



(21) 申请号 202411290729.7

(22) 申请日 2024.09.14

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 118794875 A

(43) 申请公布日 2024.10.18

(73) 专利权人 吉林大学

地址 130012 吉林省长春市前进大街2699号

(72) 发明人 马志超 李超凡 李傢楷 杨铮

张微 解鸿偲 李沂澄 佟帅

熊俊明 郭子馨 沈郭祥 赵宏伟
任露泉

(74) 专利代理机构 成都乔一乔专利代理事务所

(普通合伙) 51436

专利代理师 孙雪涛

(51) Int.Cl.

G01N 19/02 (2006.01)

G01M 99/00 (2011.01)

(56) 对比文件

CN 107132183 A, 2017.09.05

CN 115629004 A, 2023.01.20

审查员 王鑫

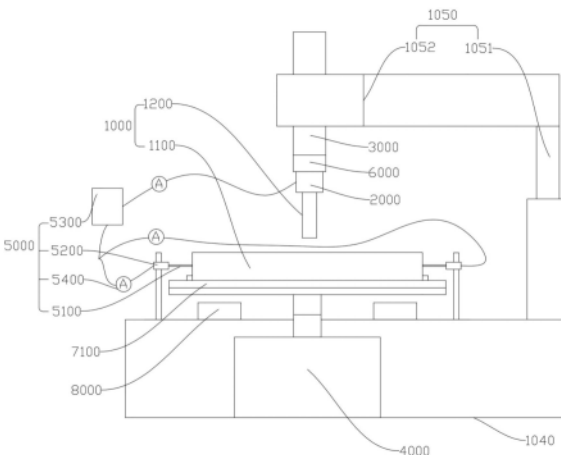
权利要求书2页 说明书6页 附图16页

(54) 发明名称

一种盘销式原位载流摩擦测试系统

(57) 摘要

本发明公开了一种盘销式原位载流摩擦测试系统,属于摩擦性能测试技术领域,包括盘销式摩擦副、电流加载机构和磁场生成机构,其中,电流加载机构包括导电端子,导电端子抵接盘状试样的环形侧壁,用于引导盘状试样中的电流沿水平方向流动,磁场生成机构用于产生磁场,当销状试样与盘状试样相对旋转时,销状试样、导电端子和磁场生成机构相对静止,盘状试样中沿水平方向流动的电流在磁场的作用下产生的安培力正对支撑台,使得盘状试样压紧支撑台,增加两者之间的摩擦力,从而将盘状试样固定在支撑台上。本发明操作简单,而且固定过程中不会导致盘状试样挤压变形,可以提高盘状试样的测试精度。



1. 一种盘销式原位载流摩擦测试系统,其特征在于,包括:

盘销式摩擦副,所述盘销式摩擦副包括水平布置的盘状试样和竖直布置的销状试样;

用于夹持所述销状试样的夹持机构;

用于推动所述销状试样竖直移动的轴向力加载机构;

用于驱动所述盘状试样和所述销状试样相对旋转的旋转动力机构;

用于测量所述盘状试样和所述销状试样之间的作用力的力测量机构;

用于支撑所述盘状试样的支撑台;

用于向所述盘状试样和所述销状试样之间的接触面加载电流的电流加载机构,所述电流加载结构包括导电端子,所述导电端子抵接所述盘状试样的环形侧壁,引导所述盘状试样中的电流沿水平方向移动;

用于产生磁场的磁场生成单元;

其中,当所述销状试样与所述盘状试样相对旋转时,所述销状试样、所述导电端子和所述磁场相对静止,且所述盘状试样中沿水平方向流动的电流在所述磁场的作用下产生正对所述支撑台的安培力。

2. 根据权利要求1所述的一种盘销式原位载流摩擦测试系统,其特征在于,还包括对中机构,用于使所述盘状试样的中心线与所述支撑台的转轴同轴布置。

3. 根据权利要求2所述的一种盘销式原位载流摩擦测试系统,其特征在于,

所述对中机构包括:

支撑台,所述转轴与所述支撑台固定连接并沿所述支撑台的中心线延伸,所述支撑台上绕所述转轴圆周阵列布置有多个贯穿所述支撑台的第一导轨;

环状并同轴套设于所述转轴外壁的旋转盘,所述旋转盘上绕所述转轴圆周阵列布置有多个贯穿所述旋转盘的第二导轨;

多个销钉件,每个销钉件包括杆部和位于杆部两端的两个头部;

其中,每个所述销钉件对应一个所述第一导轨和一个所述第二导轨,所述销钉件的杆部穿过所述第一导轨和所述第二导轨,所述销钉件的两个所述头部位于所述第一导轨和所述第二导轨的两侧;当所述支撑台与所述旋转盘相对旋转时,所述第一导轨引导所述销钉件沿第一方向移动,所述第二导轨引导销钉件沿第二方向移动,所述第一方向和所述第二方向位于同一平面内且两者之间的夹角为锐角或钝角。

4. 根据权利要求3所述的一种盘销式原位载流摩擦测试系统,其特征在于,所述转轴包括:

由相互垂直的第一铰接轴和第二铰接轴固定连接而成的十字形铰接轴;

与所述支撑台固定连接并沿所述支撑台中心线延伸的第一轴段,所述第一轴段与所述第一铰接轴铰接;

与所述第二铰接轴铰接的第二轴段,所述第二轴段的环形侧壁设有环形凸台;

多根沿所述环形凸台圆周布置的顶杆,用于调整所述支撑台的倾斜角度,每根所述顶杆均穿过所述环形凸台并与所述环形凸台螺纹连接,所有顶杆的中心线均平行于所述第二轴段的中心线。

5. 根据权利要求4所述的一种盘销式原位载流摩擦测试系统,其特征在于,还包括水平度校准机构,用于校准所述盘状试样背离所述转轴的端面的水平度,所述水平度校准机构:

筒体；

环形筒,所述环形筒经支撑架承载于所述筒体内,且所述环形筒的中心线与所述筒体的中心线平行,所述第二轴段能够插入所述环形筒中并与其间隙配合；

与所述筒体以可拆卸方式固定连接的水平板,所述环形筒的中心线垂直于所述水平板正对所述环形筒的端面,且所述水平板能够沿所述环形筒的中心线移动。

6.根据权利要求1所述的一种盘销式原位载流摩擦测试系统,其特征在于,还包括原位测试设备,所述原位测试设备包括:

高速相机,用于捕捉所述盘销式摩擦副测试时电弧的瞬态现象；

红外热像仪,用于采集所述盘销式摩擦副测试时的温度信息；

声发射传感器,用于采集所述盘销式摩擦副测试时的声学信号。

一种盘销式原位载流摩擦测试系统

技术领域

[0001] 本发明涉及摩擦性能测试技术领域,具体为一种盘销式原位载流摩擦测试系统,用于测试物体的载流摩擦性能。

背景技术

[0002] 载流摩擦是在摩擦副摩擦的同时通电流,电流的引入增加了摩擦现象的复杂性,涉及多因素多变量的耦合作用,目前,各变量之间的耦合机制不清,材料失效的机制不清,因此,需要使用载流摩擦测试设备进行深入研究。

[0003] 盘销式载流摩擦测试设备是一种比较常见的摩擦测试设备,其摩擦副由销状试样和盘状试样组成,测试时,销状试样相对于盘状试样滑动,这需要对盘状试样进行固定,目前通常采用夹持装置进行固定,如图1所示,其夹持装置包括套环和位于套环侧壁的顶丝,使用时,将盘状试样放入套环中,旋转顶丝使其抵接盘状试样的侧壁,这要求盘状试样具有较强的承压能力,比如具有足够的厚度,否则易于变形,而且载流摩擦过程中,盘状试样受热变形后也容易松动,影响使用,尤其是对于薄壁盘而言,盘状试样变形后导致其与销状试样抵接的平面不再水平,使得销状试样沿盘状试样滑动时不断上下往复移动,甚至出现严重振动,影响实验数据的测定。

发明内容

[0004] 为了解决上述问题,本发明提供了一种盘销式原位载流摩擦测试系统,其设置支撑台以承载盘状试样,沿盘状试样的环状侧壁设置导电端子引导盘状试样中的电流沿水平方向流动,同时,配置磁场使得盘状试样的电流通过磁场时产生的安培力推动盘状试样压紧支撑台,从而达到将盘状试样固定在支撑台上的目的。

[0005] 本发明的具体方案如下:

[0006] 一种盘销式原位载流摩擦测试系统,包括;

[0007] 盘销式摩擦副,盘销式摩擦副包括水平布置的盘状试样和竖直布置的销状试样;

[0008] 用于夹持销状试样的夹持机构;

[0009] 用于推动销状试样竖直移动的轴向力加载机构;

[0010] 用于驱动盘状试样和销状试样相对旋转的旋转动力机构;

[0011] 用于测量盘状试样和销状试样之间的作用力的力测量机构;

[0012] 用于支撑盘状试样的支撑台;

[0013] 用于向盘状试样和销状试样之间的接触面加载电流的电流加载机构,电流加载结构包括导电端子,导电端子抵接盘状试样的环形侧壁,从而引导盘状试样中的电流沿水平方向移动;

[0014] 用于产生磁场的磁场生成单元;

[0015] 其中,当销状试样与盘状试样相对旋转时,销状试样、导电端子、导电端子和磁场相对静止,且盘状试样中沿水平方向流动的电流在磁场的作用下产生正对支撑台的安培

力,从而使得盘状试样压紧支撑台,增大两者之间的动摩擦力,达到将盘状试样固定在支撑台上的目的。

[0016] 作为本发明的一种具体实施方式,还包括对中机构,用于使盘状试样的中心线与支撑台的转轴同轴布置。

[0017] 进一步,对中机构包括:

[0018] 支撑台,转轴与支撑台固定连接并沿支撑台的中心线延伸,支撑台上绕转轴圆周阵列布置有多个贯穿支撑台的第一导轨;

[0019] 环状并同轴套设于转轴外壁的旋转盘,旋转盘上绕转轴圆周阵列布置有多个贯穿旋转盘的第二导轨;

[0020] 多个销钉件,每个销钉件包括杆部和位于杆部两端的两个头部;

[0021] 其中,每个销钉件对应一个第一导轨和一个第二导轨,销钉件的杆部穿过第一导轨和第二导轨,销钉件的两个头部位于第一导轨和第二导轨的两侧;当支撑台与旋转盘相对旋转时,第一导轨引导销钉件沿第一方向移动,第二导轨引导销钉件沿第二方向移动,第一方向和第二方向位于同一平面内且两者之间的夹角为锐角或钝角。

[0022] 作为本发明的一种具体实施方式,转轴包括:

[0023] 由相互垂直的第一铰接轴和第二铰接轴固定连接而成的十字形铰接轴;

[0024] 与支撑台固定连接并沿支撑台中心线延伸的第一轴段,第一轴段与第一铰接轴铰接;

[0025] 与第二铰接轴铰接的第二轴段,第二轴段的环形侧壁设有环形凸台;

[0026] 多根沿环形凸台圆周布置的顶杆,用于调整支撑台的倾斜角度,每根顶杆均穿过环形凸台并与环形凸台螺纹连接,所有顶杆的中心线均平行于第二轴段的中心线。

[0027] 作为本发明的一种具体实施方式,还包括水平度校准机构,用于校准盘状试样背离转轴的端面的水平度,水平度校准机构:

[0028] 筒体;

[0029] 环形筒,环形筒经支撑架承载于筒体内;且环形筒的中心线与筒体的中心线平行,第二轴段能够插入环形筒中并与其间隙配合;

[0030] 与筒体以可拆卸方式固定连接的水平板,环形筒的中心线垂直于水平板正对环形筒的端面,且水平板能够沿环形筒的中心线移动。

[0031] 作为本发明的一种具体实施方式,还包括原位测试设备,原位测试设备包括高速相机、红外热像仪和声发射传感器,其中,高速相机用于捕捉盘销式摩擦副测试时电弧的瞬态现象,红外热像仪用于采集盘销式摩擦副测试时的温度信息,声发射传感器用于采集盘销式摩擦副测试时的声学信号。

[0032] 与现有技术相比,具有以下优点:

[0033] 本发明利用载流摩擦的电流通过磁场的安培力来推动盘状试样压紧支撑台,从而将盘状试样固定在支撑台上,无须使用紧固件,操作简单,而且无须局部挤压盘状试样,不会导致其较大变形;本发明改变了盘状试样固定时的受力方向,利用支撑盘固定盘状试样不会导致盘状试样的顶部平面变形,有利于提高测试的精度;本发明适用于测试不同厚度的盘状试样,尤其是能够对薄片试样进行紧固,有利于节约盘状试样的材料,降低实验成本。

附图说明

- [0034] 图1为现有技术中盘销式原位载流摩擦测试装置的盘状试样固定装置的结构示意图；
- [0035] 图2为本发明盘销式原位载流摩擦测试系统的一个具体实施例的立体结构示意图；
- [0036] 图3为图2中盘状试样周围各部件的装配图；
- [0037] 图4为图3中对中机构的整体结构示意图；
- [0038] 图5为图4中杆部与支撑台的装配图；
- [0039] 图6为图4中杆部与旋转盘的装配图；
- [0040] 图7为图4中杆部的结构示意图；
- [0041] 图8为另一实施例中对中机构的整体结构示意图；
- [0042] 图9为图8中十字形铰接轴的结构示意图；
- [0043] 图10为图8中转轴与支撑台装配图；
- [0044] 图11为图8中对中机构配套的水平度校准机构的立体剖视图；
- [0045] 图12为图11中筒体的结构示意图；
- [0046] 图13为图11中环形筒与支撑架的装配图；
- [0047] 图14为图11中水平板的结构示意图；
- [0048] 图15为图11中水平度校准机构与图8中对中机构的装配图；
- [0049] 图16为图2中盘状试样与导电端子的布置图；
- [0050] 图17为另一实施中盘状试样与导电端子的布置图；
- [0051] 图18为本发明盘销式原位载流摩擦测试系统的又一个具体实施例的立体结构示意图；
- [0052] 图中：盘销式摩擦副1000；声发射传感器1010；高速相机1020；红外热像仪1030；基座1040；L型悬臂梁1050；立柱1051；水平梁1052；盘状试样1100；销形状试样1200；夹持机构2000；轴向力加载机构3000；旋转动力机构4000；电流加载机构5000；导电端子5100；电阻器5200；电源5300；电流表5400；电流5500；安培力5600；力测量机构6000；对中机构7000；支撑台7100；转轴7110；第一轴段7111；十字形铰接轴7113；第一铰接轴71131；第二铰接轴71132；顶杆7114；第一导轨7120；第二轴段7112；环形凸台71121；旋转盘7200；第二导轨7210；销钉件7300；杆部7310；头部7320；磁场生成机构8000；水平度校准机构9000；筒体9100；环形筒9200；支撑架9300；水平板9400。

具体实施方式

[0053] 下面结合实施例及附图,对本发明作进一步地的详细说明,但本发明的实施方式不限于此。

[0054] 实施例:请参考图2~图18,其示出了本发明盘销式原位载流摩擦测试系统的多个具体实施例的结构,本发明的盘销式原位载流摩擦测试系统包括盘销式摩擦副1000、夹持机构2000、轴向力加载机构3000、旋转动力机构4000、电流加载机构5000、力测量机构6000、支撑台7100、导电端子5100和磁场生成机构8000,其中,盘销式摩擦副1000包括盘状试样1100和销状试样1200,盘状试样1100水平布置于支撑台7100上,夹持机构2000用于夹持销

状试样1200,夹持后,销状试样1200竖直布置,销状试样1200的中心线垂直于盘状试样1100正对销状试样1200的端面(图2中盘状试样1100的上端面);轴向力加载机构3000用于推动销状试样1200沿盘状试样1100的轴向移动,从而控制销状试样1200与盘状试样1100之间的压力;旋转动力机构4000用于控制销状试样1200与盘状试样1100的相对旋转运动,从而形成动摩擦;力测量机构6000用于测量销状试样1200与盘状试样1100之间的作用力;电流加载机构5000用于加载电流,加载后,电流流经销状试样1200和盘状试样1100的接触面,电流加载机构5000包括导电端子5100,导电端子5100的一端抵接盘状试样1100的环形侧壁,用于引导盘状试样1100中的电流沿水平方向流动;磁场生成机构8000用于产生磁场,当销状试样1200与盘状试样1100相对旋转时,销状试样1200、导电端子5100和磁场生成机构8000相对静止,盘状试样1100中沿水平方向流动的电流5500在磁场的作用下产生的安培力5600正对支撑台7100,从而使得盘状试样1100压紧支撑台7100,达到将盘状试样1100固定在支撑台7100上的目的。

[0055] 本发明适用于所有能够导电的盘销式摩擦副1000,其利用电流在磁场中产生的力进行夹持,操作简单,不会损坏摩擦副,尤其是对于薄片状的盘状试样1100而言,其不需要径向的夹持力,盘状试样1100与支撑台7100的接触面积大,受力分布更加均匀,不会导致盘状试样1100严重变形,从而能够准确测定其载流摩擦性能。

[0056] 本发明中,销状试样1200与盘状试样1100相对旋转从而形成动摩擦,在一些实施例中,可以保持盘状试样1100静止,利用旋转动力机构4000驱动销状试样1200旋转,在另一些实施例中,如图2所示,也可以保持销状试样1200静止,利用旋转动力机构4000驱动盘状试样1100旋转。

[0057] 本发明中,力测量机构6000可以根据需要配置,如图2所示,选择二维力传感器,其能够测量盘状试样1100与销状试样1200之间的法向力和横向力。

[0058] 本发明中,磁场生成机构8000的具体选择有多种,比如可以通过电流来生成磁场,也可以采用现有技术中的其他方法来生成磁场,具体产生的磁场强度、方向根据需要选择即可,优先选择磁场强度可以调整的磁场生成机构8000,以便于调整盘状试样1100对支撑台7100的压力,防止盘状试样1100相对于支撑台7100滑动。

[0059] 本发明中,当旋转动力机构4000驱动盘状试样1100旋转时,如果盘状试样1100的重心与旋转动力机构4000的旋转轴不同心,则盘状试样1100处于偏心旋转状态,这会增加盘状试样1100与支撑台7100之间的静摩擦力,不利于盘状试样1100的固定,尤其是高速旋转时,容易脱落,因此,在一些实施例中,还设置有对中机构7000,用于使盘状试样1100的中心线与支撑台7100的转轴7110同轴布置,即盘状试样1100的中心线与转轴7110的中心线重合。具体的对中机构7000有多种,如图3~7所示,对中机构7000包括支撑台7100、旋转盘7200和多个销钉件7300,支撑台7100中部设有延其中心线延伸的转轴7110,支撑台7100上绕转轴7110圆周阵列布置有多个贯穿支撑台7100的第一导轨7120,旋转盘7200为环状,中部为中空部位,旋转盘7200同轴套设在转轴7110外壁,旋转盘7200上绕转轴7110圆周阵列布置有多个贯穿旋转盘7200的第二导轨7210,销钉件7300、第一导轨7120和第二导轨7210一一对应,即每个销钉件7300对应一个第一导轨7120和第二导轨7210,第一导轨7120和第二导轨7210均为渐变式槽口,即从导轨的一端到导轨的另一端,导轨的槽口的壁面与转轴7110的中心线之间的距离递增或递减,销钉件7300包括杆部7310和位于杆部7310两端的头

部7320,每个销钉件7300的杆部7310插入对应的第一导轨7120和第二导轨7210中,位于杆部7310两端的两个头部7320则位于支撑台7100、旋转盘7200两侧,且头部7320的尺寸大于第一导轨7120和第二导轨7210的槽口宽度,当支撑台7100和旋转盘7200相对旋转时,第一导轨7120引导销钉件7300沿第一方向移动,第二导轨7210引导销钉件7300沿第二方向移动,第一方向和第二方向均在同一平面内且第一方向和第二方向之间的夹角为锐角或钝角,即第一方向和第二方向既不平行也不垂直,因此,当旋转旋转盘7200时,所有销钉件7300同步沿支撑台7100的第一导轨7120移动,从而使得盘状试样1100的中心线与转轴7110的中心线重合。

[0060] 在一些实施例中,为了增加盘状试样1100与支撑台7100之间的摩擦力,可以将支撑台7100与盘状试样1100接触的面进行粗糙设置,比如,支撑台7100正对盘状试样1100的一侧为粗糙表面。

[0061] 在实际测试时,存在盘状试样1100的两个平面(顶部平面和底部平面)不平行的情况,对此,需要调整盘状试样1100正对销状试样1200的平面的水平度,即调整图2中盘状试样1100的顶部平面,使其完全水平,因此,可以对转轴7110进行一些改进以便于调整支撑台7100的倾斜角,在一些实施例中,如图8~10所示,转轴7110包括第一轴段7111、第二轴段7112、十字形铰接轴7113和多个顶杆7114,十字形铰接轴7113由相互垂直的第一铰接轴71131和第二铰接轴71132固定连接而成,第一轴段7111与第一铰接轴71131铰接,第二轴段7112与第二铰接轴71132铰接,从而使得第一轴段7111与第二轴段7112能够沿多个方向转动,第二轴段7112的周侧壁设有环形凸台71121,多个顶杆7114沿环形凸台71121圆周布置,每根顶杆7114均穿过环形凸台71121并与环形凸台71121螺纹连接,所有顶杆7114的中心线均平行于第二轴段7112的中心线。因此,能够通过顶杆7114调整支撑台7100的中心线与第二轴段7112的中心线的夹角,即调整支撑台7100的倾斜角度,从而调整盘状试样1100背对转轴7110的端面的水平度。

[0062] 此外,一般采用水准泡来校准水平度,这需要反复调整各个顶杆7114,耗时较长,为此,本发明还配套设置了一种新的水平度校准机构9000,其能够快速校准盘状试样1100水平度,如图11~14所示,该水平度校准机构9000包括筒体9100、环形筒9200、支撑架9300和水平板9400,环形筒9200经支撑架9300承载于筒体9100内,且环形筒9200与筒体9100同轴布置,第二轴段7112能够插入环形筒9200中并与其间隙配合;水平板9400以可拆卸的方式与筒体9100固定连接,比如螺纹连接,如此,水平板9400能够沿环形筒9200的中心线移动,且环形筒9200的中心线垂直于水平板9400正对环形筒9200的端面。使用时,如图15所示,将第二轴段7112插入环形筒9200中,使得环形筒9200抵接环形凸台71121,然后将水平板9400与筒体9100连接,如此,就可以使得盘状试样1100背对转轴7110的端面与水平板9400贴合,从而使得盘状试样1100抵接水平板9400的端面与第二轴段7112的中心线垂直,接着旋转顶杆7114固定支撑台7100。

[0063] 本发明中,阻止电流沿转轴7110流动可增大沿盘状试样1100水平面流动的电流强度,有利于增强盘状试样1100与支撑台7100之间的摩擦力,从而避免两者相对滑动,在一些实施例中,可以设置绝缘部件阻止电流沿支撑台7100流动,绝缘部件的形式和位置可以根据需要设定,比如支撑台7100和旋转盘7200选用绝缘材质,两者就可以充当绝缘部件。

[0064] 本发明中,导电端子5100可以采用电刷,其数量可以根据需要选择,比如选择1个

或两个或多个,当选择两个或多个导电端子5100时,所有导电端子5100沿盘状试样1100圆周布置成并联状态,每个导电端子5100均需要串联一个电阻器5200,以避免导电端子5100短路,如图16和图17所示,为了使得电流在各个导电端子5100间均匀分配,可以选用能够调节电阻值的电阻器5200,即变阻器,同时每个变阻器均串联一个电流表5400,以便观察各支路的电流。当采用至少两个导电端子5100时可以统一设置一个磁场生成机构8000,也可以为每个导电端子5100分别配套一个磁场生成机构8000。

[0065] 本发明中,还可以根据需要增设其他的原位测试设备,比如在一些实例中,如图18所示,其还设置有声发射传感器1010、高速相机1020和红外热像仪1030,高速相机1020可用于捕捉电弧的瞬态现象,红外热像仪1030可用于采集载流摩擦副附近的温度信息,声发射传感器1010能够采集到材料表面发生破损时产生的声学信号,声发射传感器1010可被用来监测轴承,发动机,刀具磨损,建筑物损伤等级的监测,这些场景涉及到裂纹产生、材料破损和原子键的断裂,与摩擦磨损有相通之处。所以,同时集成声发射传感器1010、高速相机1020和红外等原位测试装备可有助于更加透彻地研究载流摩擦失效机制。

[0066] 在一些实施例中,为了调整盘状试样1100和销状试样1200的相对滑动速度,可以设置L型悬臂梁1050,用于承载销状试样1200并带动销状试样1200沿位于盘状试样1100外且沿竖直方向延伸的立柱1051旋转,从而改变销状试样1200与盘状试样1100中心的距离,如图2所示,旋转动力机构4000承载于基座1040里,L型悬臂梁1050包括立柱1051和水平梁1052,立柱1051的一端与基座1040连接,另一端与水平梁1052连接,水平梁1052能够绕立柱1051的中心轴旋转,销状试样1200承载于水平梁1052上,当水平梁1052绕立柱1051的中心轴旋转时,销状试样1200的中心线与转轴7110的中心线之间的距离随之改变,从而能够调整销状试样1200相对于盘状试样1100的线速度。

[0067] 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实施例揭露的技术范围内,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。

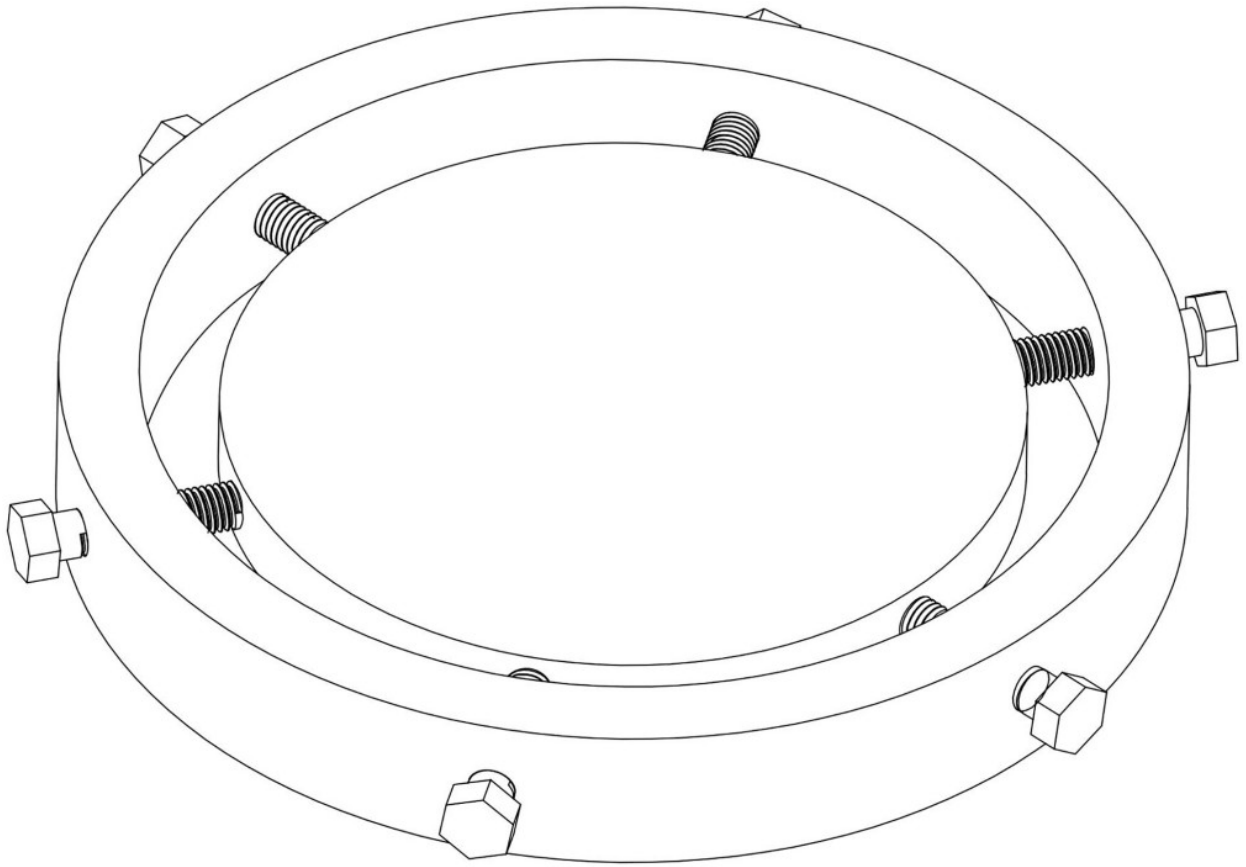


图 1

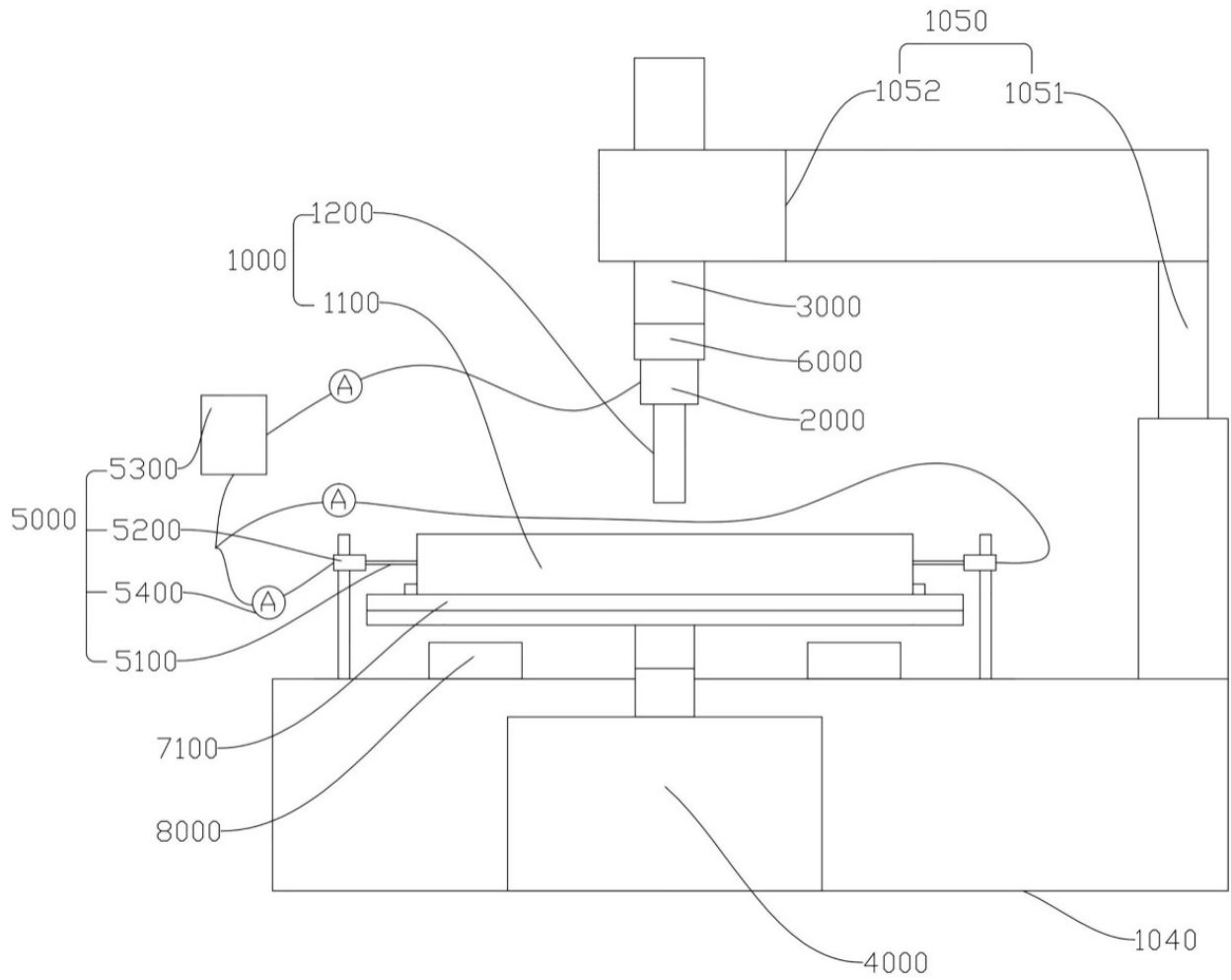


图 2

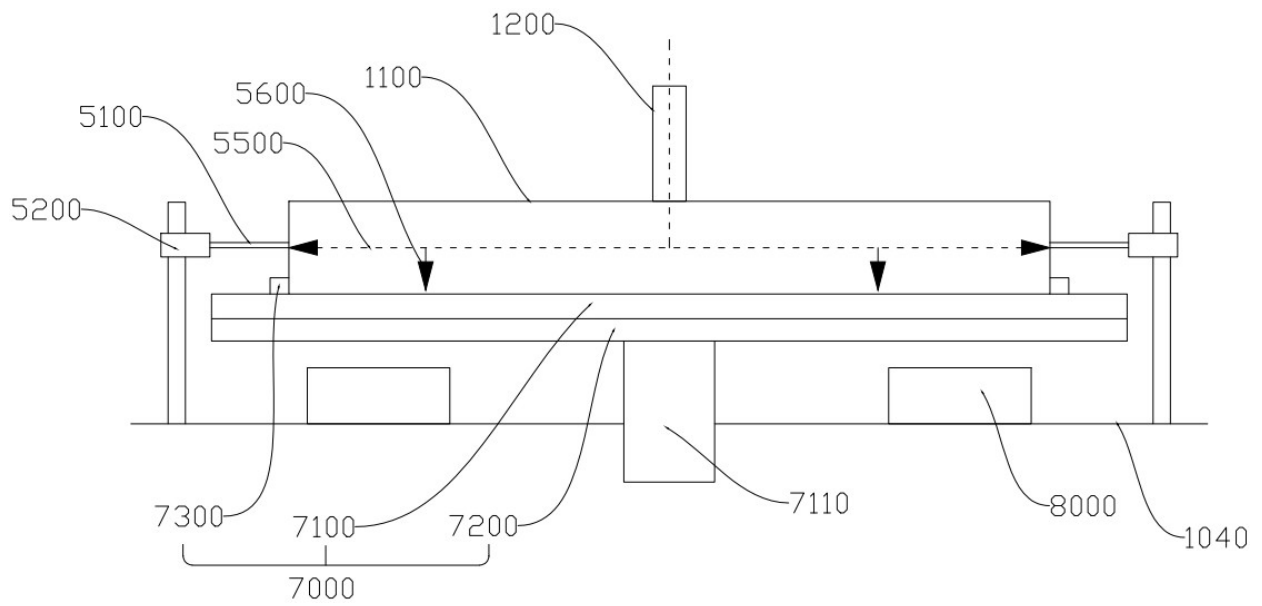


图 3

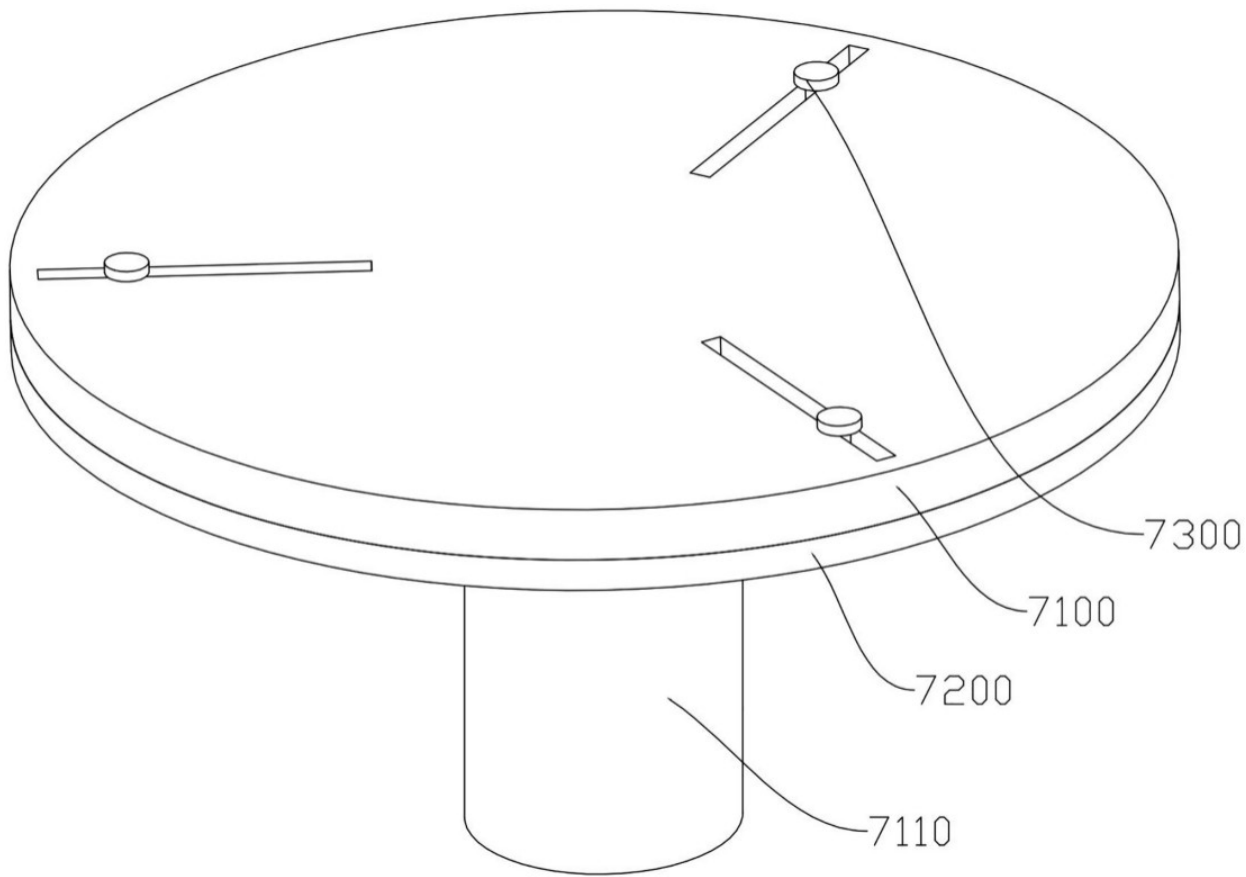


图 4

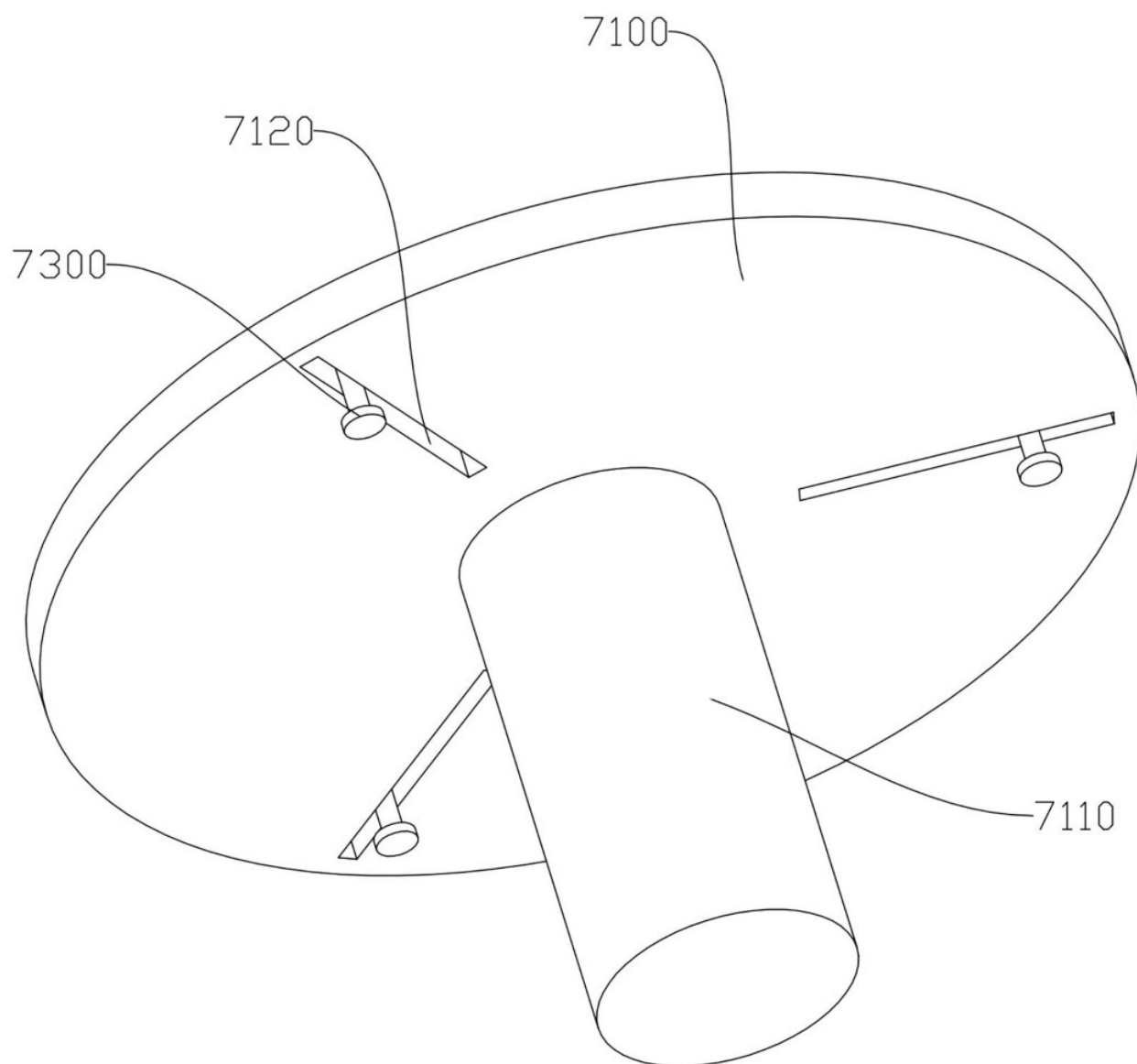


图 5

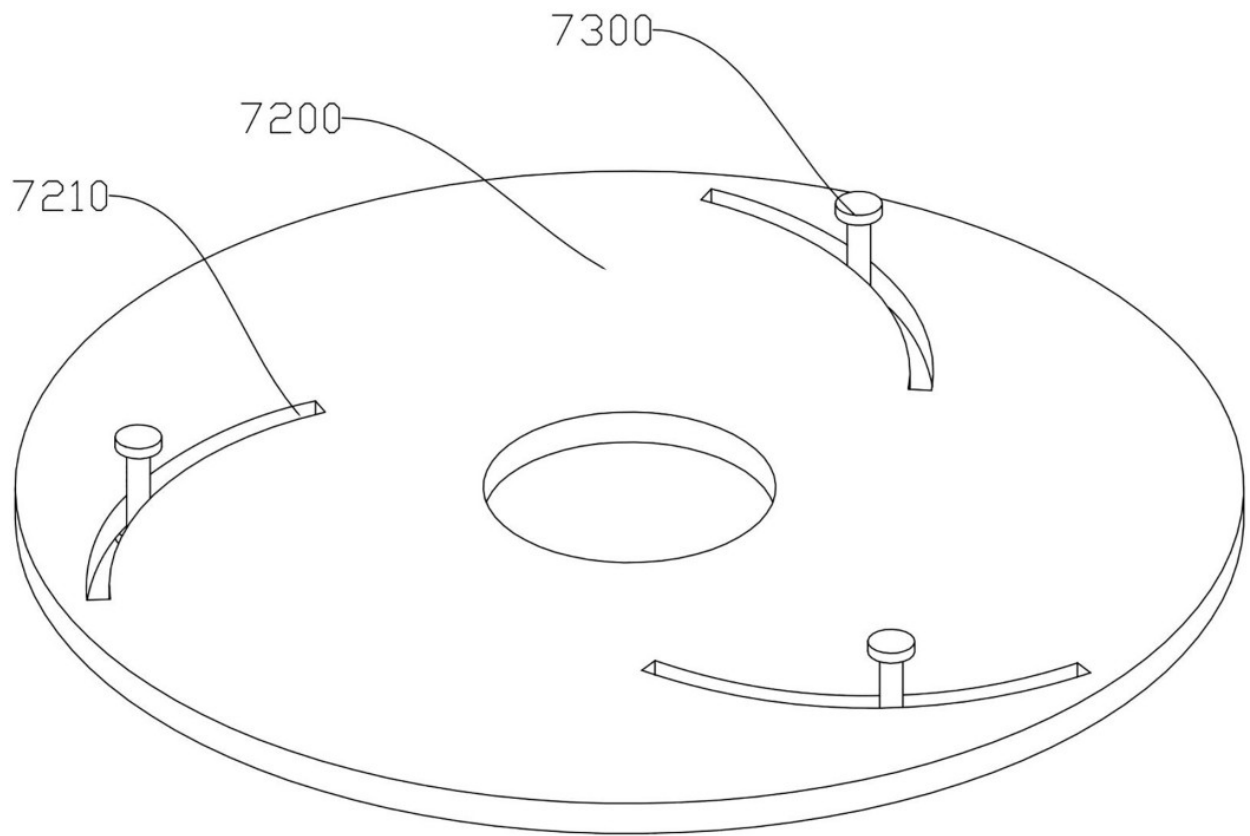


图 6

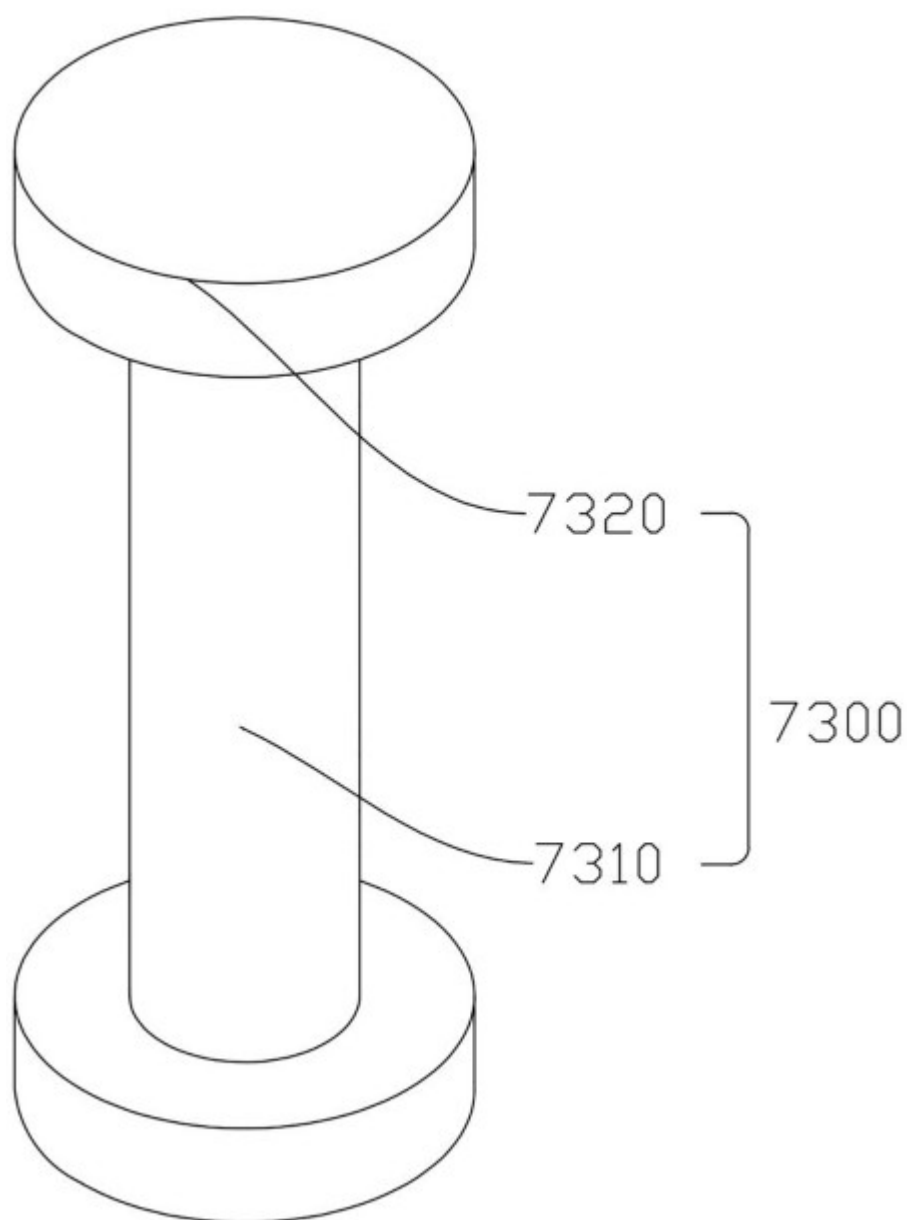


图 7

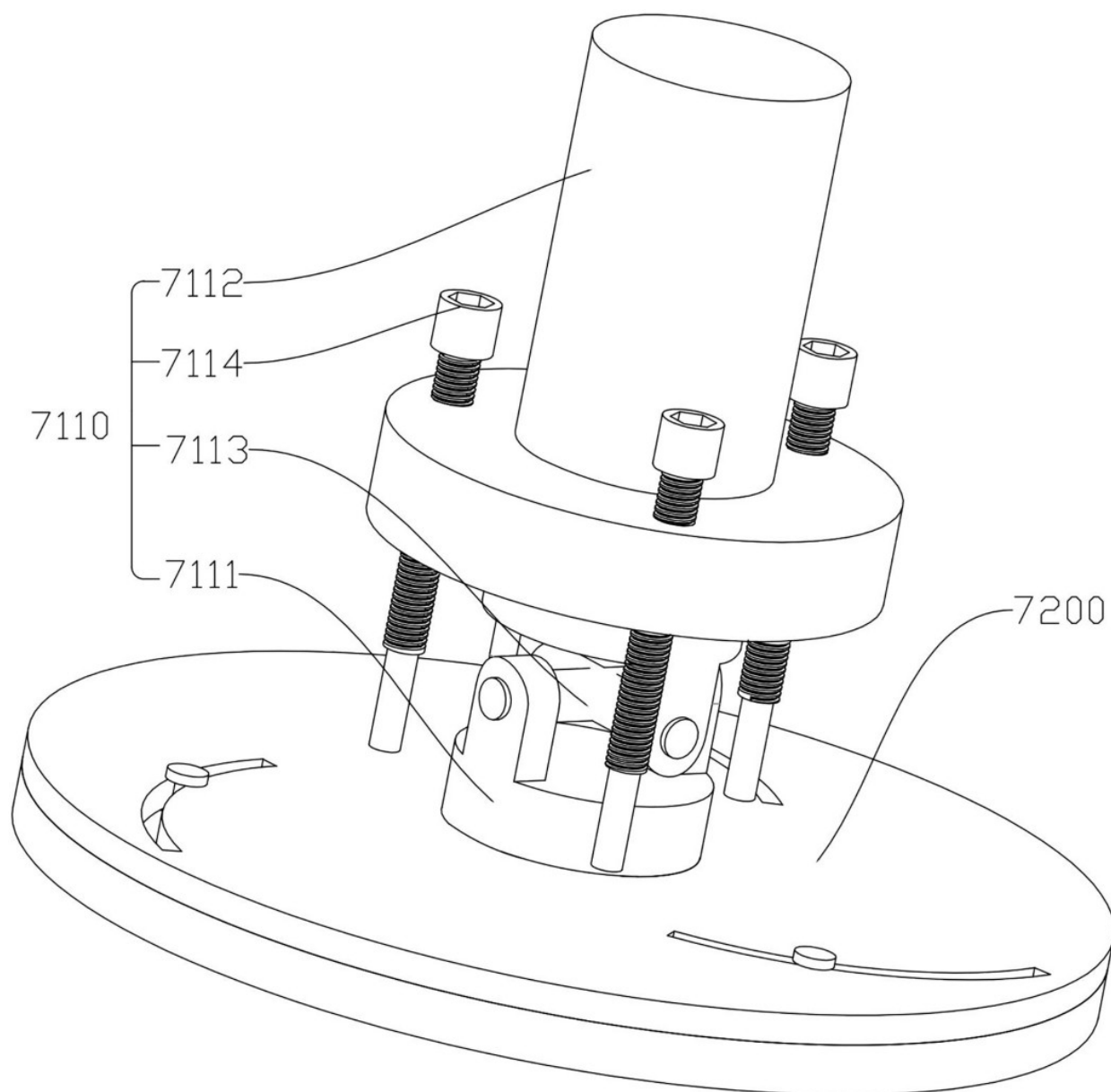


图 8

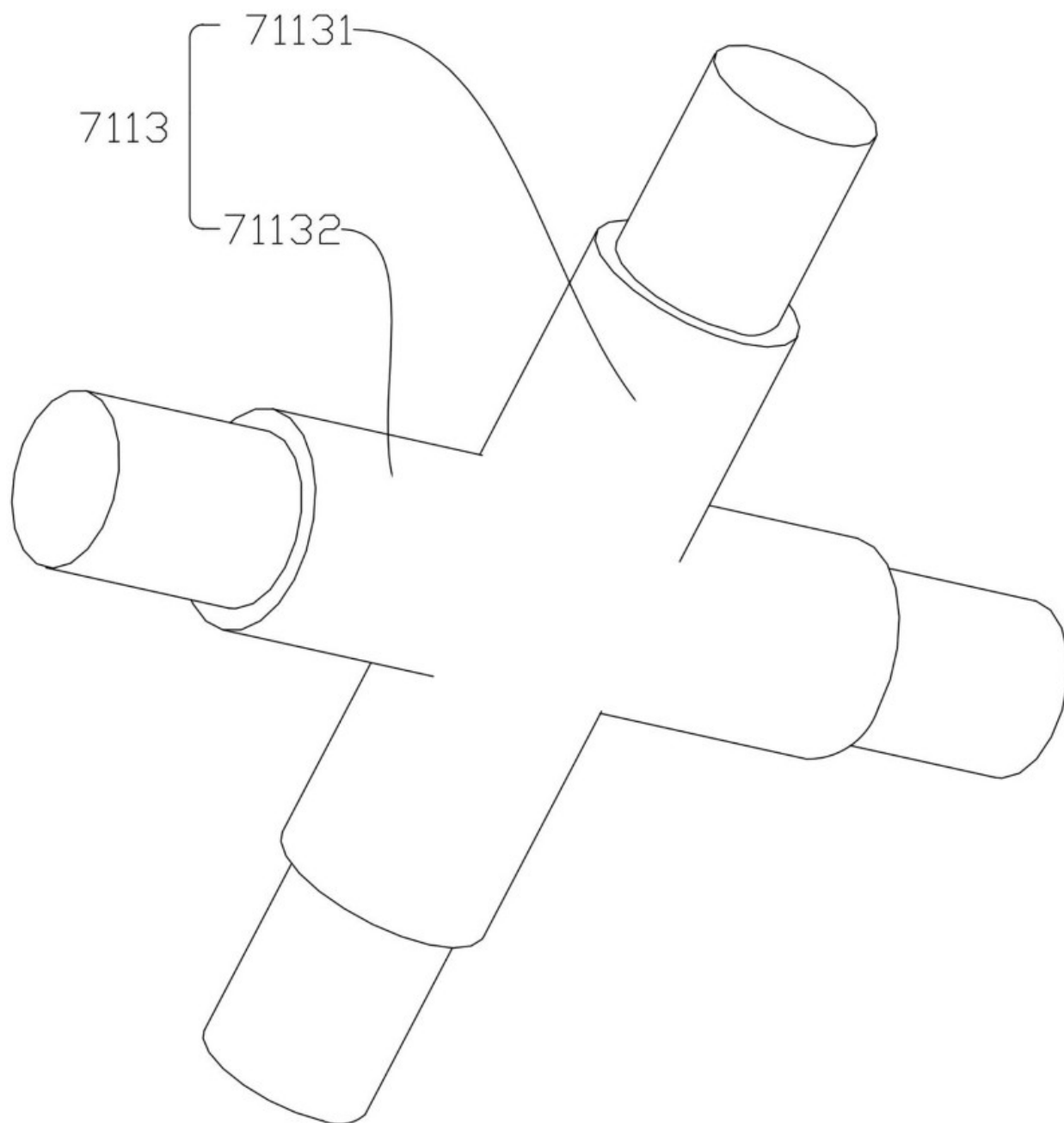


图 9

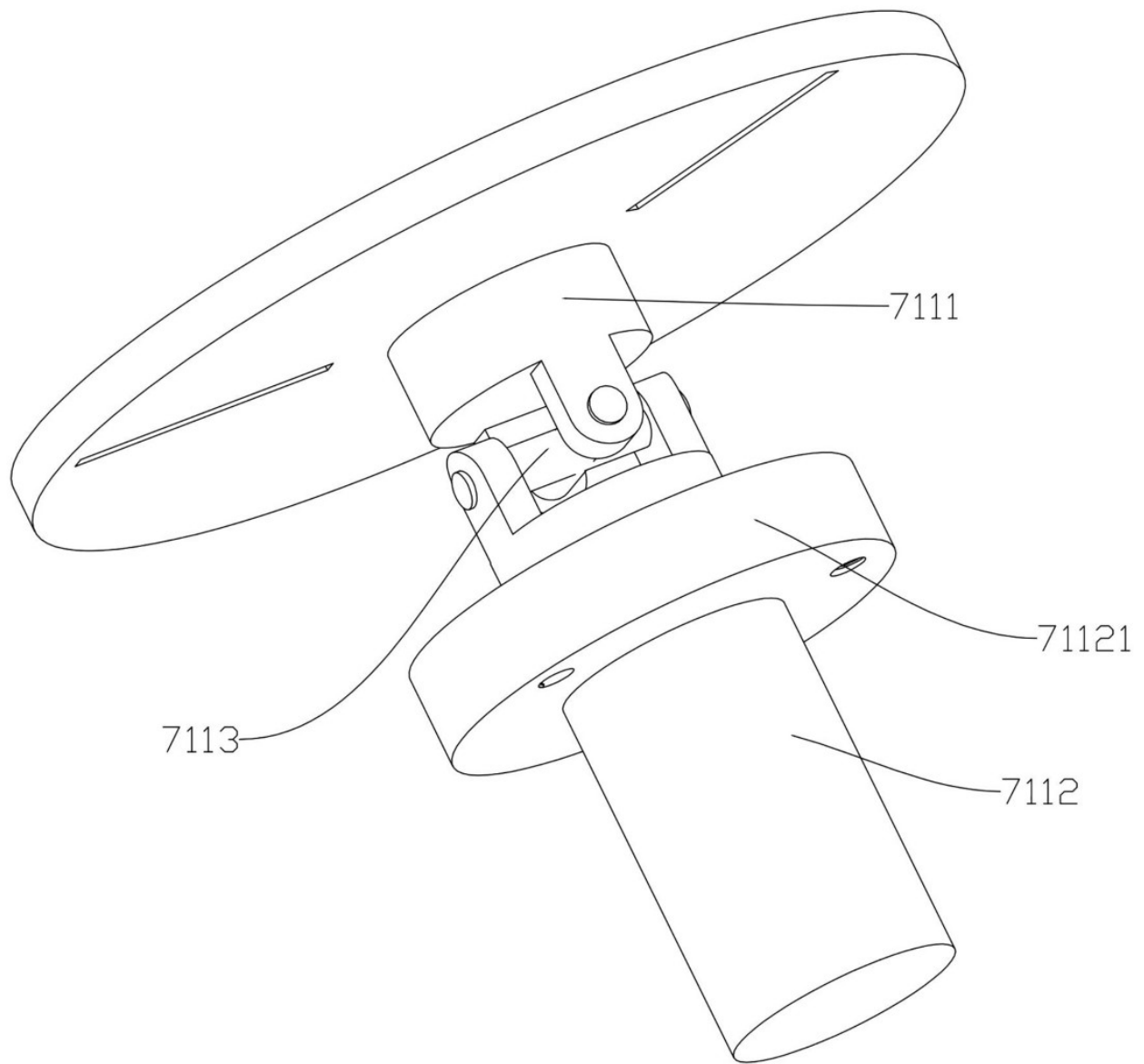


图 10

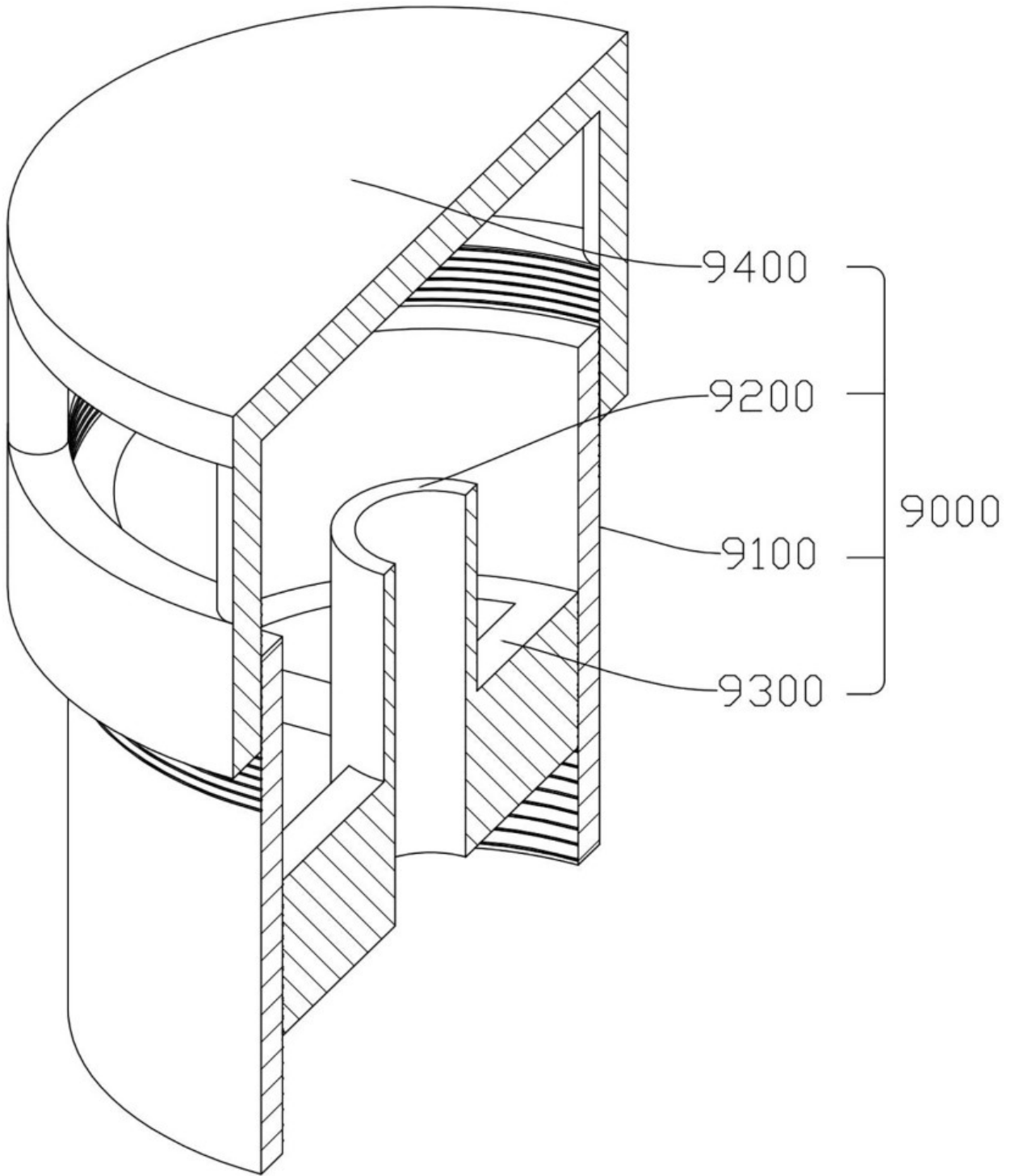


图 11

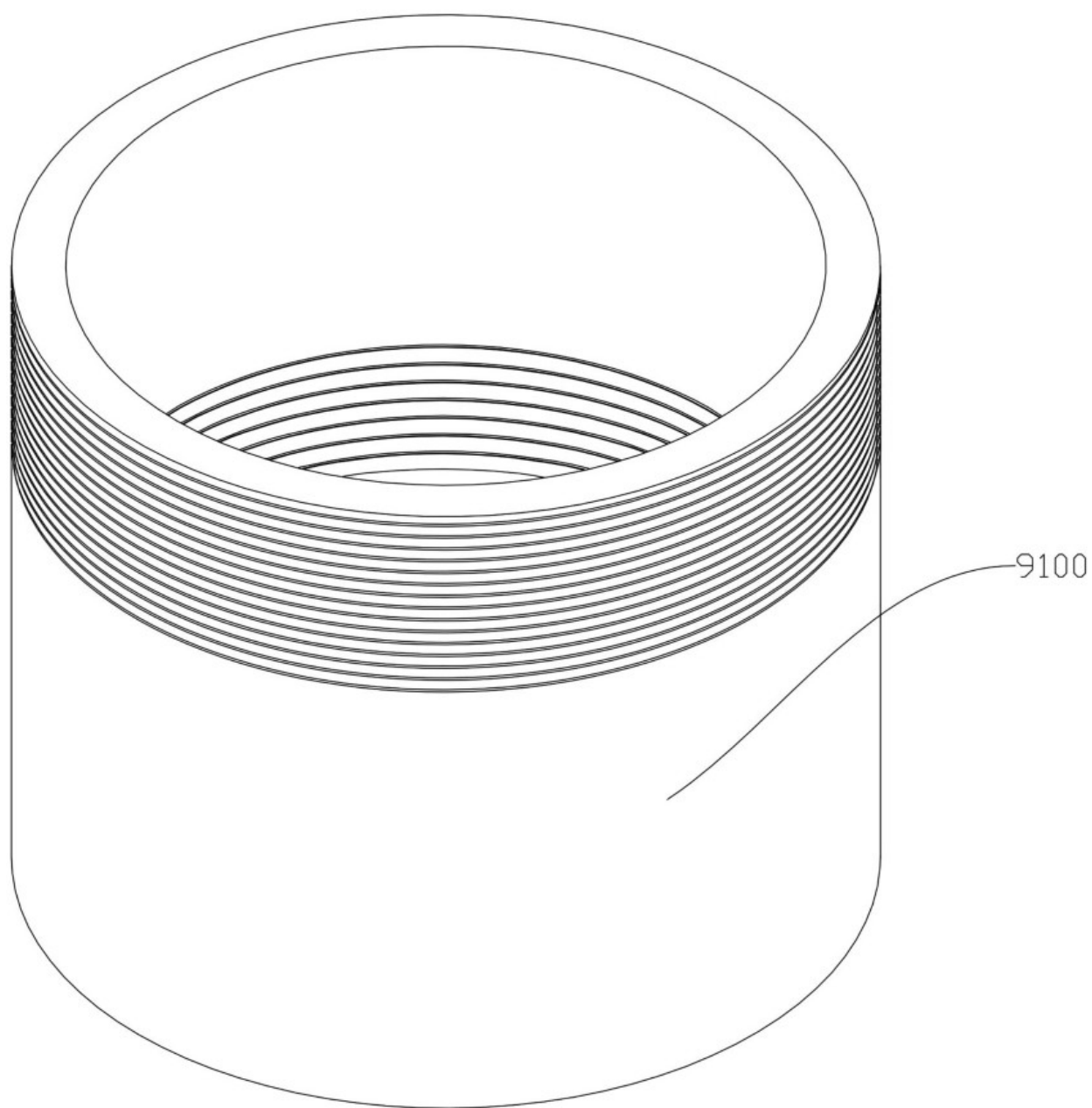


图 12

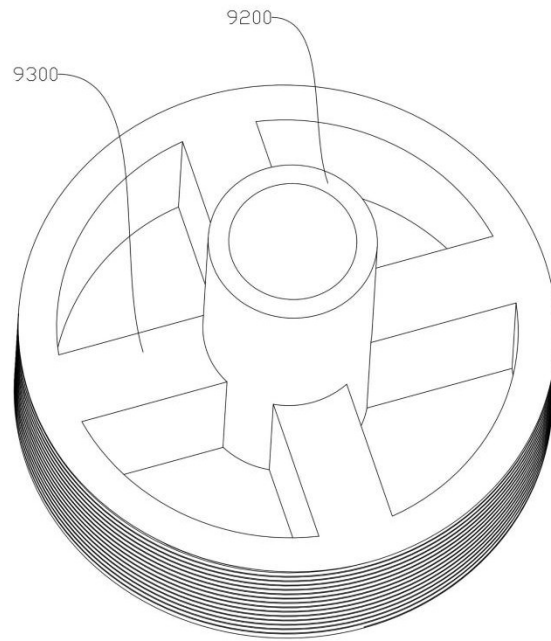


图 13

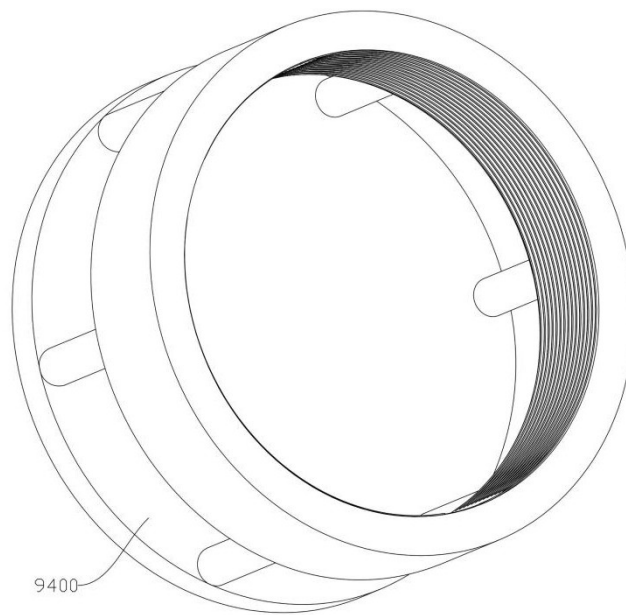


图 14

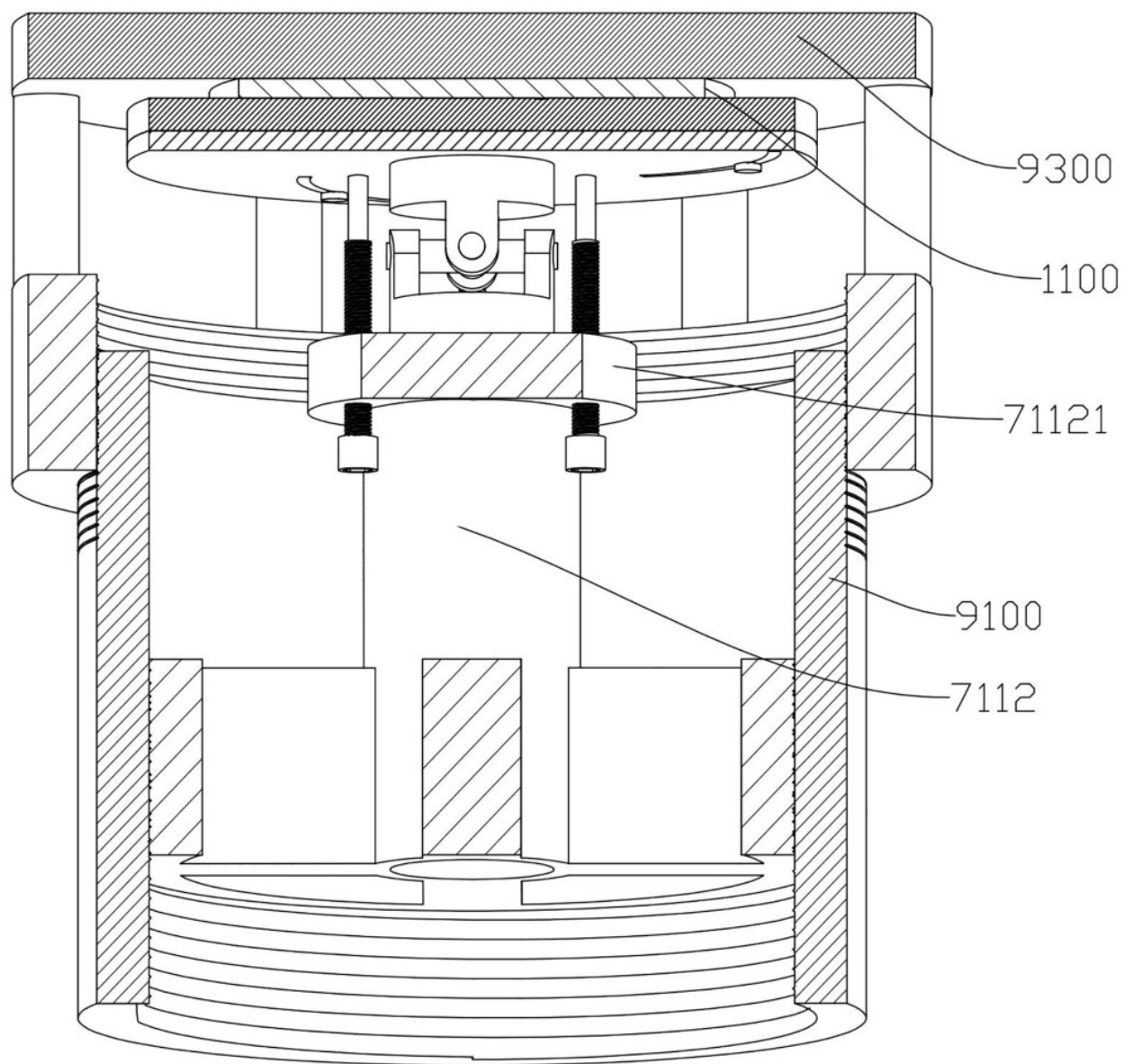


图 15

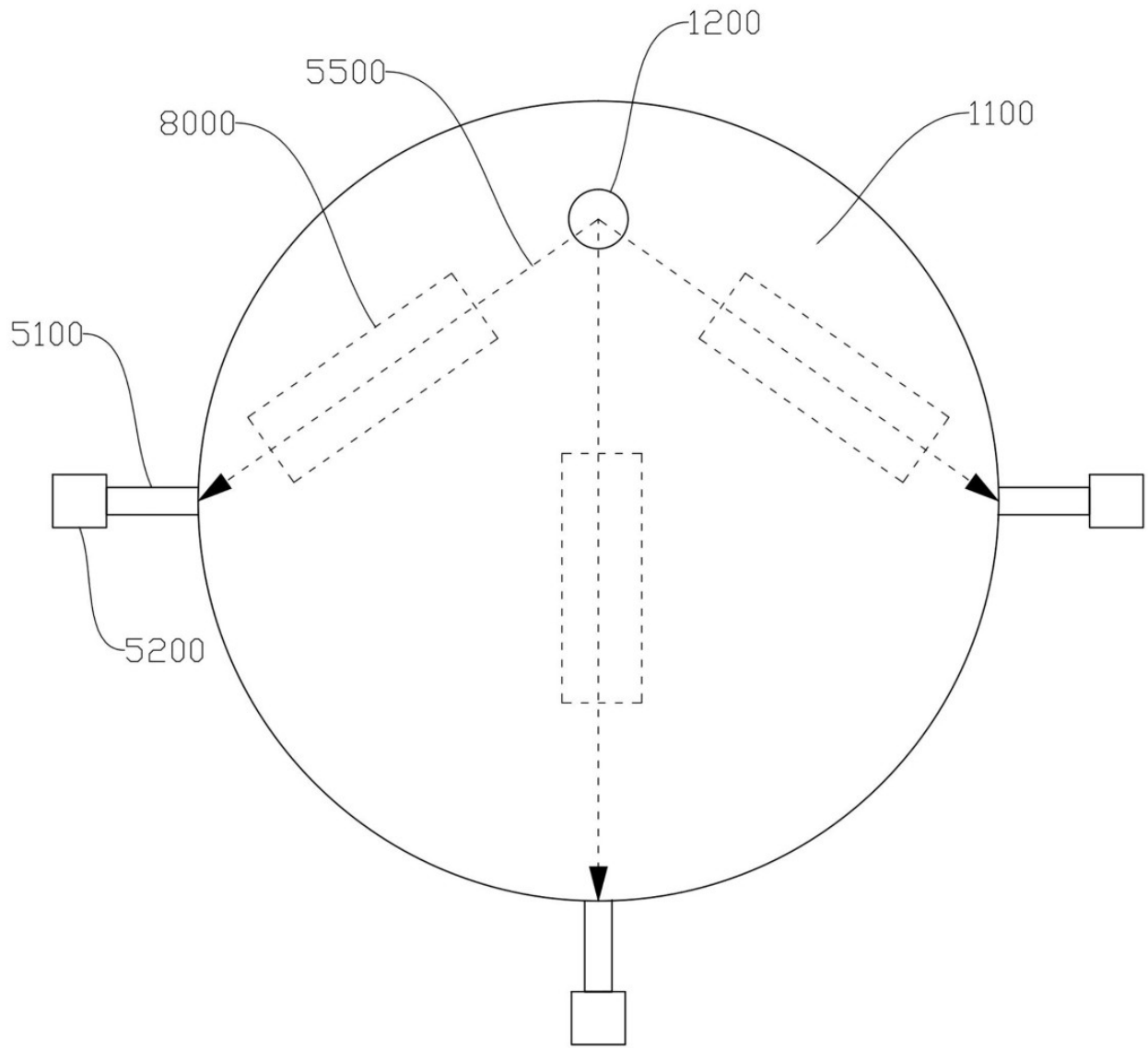


图 16

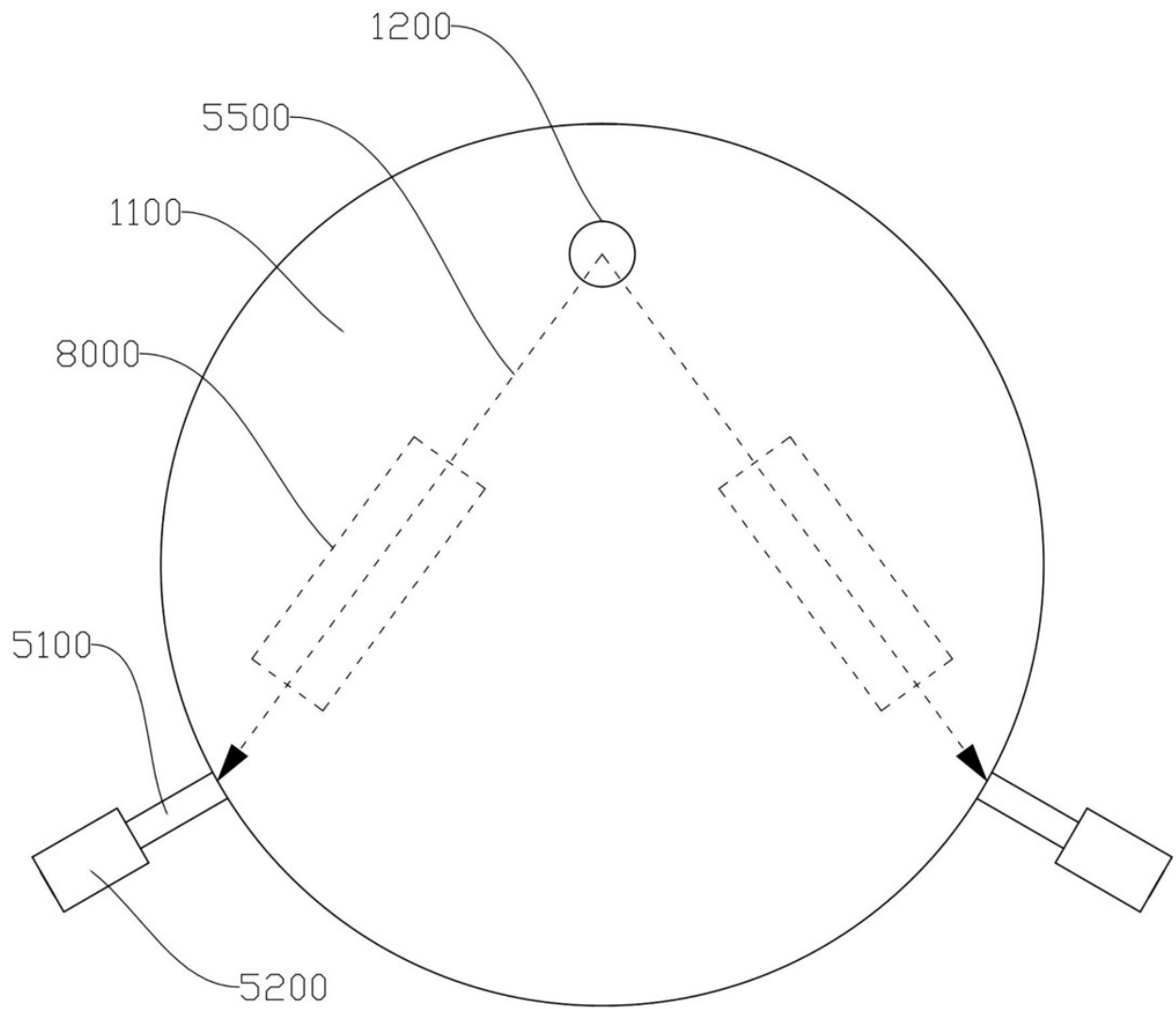


图 17

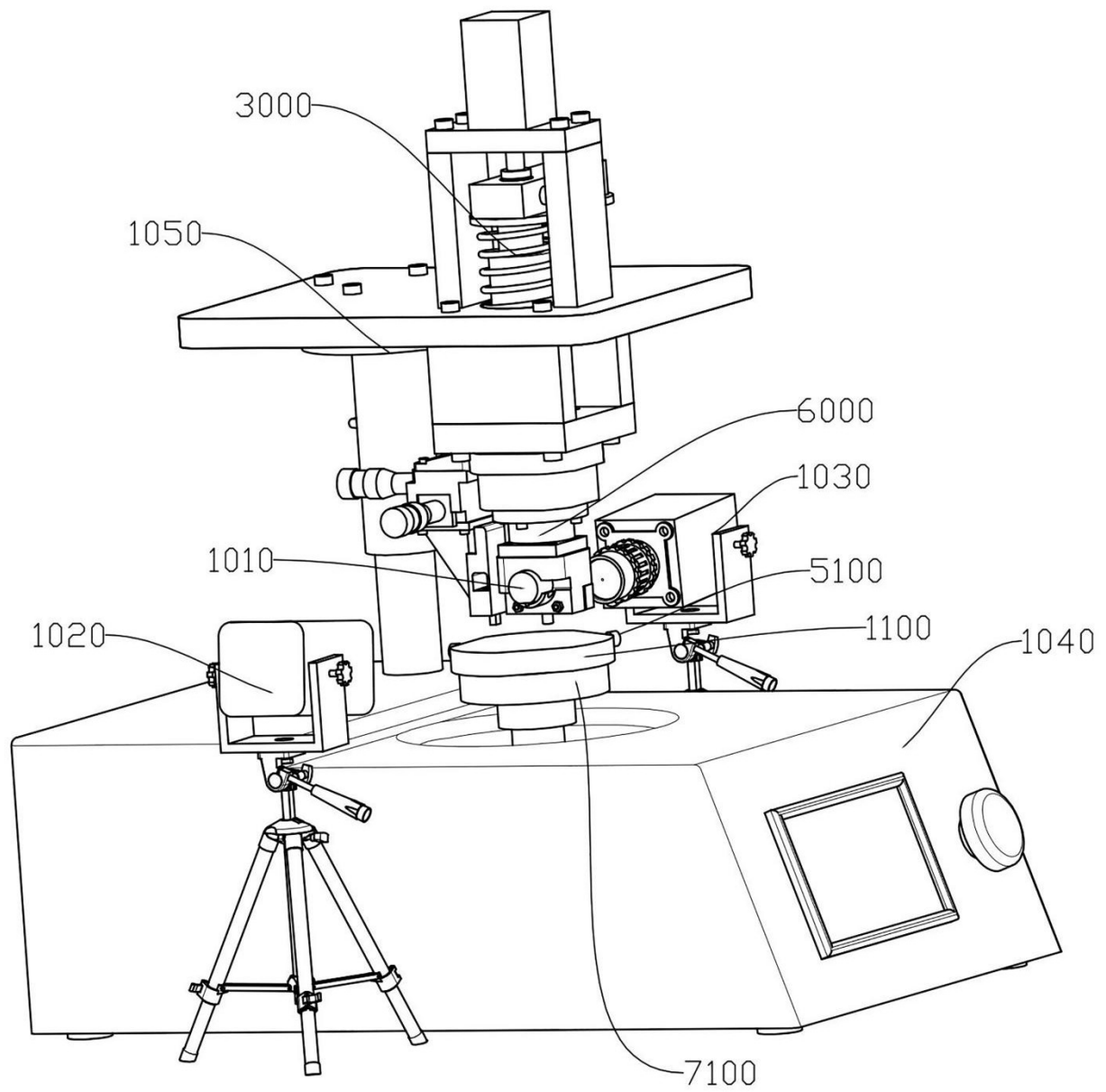


图 18