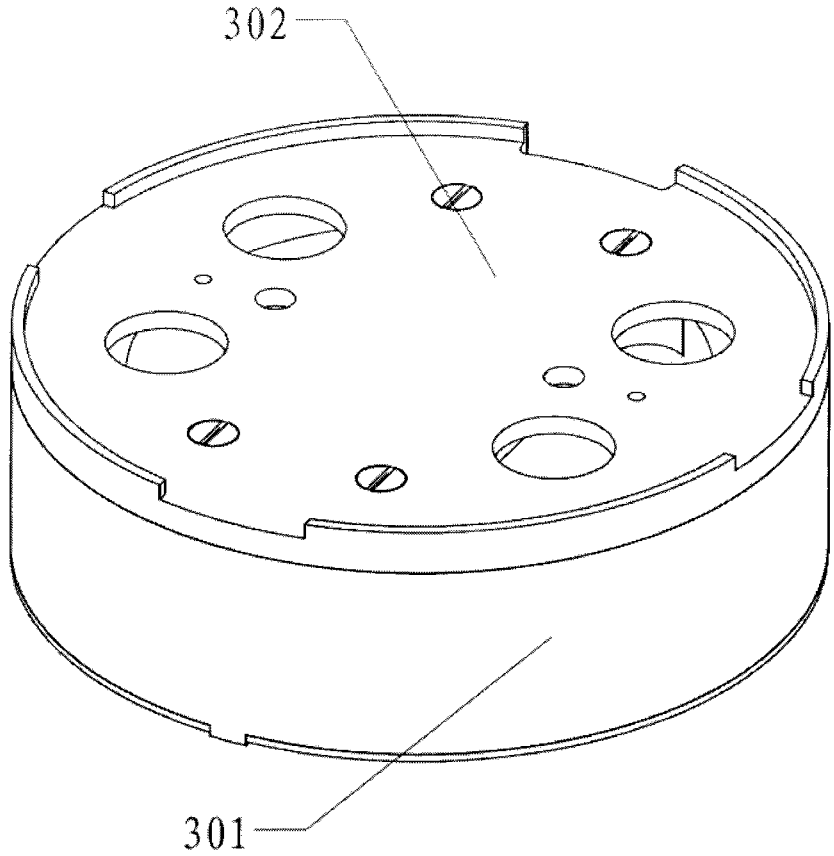


图3 (a)

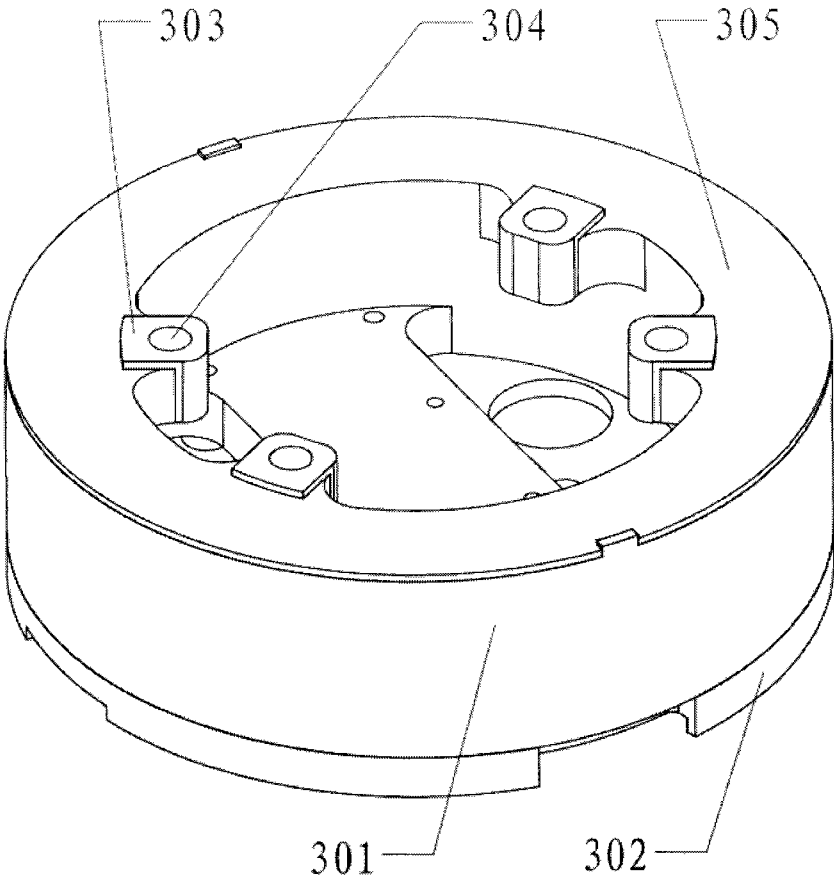


图3 (b)

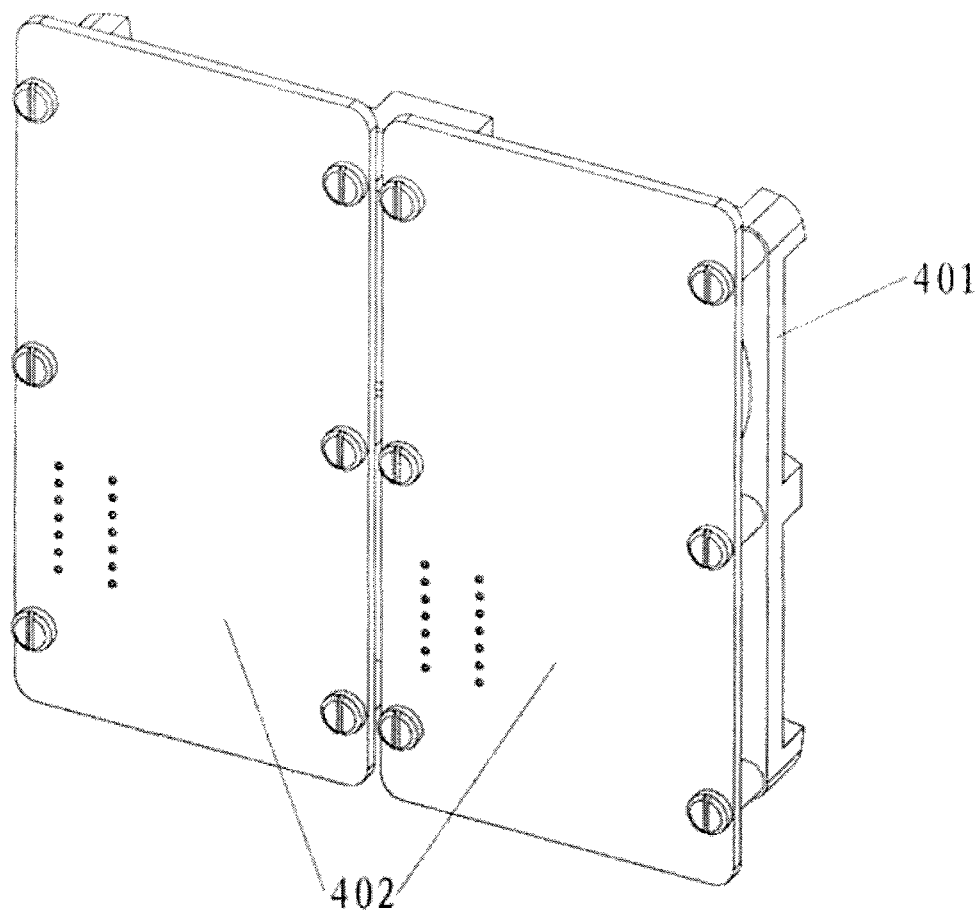


图4 (a)

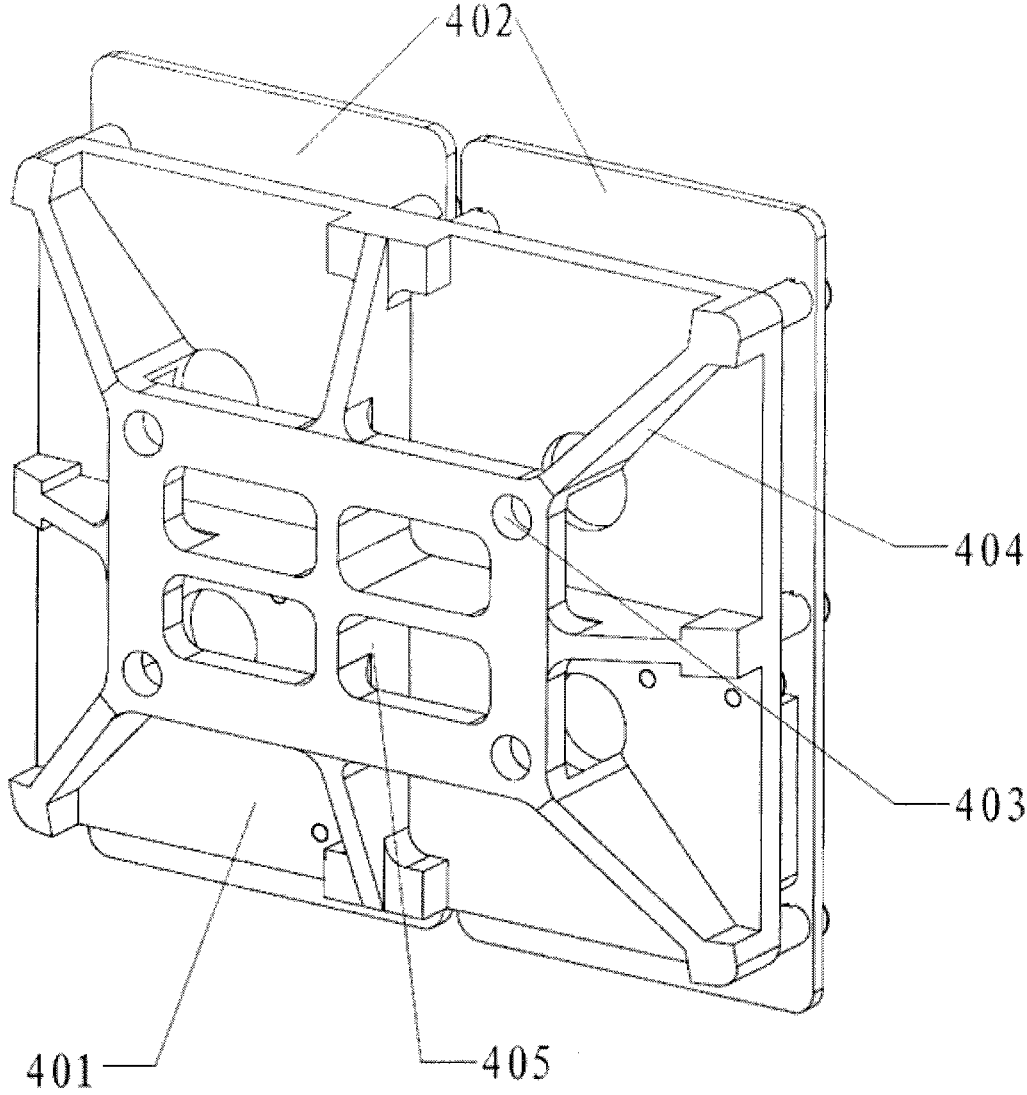


图4 (b)

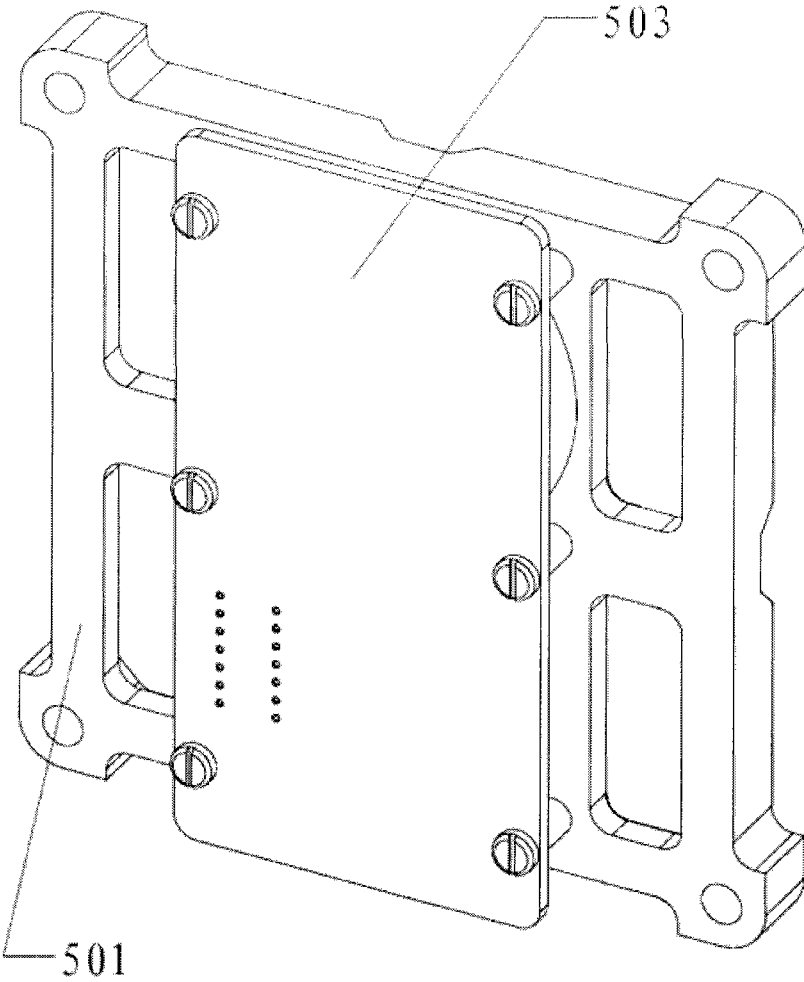


图5 (a)

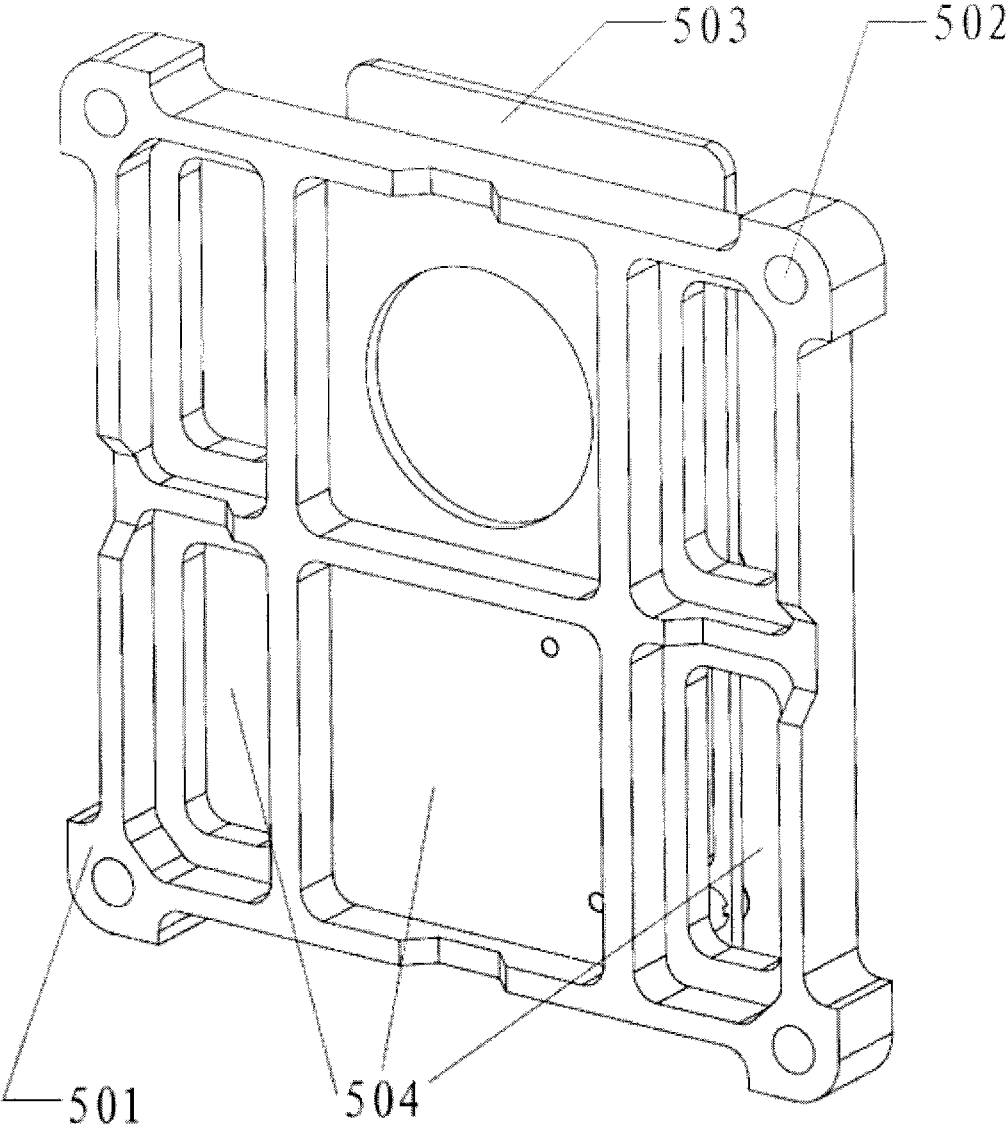


图5 (b)

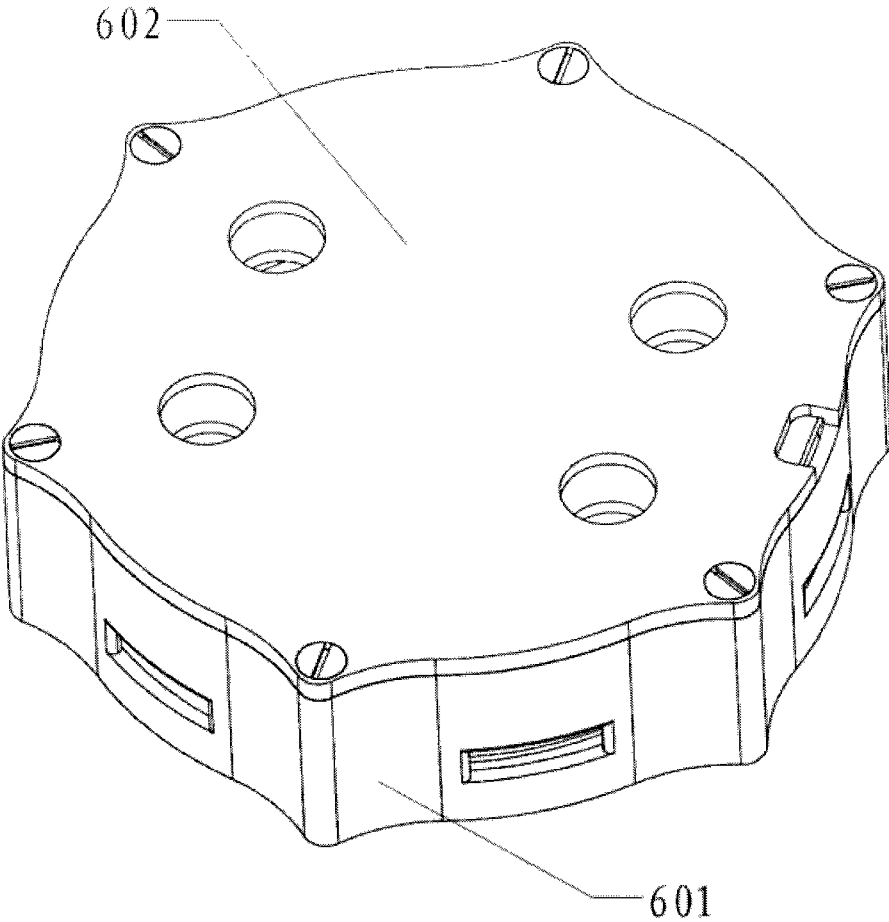


图6 (a)

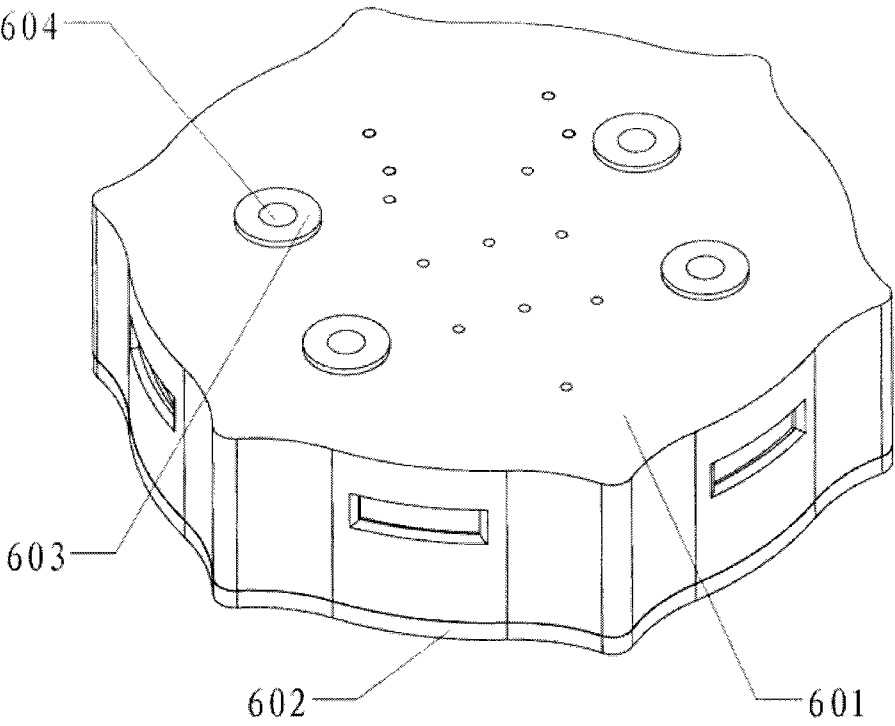


图6 (b)

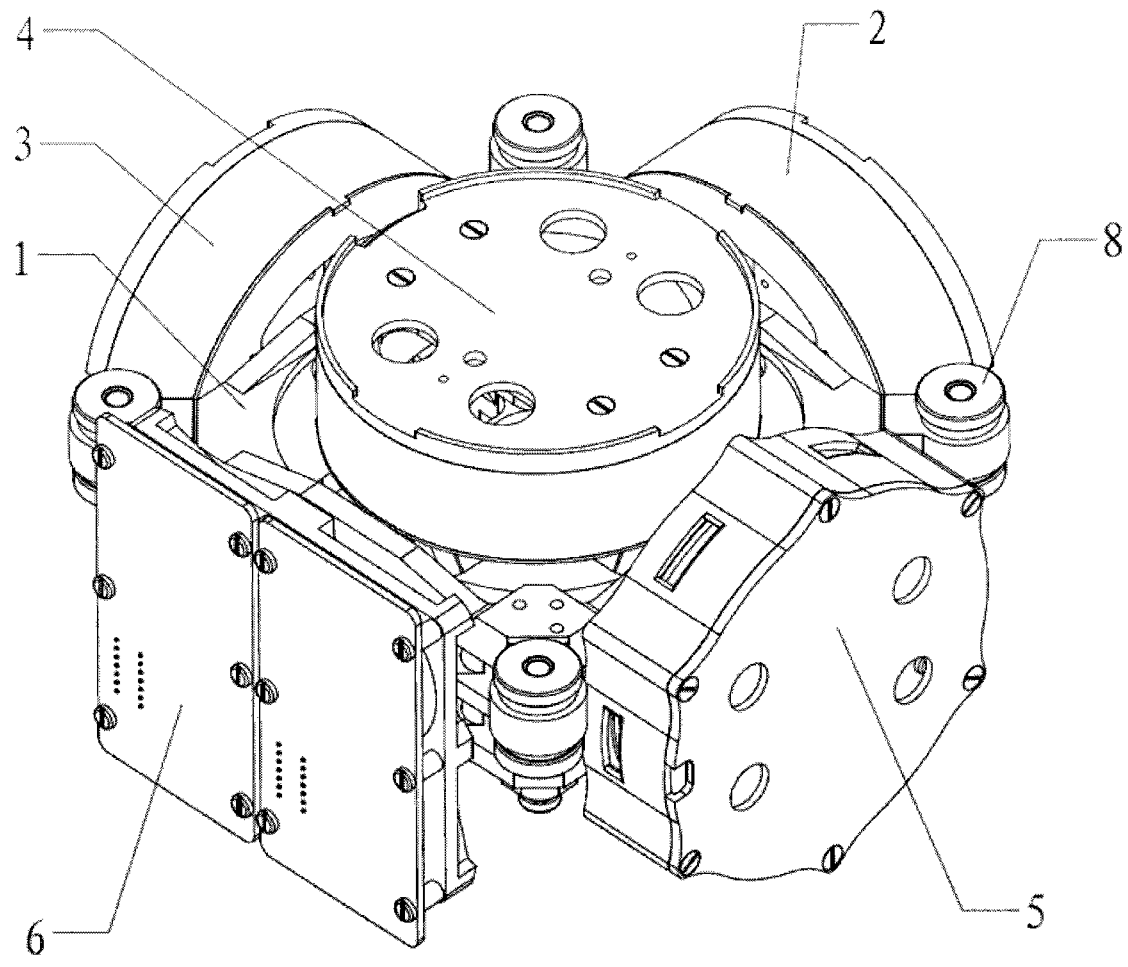


图7

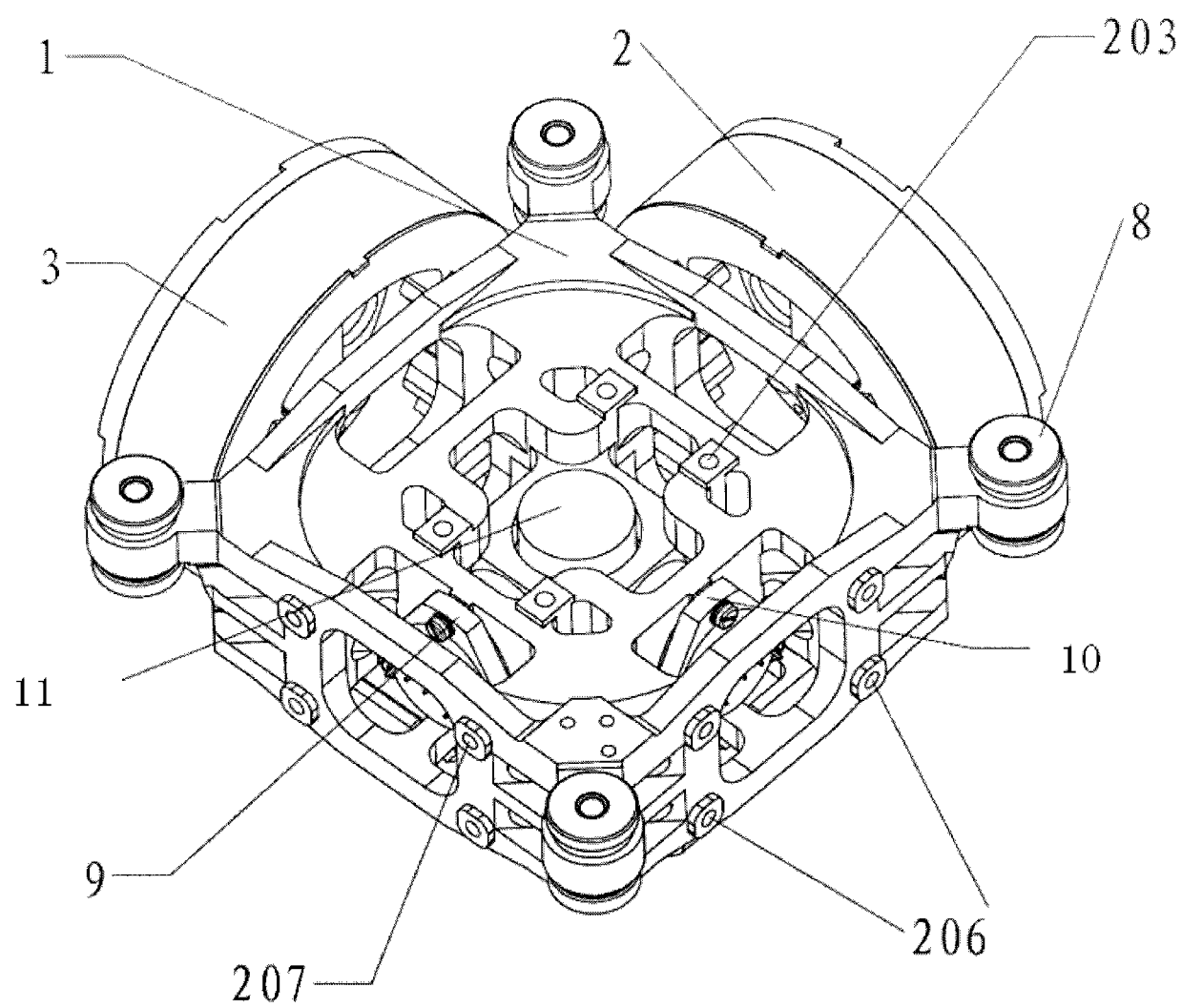


图8