(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 111487119 B
(45)授权公告日 2023.03.31

(21)申请号 201910840576.1
(22)申请日 2019.09.06
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111487119 A
(43)申请公布日 2020.08.04
(73)专利权人 西北工业大学
地址 710072 陕西省西安市友谊西路127号
(72)发明人 李玉龙 刘琛琳 汤忠斌 索涛
(74)专利代理机构 北京中建知识产权代理事务所(特殊普通合伙) 11806
专利代理师 王中
(51)Int.Cl.
G01N 3/02(2006.01)
G01N 3/22(2006.01)

审查员 胡江秀

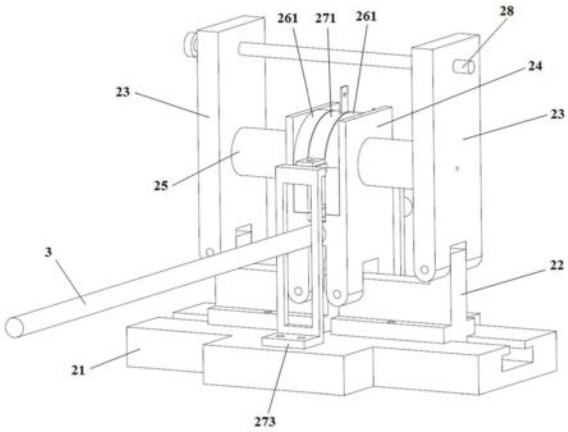
权利要求书2页 说明书8页 附图12页

(54)发明名称

扭转应力波释放装置

(57)摘要

本申请公开一种扭转应力波释放装置，其中一个实施例的装置包括：棘轮机构、夹持机构、入射杆、试样、透射杆；该夹持机构包括：底板、固定座、外臂、内臂、次线圈、主线圈支架、主线圈、弹簧组件、夹持杆；固定座与底板固定连接，每个固定座分别与外臂和内臂连接，二个内臂相对设置，且内臂的高度低于外臂的高度；夹持杆设置在二个外臂之间；二个内臂相对一侧的分别设置有次线圈以及夹持槽，二个夹持槽形成夹持部；外臂和内臂之间设置有弹簧组件；主线圈位于二个次线圈之间；入射杆的一端与棘轮机构固定连接，试样设置在入射杆的另一端和透射杆之间，且入射杆穿过夹持机构的夹持部。通过本申请能够精确控制扭转波脉冲的产生和释放时间。



CN 111487119 B

1.一种扭转应力波释放装置,其特征在于,包括:棘轮机构、夹持机构、入射杆、试样、透射杆;

所述夹持机构包括:一个底板、二个固定座、二个外臂、二个内臂、二个次线圈、二个主线圈支架、一个主线圈、二个弹簧组件、一个夹持杆;

所述二个固定座并排设置并分别与所述底板固定连接,每个固定座分别与一外臂的下部和一内臂的下部连接,所述内臂设置在所述固定座的内侧,所述外臂设置在所述固定座的外侧;其中所述二个内臂相对设置,且所述内臂的高度低于所述外臂的高度;所述夹持杆设置在所述二个外臂的上部之间;

所述二个内臂相对一侧的上部分别设置有一个次线圈,所述二个内臂相对一侧的下部分别设置有一个半弧状的夹持槽,所述二个夹持槽形成一夹持部;其中,在每个固定座上的外臂和内臂之间设置有一弹簧组件,同一固定座上的内臂和外臂之间通过一弹簧组件来传递载荷;

所述二个主线圈支架分别与所述底板固定连接,所述一个主线圈设置在所述二个主线圈支架上,其中所述主线圈位于所述二个次线圈之间;所述入射杆的一端与所述棘轮机构固定连接,所述试样设置在所述入射杆的另一端和所述透射杆之间,且所述入射杆穿过所述夹持机构的夹持部;其中,旋转夹持杆使得所述二个外臂分别向内发生相向运动,通过所述弹簧组件使得所述二个内臂也向内发生相向运动,并使所述夹持部夹紧所述入射杆;所述棘轮机构对所述入射杆的一端施加扭矩,所述入射杆的一端至夹持处储存扭矩能;对所述主线圈放电,在次线圈与主线圈之间产生电磁斥力使所述二个内臂分别向外运动,使储存在所述入射杆中的扭矩能被释放,在所述入射杆上产生扭转应力波,其中所述扭转应力波的一部分形成反射波,另一部分形成透射波。

2.根据权利要求1所述的装置,其特征在于,所述夹持机构还包括二个次线圈壳,每个内臂相对一侧的上部分别具有一凹槽,每个次线圈壳设置于一个凹槽中,每个所述次线圈壳中设置有一个所述次线圈。

3.根据权利要求1所述的装置,其特征在于,所述夹持机构还包括一个主线圈壳,所述主线圈壳分别与所述二个主线圈支架连接,所述主线圈设置在所述主线圈壳中。

4.根据权利要求1所述的装置,其特征在于,所述入射杆与所述透射杆同轴设置,且所述入射杆与所述透射杆仅在其轴线方向转动。

5.根据权利要求1所述的装置,其特征在于,还包括:应变片和数据采集器,所述应变片分别设置在所述入射杆和所述透射杆上,所述数据采集器通过所述应变片采集所述入射杆上产生的入射波信号和反射波信号、以及所述透射杆上产生的透射波信号。

6.根据权利要求1所述的装置,其特征在于,还包括:电容充电器,所述电容充电器对所述主线圈放电。

7.一种扭转应力波释放装置,其特征在于,包括:夹持机构、入射杆、试样、透射杆;

所述夹持机构包括:一个底板、二个固定座、二个外臂、二个内臂、二个次线圈、一个主线圈、二个弹簧组件、一个夹持杆;

所述二个固定座分别与所述底板固定连接,每个固定座分别与一外臂和一内臂连接,外臂设置在内臂的外侧,且所述内臂的高度低于所述外臂的高度;所述夹持杆连接在所述二个外臂的上部之间;

每个内臂分别设置有一个次线圈，所述主线圈设置在相对的二个次线圈之间；每个内臂的每个次线圈之下分别设置有一个半弧状的夹持槽，二个夹持槽形成一夹持部；每个固定座上的外臂和内臂之间通过一个弹簧组件连接，同一固定座上的内臂和外臂之间通过一弹簧组件来传递载荷；

所述试样设置在所述入射杆的远端和所述透射杆之间，且所述入射杆穿过所述夹持部；

其中，旋转所述夹持杆使得所述二个外臂分别向内发生相向运动，通过所述弹簧组件使得所述二个内臂也向内发生相向运动，从而所述夹持部夹紧所述入射杆；对所述入射杆的近端施加扭矩，所述入射杆的近端至夹持处储存扭矩能；对所述主线圈放电，在次线圈与主线圈之间产生电磁斥力使所述二个内臂分别向外运动，使储存在所述入射杆中的扭矩能被释放，在所述入射杆上产生扭转应力波，其中所述扭转应力波的一部分形成反射波，另一部分形成透射波。

8.根据权利要求7所述的装置，其特征在于，所述夹持机构还包括二个次线圈壳，每个内臂相对一侧的上部分别具有一凹槽，每个凹槽中设置有一个次线圈壳，每个所述次线圈壳中设置有一个所述次线圈。

9.根据权利要求7所述的装置，其特征在于，所述夹持机构还包括一个主线圈壳和二个主线圈支架，所述二个主线圈支架分别与所述底板固定连接，所述主线圈壳分别与所述二个主线圈支架连接，所述主线圈设置在所述主线圈壳中。

10.根据权利要求7所述的装置，其特征在于，还包括：电容充电器，所述电容充电器对所述主线圈放电。

扭转应力波释放装置

技术领域

[0001] 本发明涉及材料动态力学性能测试技术，尤其涉及一种基于电磁力的扭转应力波释放装置。

背景技术

[0002] 工程材料与结构往往承受着复杂应力状态。比如，大型客机在起飞降落的过程中，可能会遭受到碎石或鸟体的撞击，而发生机毁人亡的惨剧。为了设计出有效的防护结构，首先需要研究材料在复杂应力加载条件下的力学行为。

[0003] 在爆炸冲击等条件下，材料往往承受着复杂应力条件加载。因此，测试材料或结构在复杂应力条件下的实验数据，成为广泛的研究内容。但是，现有技术中的电磁脉冲式霍普金森杆加载技术存在各种问题，例如操作不方便、扭转波脉冲不易控制、或不安全等问题。

发明内容

[0004] 本发明的主要目的在于提供一种扭转应力波释放装置，以解决现有技术存在的电磁脉冲式霍普金森杆加载的操作不方便、扭转波脉冲不易控制或不安全等问题。

[0005] 根据本发明的一个方面提出一种扭转应力波释放装置，其包括：棘轮机构、夹持机构、入射杆、试样、透射杆；所述夹持机构包括：一个底板、二个固定座、二个外臂、二个内臂、二个次线圈、二个主线圈支架、一个主线圈、二个弹簧组件、一个夹持杆；所述二个固定座并排设置并分别与所述底板固定连接，每个固定座分别与一外臂的下部和一内臂的下部连接，所述内臂设置在所述固定座的内侧，所述外臂设置在所述固定座的外侧；其中所述二个内臂相对设置，且所述内臂的高度低于所述外臂的高度；所述夹持杆设置在所述二个外臂的上部之间；所述二个内臂相对一侧的上部分别设置有一个次线圈，所述二个内臂相对一侧的下部分别设置有一个半弧状的夹持槽，所述二个夹持槽形成一夹持部；其中，在每个固定座上的外臂和内臂之间设置有一弹簧组件；所述二个主线圈支架分别与所述底板固定连接，所述一个主线圈设置在所述二个主线圈支架上，其中所述主线圈位于所述二个次线圈之间；所述入射杆的一端与所述棘轮机构固定连接，所述试样设置在所述入射杆的另一端和所述透射杆之间，且所述入射杆穿过所述夹持机构的夹持部；其中，旋转夹持杆使得所述二个外臂分别向内发生相向运动，通过所述弹簧组件使得所述二个内臂也向内发生相向运动，并使所述夹持部夹紧所述入射杆；所述棘轮机构对所述入射杆的一端施加扭矩，所述入射杆的一端至夹持处储存扭矩能；对所述主线圈放电，在次线圈与主线圈之间产生电磁斥力使所述二个内臂分别向外运动，使储存在所述入射杆中的扭矩能被释放，在所述入射杆上产生扭转应力波，其中所述扭转应力波的一部分形成反射波，另一部分形成透射波。

[0006] 其中，所述夹持机构还包括二个次线圈壳，每个内臂相对一侧的上部分别具有一凹槽，每个次线圈壳设置于一个凹槽中，每个所述次线圈壳中设置有一个所述次线圈。

[0007] 其中，所述夹持机构还包括一个主线圈壳，所述主线圈壳分别与所述二个主线圈支架连接，所述主线圈设置在所述主线圈壳中。

[0008] 其中，所述入射杆与所述透射杆同轴设置，且所述入射杆与所述透射杆仅在其轴线方向转动。

[0009] 其中，所述扭转应力波释放装置还包括：应变片和数据采集器，所述应变片分别设置在所述入射杆和所述透射杆上，所述数据采集器通过所述应变片采集所述入射杆上产生的入射波信号和反射波信号、以及所述透射杆上产生的透射波信号。

[0010] 其中，所述扭转应力波释放装置还包括：电容充电器，所述电容充电器对所述主线圈放电。

[0011] 根据本发明的一个方面提出一种扭转应力波释放装置，其包括：夹持机构、入射杆、试样、透射杆；所述夹持机构包括：一个底板、二个固定座、二个外臂、二个内臂、二个次线圈、一个主线圈、二个弹簧组件、一个夹持杆；所述二个固定座分别与所述底板固定连接，每个固定座分别与一外臂和一内臂连接，外臂设置在内臂的外侧，且所述内臂的高度低于所述外臂的高度；所述夹持杆连接在所述二个外臂的上部之间；每个内臂分别设置有一个次线圈，所述主线圈设置在相对的二个次线圈之间；每个内臂的每个次线圈之下分别设置有一个半弧状的夹持槽，二个夹持槽形成一夹持部；每个固定座上的外臂和内臂之间通过一个弹簧组件连接；所述试样设置在所述入射杆的远端和所述透射杆之间，且所述入射杆穿过所述夹持部；其中，旋转所述夹持杆使得所述二个外臂分别向内发生相向运动，通过所述弹簧组件使得所述二个内臂也向内发生相向运动，从而所述夹持部夹紧所述入射杆；对所述入射杆的近端施加扭矩，所述入射杆的近端至夹持处储存扭矩能；对所述主线圈放电，在次线圈与主线圈之间产生电磁斥力使所述二个内臂分别向外运动，使储存在所述入射杆中的扭矩能被释放，在所述入射杆上产生扭转应力波，其中所述扭转应力波的一部分形成反射波，另一部分形成透射波。

[0012] 根据本申请的技术方案至少能够实现以下效果：扭转应力波释放操作方便、能够精确控制扭转波脉冲的产生和释放时间、可以实现低应变率加载(10^2/s以下)、扭转应力波的产生方式更加安全。

附图说明

[0013] 此处所说明的附图用来提供对本发明的进一步理解，构成本申请的一部分，本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明，并不构成对本发明的不当限定。在附图中：

[0014] 图1是根据本发明实施例的扭转应力波释放装置的结构示意图；

[0015] 图2是根据本发明实施例的夹持机构的立体示意图；

[0016] 图3是根据本发明实施例的夹持机构的剖面示意图；

[0017] 图4和图5分别是根据本发明实施例的底板、固定座、外臂和内臂的分解状态以及组合状态的示意图；

[0018] 图6是根据本发明实施例的底板的示意图；

[0019] 图7是根据本发明实施例的固定座的示意图；

[0020] 图8是根据本发明实施例的外臂的示意图；

[0021] 图9是根据本发明实施例的内臂的示意图；

[0022] 图10是根据本发明实施例的弹簧组件的分解状态的示意图；

[0023] 图11是根据本发明实施例的固定座、外臂、内臂、弹簧和弹簧芯轴的组合状态的示

意图；

[0024] 图12是根据本发明实施例次线圈组件的分解状态的示意图；

[0025] 图13是根据本发明实施例的内臂和次线圈组件的组合状态的示意图；

[0026] 图14和图15分别是根据本发明实施例的主线圈组件的分解状态以及组合状态的示意图。

具体实施方式

[0027] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本发明具体实施例及相应的附图对本发明技术方案进行清楚、完整地描述。显然，所描述的实施例仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

[0028] 以下结合附图，详细说明本发明各实施例提供的技术方案。

[0029] 参考图1，根据本发明实施例的扭转应力波释放装置包括：棘轮机构1、夹持机构2、入射杆3、透射杆4、试样5、应变片6、电源7、电容充电器8、惠斯通电桥9、数据采集器10。其中，棘轮机构1、入射杆3、透射杆4依次同轴顺序设置，试样5设置在入射杆3与透射杆4之间。

[0030] 在本申请实施例中，入射杆3的一端(近端)固定到扭转棘轮1上且两者紧密相连，入射杆3的另一端(远端)与试样5接触。棘轮机构又可称为扭转棘轮，在本申请中，棘轮机构1可采用现有技术实施。入射杆3穿过夹持机构2并被夹持机构2所夹持固定，入射杆3被夹持的位置或夹持处在入射杆3的近端和远端之间，例如夹持处可更加靠近入射杆3的近端一侧。棘轮机构1可带动入射杆3扭转(周向转动)，棘轮机构1在入射杆3的一端施加扭矩，使得棘轮机构1的扭矩能够加载到入射杆上。由于夹持机构2的夹持处无转动位移，在入射杆的近端到夹持处便可储存所需要的扭矩能。

[0031] 参考图2和图3，所述夹持机构2具体包括：一个底板21、二个固定座22、二个外臂23、二个内臂24、二个弹簧组件25、二个次线圈组件26、一个主线圈组件27、一个夹持杆28。其中，底板21、固定座22、外臂23、内臂24、夹持杆28的制作材料可以是钢，下面详细描述各部件的详细结构及相互间的连接关系。

[0032] 在本申请实施例中，底板21的用于支撑和固定整个夹持机构2，结合参考图2至图6，其中，图4示出底板、固定座、外臂和内臂的分解状态的示意图；图5示出底板、固定座、外臂和内臂的组合状态的示意图；图6示出底板的示意图。如图所示，底板21的外形整体大体呈十字型，包括一长方体以及从长方体中部向两侧突出的突出部。底板21具有一个在长方体上表面开口的且贯穿长方体上表面的凹槽211，凹槽的截面呈“T”型，因此该凹槽211也可称为T型凹槽。并且，在底板21的上表面还具有多数个螺纹孔，分别用于固定固定座22和主线圈组件27。例如在长方体的T型凹槽211附近具有固定固定座22的多数个螺纹孔212、在突出部附近具有固定主线圈组件27的多数个螺纹孔213。图6中示出了底板21的上表面包括4个螺纹孔212和4个螺纹孔213，但是在其他的实施例中还可为其他数量的螺纹孔，本申请并不以此为限。在本申请的一些实施例中，底板21的厚度可为50mm。

[0033] 结合参考图2至图5和图7，图7示出了夹持机构2的固定座22的示意图。在本申请实施例中，在底板21上固定有二个固定座22，每个固定座22可包括一体成型的上半部份和下半部分等两部分。从固定座22的正面来看，固定座22的上半部分近似为“L”型；从固定座22

的侧面来看，固定座22的下半部分近似为“工”字型。固定座22的“工”型部包括向固定座22的两侧伸出的上突出部和下突出部，在“工”型部的上突出部具有对称设置的多个通孔223，该些通孔以“L”型部对称设置。“工”型部上的多个通孔223与底板21的多个螺纹孔212相适配。“工”型部的下突出部的形状和大小与底板21的T型凹槽相适配。组装时，将二个固定座22对称摆放，将二个固定座22的“工”型部的下突出部从底板21的“T”型槽211推入，直至“工”型部的上突出部的多个通孔223与底板21的多个螺纹孔212重合，然后用螺栓进行固定，这样就将固定座22对称固定在底板21上。其中，固定座22的“工”型部的下突出部与底板21的“T”型槽211为间隙配合。继续参考图7，固定座22的“L”型部包括一主体和从主体的一侧向上突出的突出部，固定座22固定在底板21上后，二个固定座22的“L”型部的主体相对，突出部位于外侧。固定座22的“L”型部用于连接外臂23和内臂24。“L”型部的突出部具有通孔221、主体具有通孔222。其中突出部上的通孔221用于连接外臂23，主体上的通孔222用于连接内臂24。

[0034] 结合参考图2至图5和图8，图8示出了夹持机构2的外臂23的示意图。在本申请实施例中，夹持机构2包括二个外臂23，每个外臂23分别与一个固定座22相连接。具体地，外臂23大体为下部具有双耳的长方体结构，外臂23的双耳分别开有与固定座22上的通孔221相适配的通孔231，且外臂23的双耳之间的间距略大于固定座22的“L”型部(突出部)的厚度。在外臂23的上部开有一个较大的螺纹孔232，在较大的螺纹孔232下方开有一个较小的螺纹孔233，其中大螺纹孔232用于连接夹持杆28，小螺纹孔233用于连接弹簧组件。如图所示，螺纹孔233可位于外臂23的中部或靠近中部的位置，螺纹孔232可位于外臂23的上部或靠近上部的位置。

[0035] 组装时，将外臂23的双耳套入固定座22的“L”型部的突出部，使外臂23双耳的通孔231与固定座22的通孔221轴线对齐，用销钉将两者进行连接形成铰接结构，外臂23可相对固定座22进行转动位移。

[0036] 结合参考图2至图5和图9，图9示出了夹持机构2的内臂24的示意图。在本申请实施例中，夹持机构2包括二个内臂24，每个内臂24分别与一个固定座22相连接。具体地，内臂24大体为下部具有双耳的长方体结构。与外臂23类似，每个内臂24的双耳开有与固定座22上的通孔222相适配的通孔241，内臂24的双耳之间的间距略大于固定座22的“L”型部的厚度。在每个内臂24的一侧的上部开有矩形槽，该矩形槽用于放置次线圈组件26。矩形槽的中间位置具有一个螺纹通孔242，螺纹通孔242与螺纹通孔233的大小相同，用于连接弹簧组件。在内臂24的矩形槽的下方具有一个半圆弧状的夹持槽243，圆弧表面可具有滚花花纹。组装时，将内臂24的双耳套入固定座22的“L”型部，使内臂24的双耳通孔241与固定座22的通孔222轴线对齐，用销钉将两者进行连接形成铰接结构，内臂24可相对固定座22进行转动位移。组装完成后二个内臂24的矩形槽相对，内臂24的二个夹持槽243相对从而形成一夹持部，(表面具有滚花花纹的)夹持部能够紧密夹持霍普金森扭杆的入射杆3。

[0037] 如图5所示，内臂24和外臂23安装到固定座22上后，二个外臂23上的螺纹通孔233和二个内臂24上的螺纹通孔242处于一个水平位置。如图5和图11所示，外臂23的高度高于内臂24的高度，高度差例如可是外臂23的三分之一、四分之一或五分之一。外臂23高于内臂24的空间可用于安装夹持杆28。

[0038] 结合参考图2至图5、图10和图11，在内臂24和外臂23之间连接有一弹簧组件25，弹

簧组件25连接在安装在同一固定座22上的内臂24和外臂23之间，同一固定座22上的内臂24和外臂23之间可以通过弹簧组件25来传递载荷。具体地，每个弹簧组件25包括一个弹簧251和二个弹簧芯轴252，弹簧芯轴252的制作材料可以是钢。为了固定和限制弹簧的位置，在每个弹簧251的两端分别设置有一个弹簧芯轴252，也就是说，夹持机构2共包括二个弹簧251以及四个弹簧芯轴252。弹簧芯轴252与弹簧251连接的一端为圆柱体，其外径略大于弹簧251的内径，用于限制弹簧251的位置；弹簧芯轴252与外臂23(或内臂24)连接的一端为一个螺柱，用于弹簧芯轴252在外臂23(或内臂24)的安装。组装时，先将弹簧芯轴252通过螺柱分别旋入内臂24的螺纹孔242和外臂23的螺纹孔232中，然后再将弹簧251插入二个弹簧芯轴252的柱体中，从而将内臂24和外臂23通过弹簧组件25连接在一起，使两者可以通过弹簧组件25来传递载荷。

[0039] 结合参考图2、图3、图12和图13，在本申请实施例中，夹持机构2包括二个次线圈组件26，每个次线圈组件26包括一个次线圈261和一个次线圈壳265。次线圈261的制作材料可以是铜，次线圈261大体为一个碟型的圆盘状，其中心开有螺纹孔262，该螺纹孔262与弹簧芯轴252的螺柱相适配。次线圈壳265的制作材料可以是塑料，所述次线圈壳265上部为半圆形，下部为长方形，次线圈壳265的下部与内臂24上部的矩形槽的形状相适配。次线圈壳265一面开有与次线圈261外型相近的圆形凹槽，用于放置次线圈261，次线圈壳265的中心开有比弹簧芯轴252的螺柱尺寸稍大的螺纹通孔266，可以使弹簧芯轴252的螺柱部分无阻碍的插入其中。组装时，先将次线圈壳265放置在内臂24的矩形槽上，使螺纹孔242和螺纹孔266重合，接着将次线圈261嵌入次线圈壳265的凹槽中，使螺纹孔262和螺纹孔266重合。然后将弹簧芯轴252的螺柱旋入内臂24-次线圈壳265-次线圈261的结构(即图13所示的结构)中，从而将内臂24和次线圈组件26连接在一起。组装完毕后，二个内臂24上的二个次线圈261相对。在本申请实施例中，弹簧组件25不仅将内臂24和外臂23连接在一起，还将内臂24和次线圈组件26连接在一起。

[0040] 结合参考图2、图3、图14和图15，在本申请实施例中，夹持机构2包括一个主线圈组件27，所述主线圈组件27包括一个主线圈271、二个主线圈壳272和二个主线圈支架273。主线圈271的制作材料可以是铜，主线圈271可为宽铜带缠绕绕制成的圆盘，主线圈271的侧面引出有主线圈271的正极线和负极线，该正极线作为夹持机构2的正极线，该负极线作为夹持机构2的负极线。主线圈壳272共有二个，主线圈壳272的制作材料可以是塑料。每个主线圈壳272为一个半圆弧型的塑料壳，沿主线圈壳272的弧线部具有放置主线圈271的限位槽，二个主线圈壳272合在一起后形成一个稍大于主线圈271的圆形结构以包覆且固定主线圈271。在主线圈壳272的两端分别伸出二个耳片状结构，每个耳片状结构上开有一个通孔，用于和主线圈支架273相连接固定。在二个主线圈壳272的其中一个主线圈壳272(上端的主线圈壳)的外侧开有二个片状孔，组装时，主线圈271的正极线和负极线就从所述二个片状孔中伸出。主线圈支架273共有二个，制作材料可以是钢。所述主线圈支架273大体呈“Z”字型，其中主线圈支架273的上端横梁开有一个通孔，用于和主线圈壳272相连接；主线圈支架273的下端横梁开有二个通孔，其用于将主线圈支架273固定在底板21上。组装时，将主线圈支架273的下端横梁的通孔与底板21上相应螺纹孔213对齐，并用螺栓进行连接。然后将主线圈271放置在二个主线圈壳272的限位槽中，将主线圈壳272的二个耳片上的通孔与主线圈支架273的上端横梁的通孔对齐(主线圈支架273的上端横梁在二个耳片之间)，将螺栓插入

通孔中，并用螺母拧紧，以保证主线圈271空间位置的固定，从而将主线圈271-主线圈壳272-主线圈支架273连接在一起组装成主线圈组件27(如图15所示)。在将主线圈和次线圈都组装完成后，主线圈271位于在二个次线圈261之间的中间位置，主线圈271与每个次线圈261之间可具有2-3mm的距离。

[0041] 结合参考图2及图3，夹持杆28为一细长螺纹杆，其直径及螺纹均与外臂23上部的大螺纹孔232相适配，夹持杆28通过二个螺纹孔232分别与二个外臂23连接。通过旋转夹持杆28可调节二个外臂23之间的距离。组装时，夹持机构2的其他部分均组装完毕后，再将夹持杆28旋入二个外臂23的螺纹孔232中，也就是说，夹持杆28是夹持机构2中最后组装的部件。

[0042] 当进行霍普金森扭转试验时，将入射杆3放置于二个内臂24的由二个夹持槽243形成的夹持部之间，夹持部加持入射杆3的位置为加持处。旋转夹持杆28，使得二个外臂23分别向内发生相向运动，由于外臂23与内臂24之间连接有弹簧组件25，因此通过弹簧组件25使得内臂24也向内发生相向运动，从而夹持部夹紧入射杆3。入射杆3的一端(近端)深入到扭转棘轮1的中心孔中间，将入射杆3的一端(近端)固定到扭转棘轮1上，使得扭转棘轮1的扭矩能够加载到入射杆3上。由于夹持机构2的夹持处无转动位移，因此在入射杆3的近端到夹持处便储存所需要的扭矩能。

[0043] 通过电源7对电容充电器8进行充电，使电容充电器8对夹持机构2的主线圈271放电，此时主线圈271会产生变化的强磁场，变化的强磁场会在次线圈261内产生感应电流，感应电流产生的感应磁场方向与主线圈271的磁场方向相反，于是主线圈271和次线圈261之间产生电磁斥力，该电磁斥力作用于内臂24上，使内臂24向外发生转动位移，从而夹持部夹持入射杆3的夹持力瞬时减小，使得扭矩能得以释放，产生扭转应力波。当入射波传至入射杆3与试样5的接触面时，由于波阻抗不匹配，该入射波的一部分被反射，在入射杆3中形成反射波，该入射波的另一部分则通过试样5透射入透射杆4中，形成透射波。反射波和透射波的形状和幅值是由试样5材料性质决定的。数据采集器10通过粘贴在入射杆3上的应变片6将入射波和反射波信号记录下来，通过粘贴在透射杆4上的应变片6将透射波的信号记录下来。利用数据采集器10记录的反射波和透射波信号，通过一波法得到试样5的动态扭转应力应变曲线。

[0044] 本实施例中的电源7、入射杆3、透射杆4、试样5、应变片6、惠斯通电桥9、数据采集器10均可采用现有技术实现。

[0045] 下面详细介绍利用根据本申请实施例的扭转应力波释放装置进行霍普金森杆扭转试验的具体步骤：

[0046] 步骤1，设置器材。

[0047] 将棘轮机构1、夹持机构2、入射杆3、透射杆4依次按照同轴顺序安装，使入射杆3与透射杆4可沿其轴线方向自由移动。将入射杆3的近端插入棘轮机构1中使两者紧密固连，入射杆3的远端与试样5接触，并将入射杆3放置在夹持机构2二个内臂24间的夹持部中。

[0048] 步骤2，粘贴应变片。

[0049] 选取四片参数完全相同的应变片6，其中二片对称粘贴于入射杆3的1/2长度处的圆周表面，粘贴时保证应变片6测量方向与入射杆3轴线方向呈45度。另外二片应变片6对称粘贴于透射杆4的1/2长度处的圆周表面，粘贴时保证应变片6测量方向与透射杆4轴线方向

呈45度。将所述应变片6引线采用双芯屏蔽线接入惠斯通电桥9中。同时，所述的惠斯通电桥9输出信号采用双芯屏蔽线接入数据采集器10的输入端。

[0050] 步骤3，加载实验及数据采集。

[0051] 旋转夹持杆28，使得外臂23向内发生相向运动，由于外臂23与内臂24之间设置有弹簧组件25，因此通过弹簧25使得内臂24也向内发生相向运动，从而内臂24夹紧入射杆3。待夹持力达到实验要求时，通过扭转棘轮1在入射杆3的近端施加扭矩。由于夹持机构2夹持处无转动位移，因此在入射杆3端到夹持处便储存试验所需要的扭矩能。

[0052] 通过电源7对电容充电器8进行充电，充电电压不得高于电容充电器8的额定电压。待电容充电器8充满电后，电源7向电容充电器8发送开关信号，使电容充电器8对夹持机构2的主线圈271放电，在次线圈261与主线圈271之间产生电磁斥力。电磁斥力使得二个内臂24向外发生转动，随着转动位移地增加，内臂24夹持入射杆3的夹持力随之减小，储存在入射杆3中的扭矩能释放，在入射杆3上产生扭转应力波，当该扭转入射波传至入射杆3与试样5的接触面时，由于波阻抗不匹配，该入射波的一部分被反射，在入射杆3中形成反射波，该入射波的另一部分则通过试样5透射入透射杆4中，形成透射波。透射波和反射波的形状与幅值是由试样材料5的性质决定的。由于应变片6与惠斯通电桥9相连接，应变片6中的应变信号转换为惠斯通电桥9的桥臂电压变化，数据采集器10通过信号线与惠斯通电桥9连接，所述数据采集器10采用差分法输入以抵消电磁干扰。数据采集器将惠斯通电桥9的桥臂电压变化记录并存储。其中入射杆3上沿杆轴线粘贴的应变片6将压缩入射波信号V_I和压缩反射波信号V_R记录下来；透射杆上沿轴线粘贴的应变片6将压缩透射波信号V_T记录下来。然后将数据采集器10记录的电压信号转化为杆上的应变信号，具体公式为：

[0053] $$\gamma = 2V/k/(U-V) \tag{1}$$

[0054] 其中，γ为应力波的应变信号，U为惠斯通电桥9的供电电压，k为应变片6的灵敏度系数，V是数据采集器10记录的应力波信号的电压值。

[0055] 通过公式(1)，可将入射波信号V_I转化为入射波应变信号γ_I，将反射波信号V_R转化为压缩反射波应变信号γ_R，将透射波信号V_T转化为透射波应变信号γ_T。利用一维弹性应力波传播理论，采用一波法对杆中的应变信号进行处理，一波法公式如下：

[0056] $$\dot{\gamma}_s = \frac{2r_s C_1}{r_b L_s}\gamma_R$$

$$\gamma_s = \frac{2r_s C_1}{r_b L_s}\int_0^t \gamma_R dt \tag{2}$$

$$\tau_s = \frac{J_b r_s G_b}{J_s r_b}\gamma_T$$

[0057] 其中，$\dot{\gamma}_s$表示试样5的剪切应变率，γ_s表示试样5的剪切应变，τ_s表示试样5的剪切应力，r_s表示试样5标距段的中面半径，r_b表示入射杆3和透射杆4的半径，C_1表示入射杆3和透射杆4的扭转波波速，L_s表示试样5标距段的长度，J_b表示入射杆3和透射杆4的极惯性矩，J_s表示试样5标距段的极惯性矩，G_b表示入射杆3和透射杆4的剪切模量。

[0058] 数据处理完成后，以γ_s为X轴、τ_s为Y轴作图就可得到试样5在扭转条件下的应力应

变曲线;以时间t为X轴、以$\dot{\gamma}_s$为Y轴就可得到试样5的时间-剪切应变率变化曲线。

[0059] 通过本申请实施例至少具有下述优点:

[0060] 1、能够准确控制电磁力的产生时间,从而能够精确控制扭转应力波的产生时间;

[0061] 2、由于电磁感应产生的电磁力宽度可以通过电路参数调节,从而使得扭转应力波脉冲宽度可达毫秒量级,因此可以实现现有的霍普金森杆无法实现的低应变率加载(例如10^2/s以下);

[0062] 3、相比于爆炸或子弹打击产生扭转应力波的方式,本发明的更加安全。

[0063] 以上所述仅为本发明的实施例而已,并不用于限制本发明,对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的权利要求范围之内。

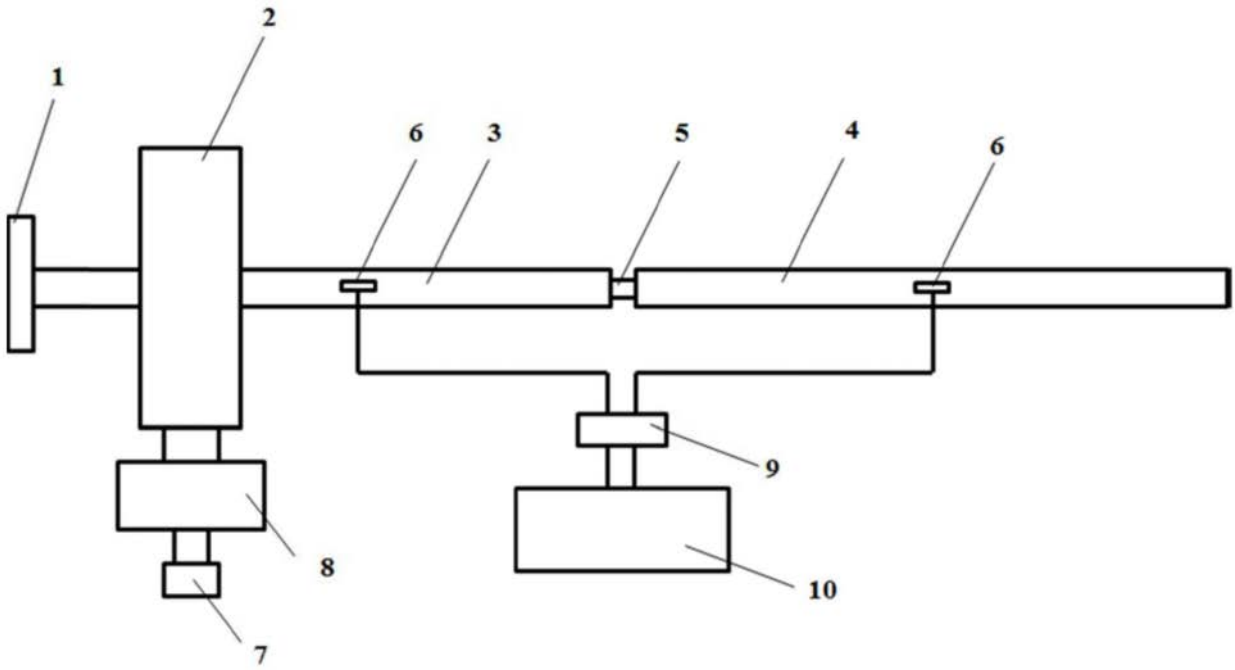


图1

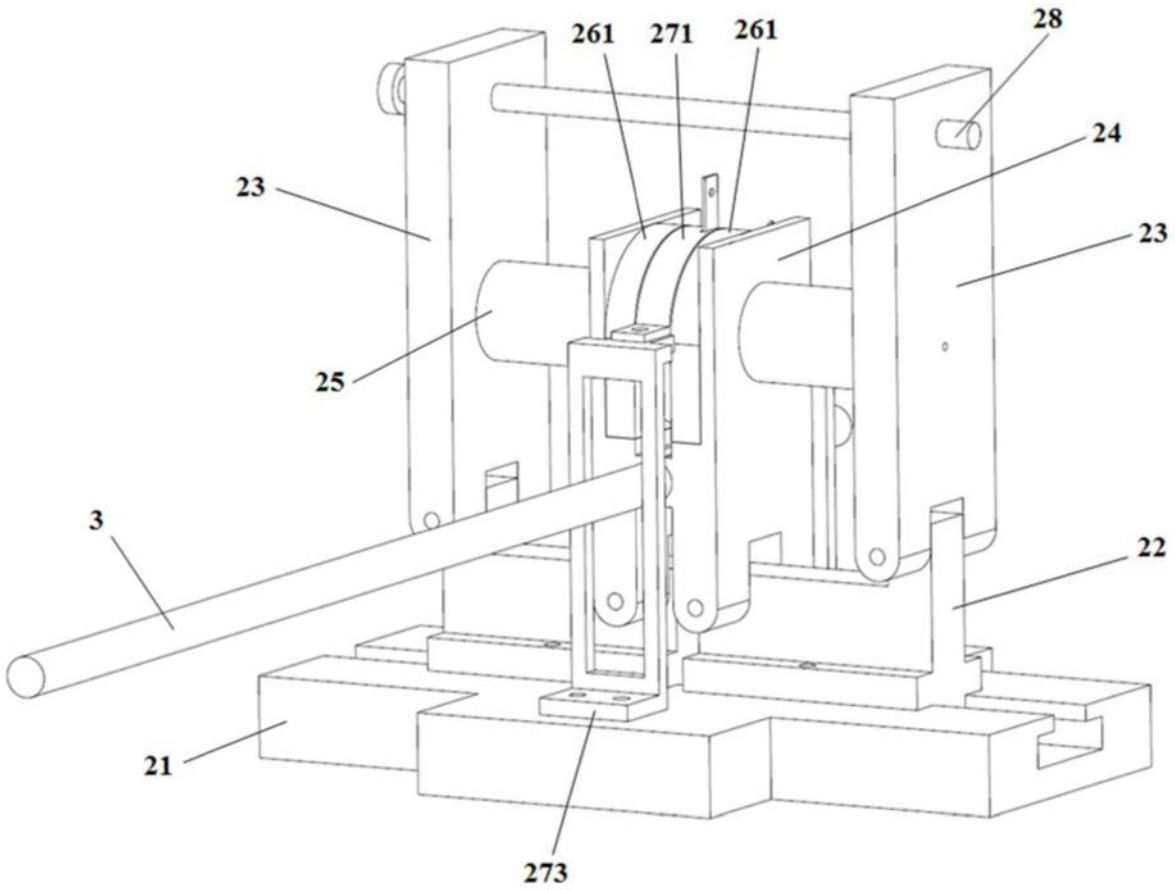


图2

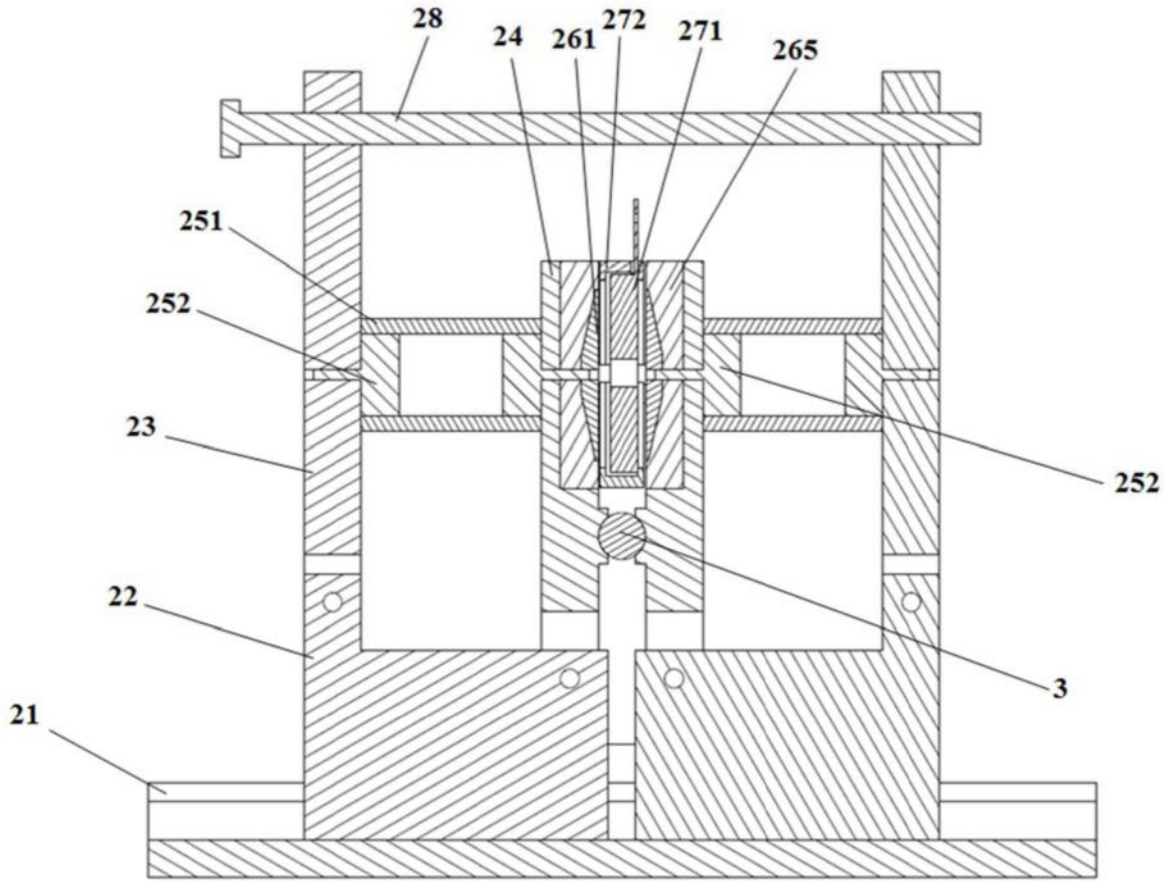


图3

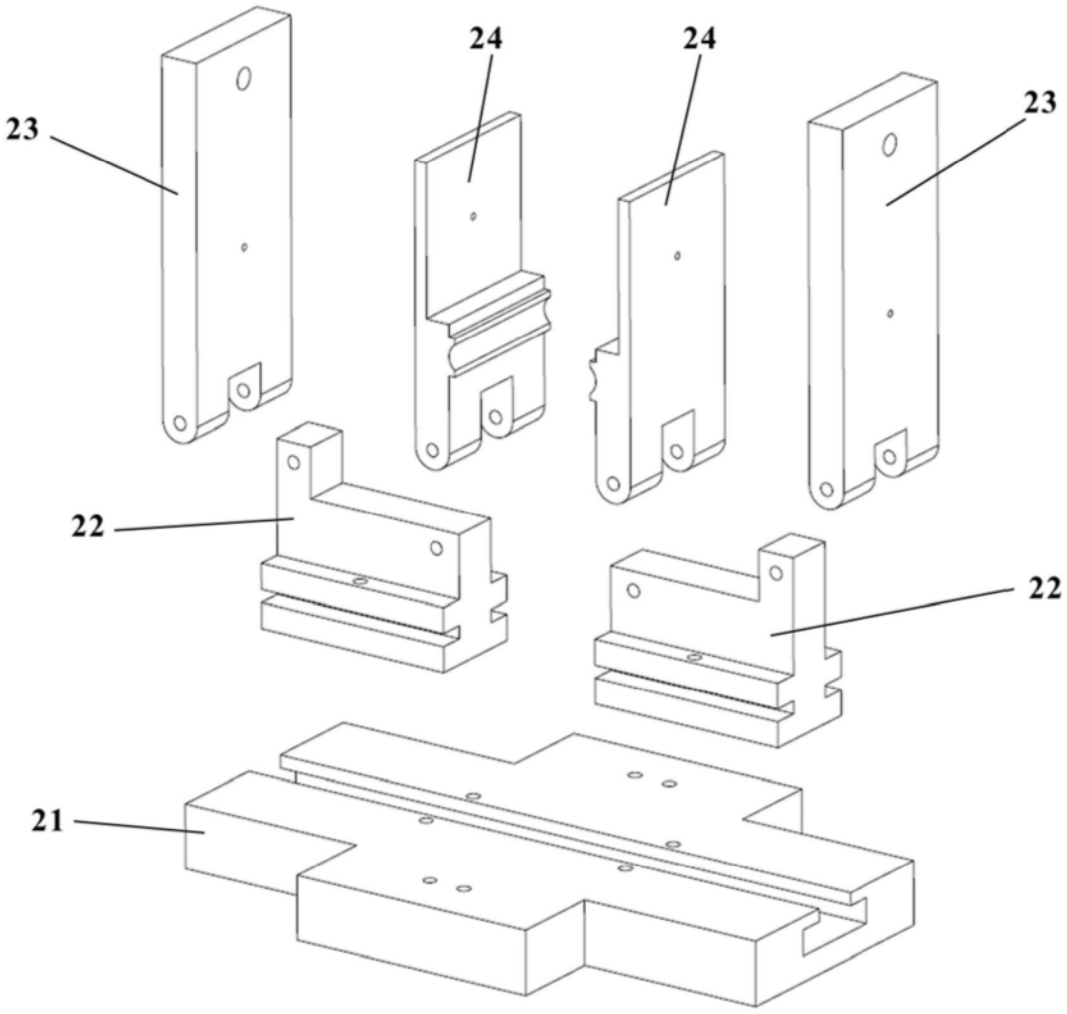


图4

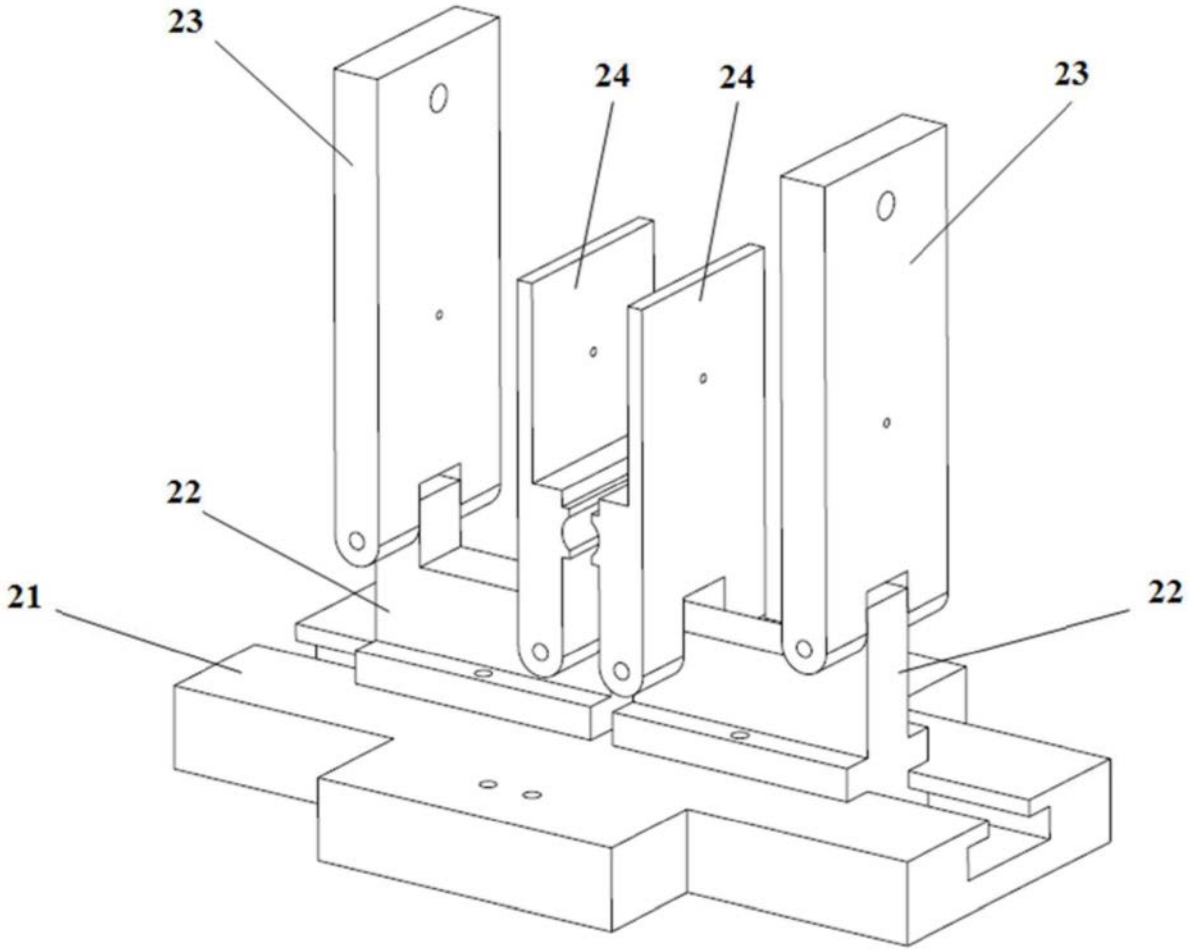


图5

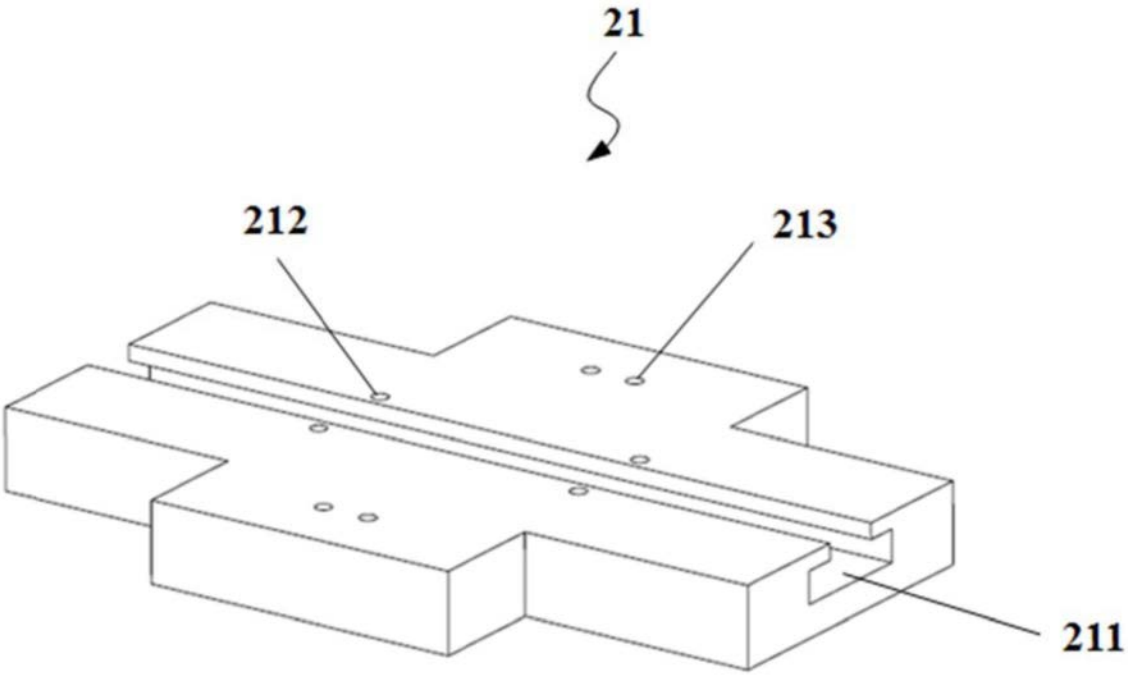


图6

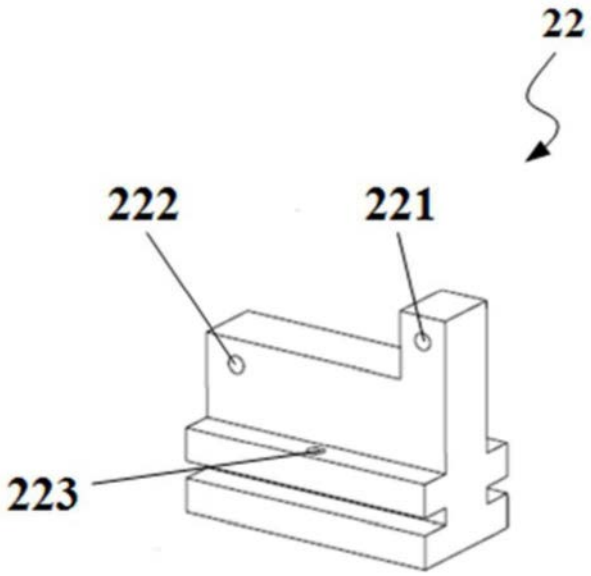


图7

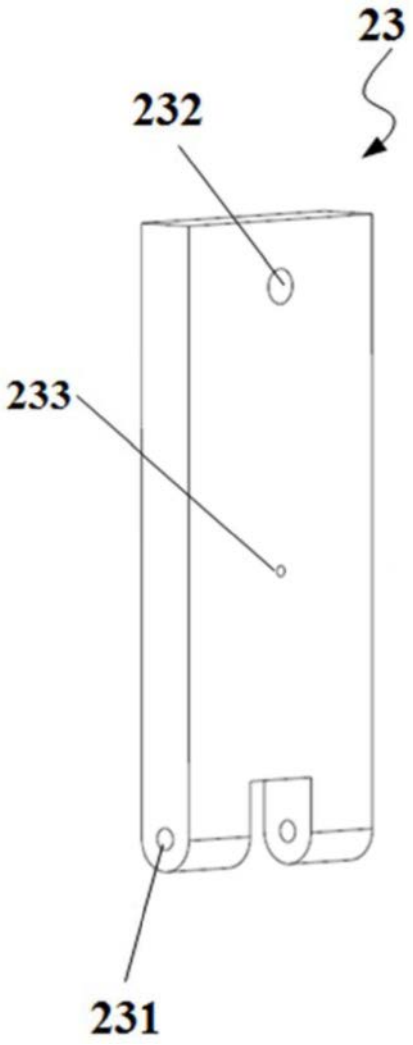


图8

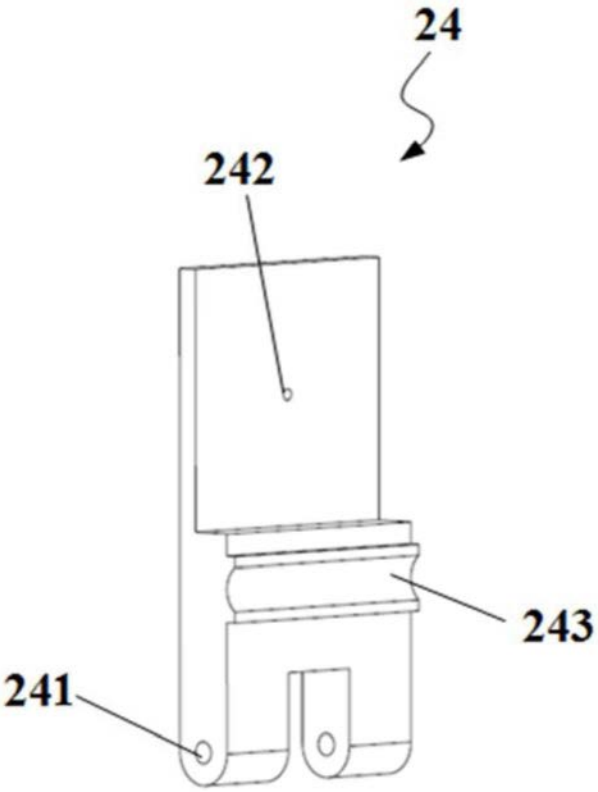


图9

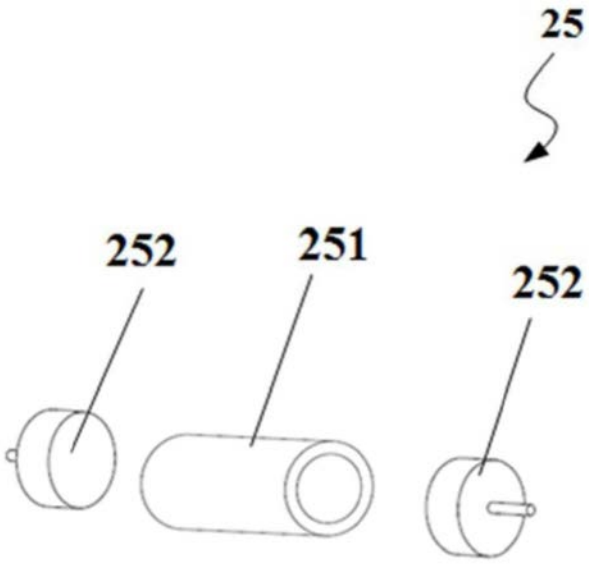


图10

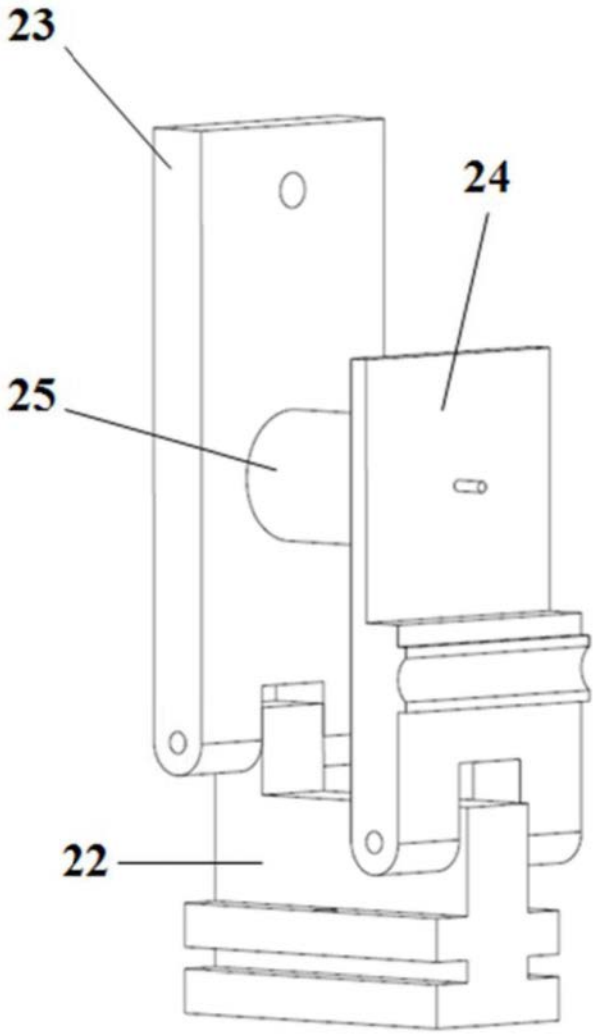


图11

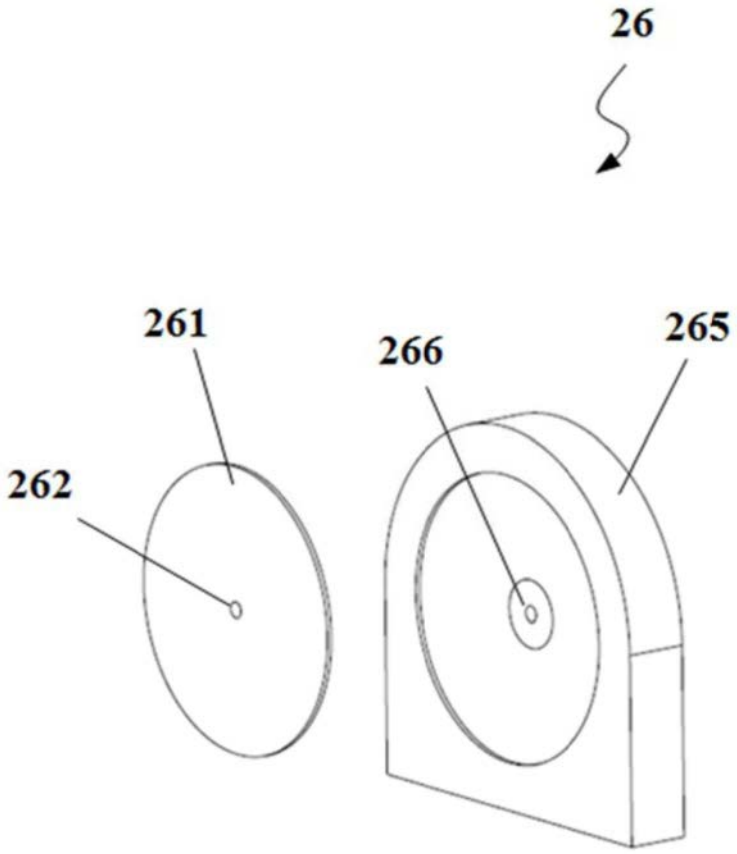


图12

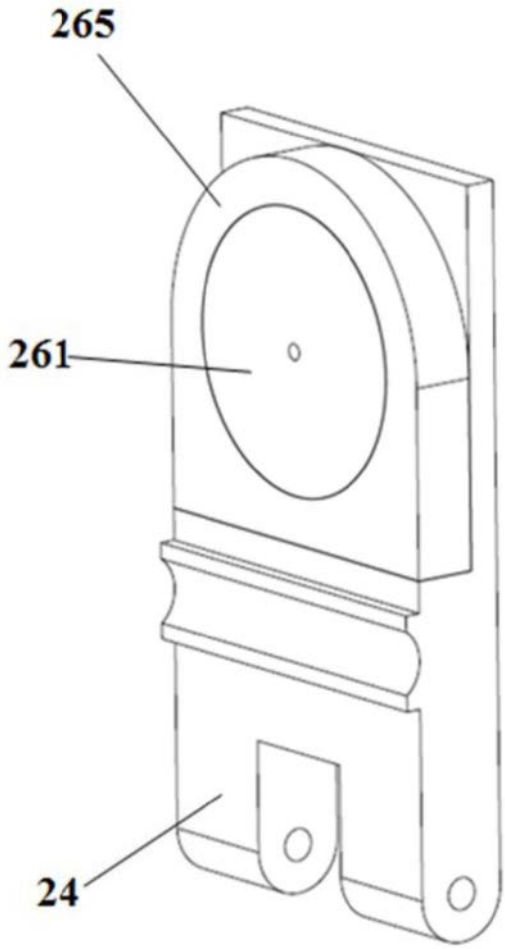


图13

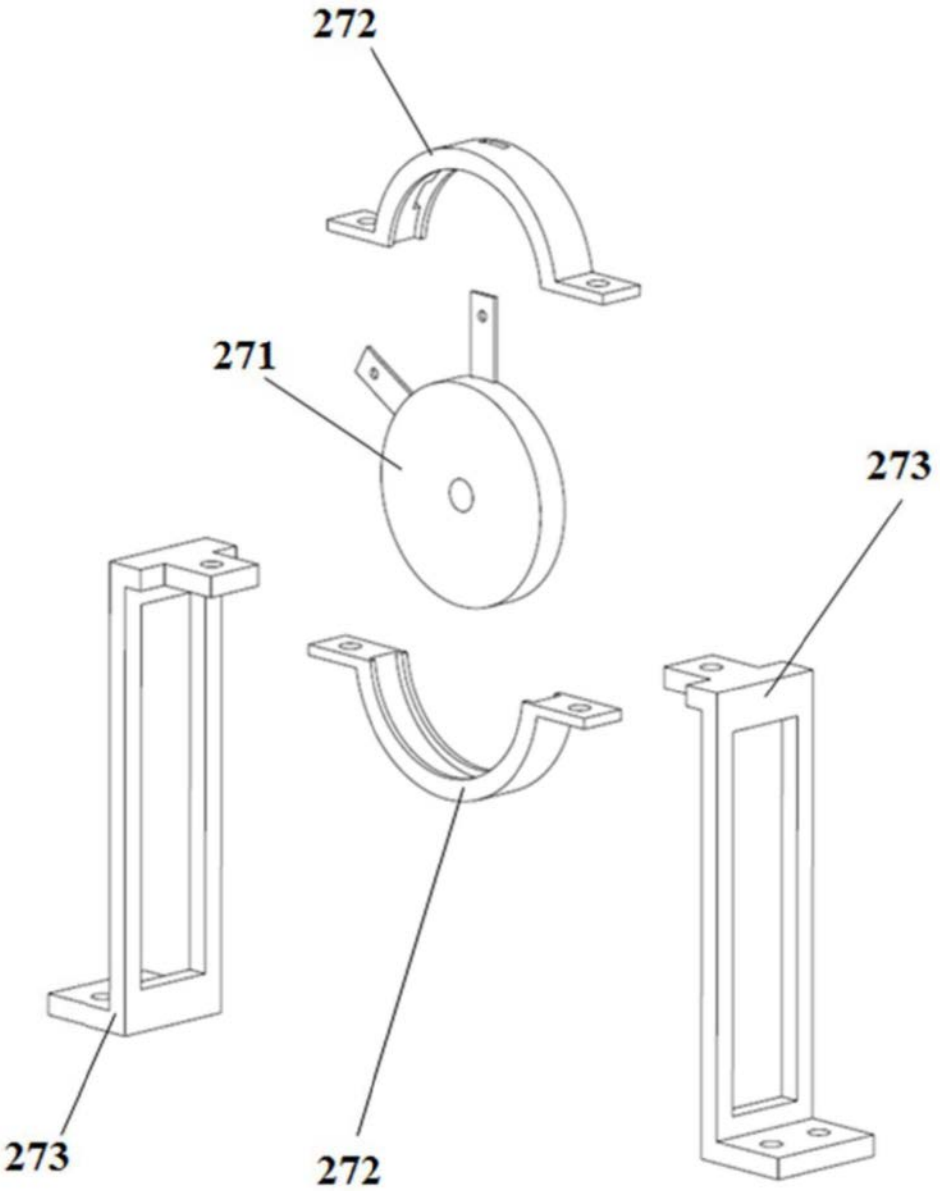


图14

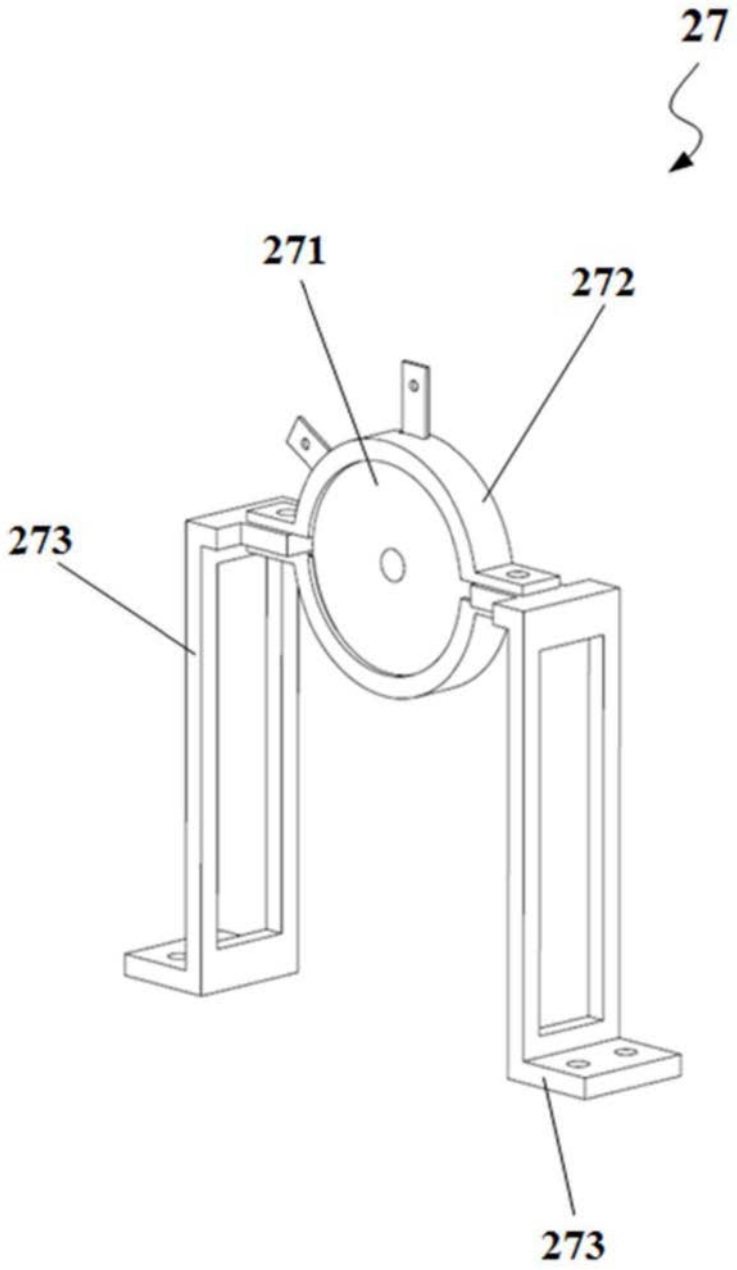


图15