



(21) 申请号 202410381461.1

(22) 申请日 2024.04.01

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 118347844 A

(43) 申请公布日 2024.07.16

(73) 专利权人 武汉理工大学

地址 430070 湖北省武汉市洪山区珞狮路
122号

专利权人 襄阳中车电机技术有限公司

(72) 发明人 胡剑 胡凹 胥军 李刚炎

李伟业

(74) 专利代理机构 湖北武汉永嘉专利代理有限

公司 42102

专利代理师 胡琳萍

(51) Int.Cl.

G01N 3/08 (2006.01)

G01N 3/20 (2006.01)

G01N 3/26 (2006.01)

G01N 3/02 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 103389243 A, 2013.11.13

CN 105091709 A, 2015.11.25

审查员 刘宇雄

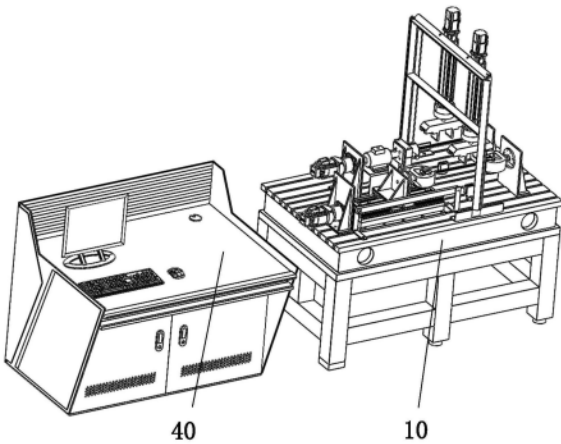
权利要求书2页 说明书13页 附图14页

(54) 发明名称

永磁牵引电机定子成型线圈涨型试验装置
及测试方法

(57) 摘要

本发明公开了一种永磁牵引电机定子成型线圈涨型试验装置及测试方法,包括:至少一个拉压组件,以辅助成型过渡边;至少一个扭转组件,布置在拉压组件的拉伸或压缩方向上,用于成型过渡圆角和鼻端部;至少一个弯曲组件,包括可沿着与试件两端点连线垂直的方向直线运动的弯曲头,以便按照四点或三点加压的方式成型直线边和过渡边;三种组件上对应设置载荷、位移、扭矩、角度传感器。将单一工况测试和拉伸-弯曲、扭转-弯曲、拉伸-扭转的复合工况测试组件集成一体且具有互换性和组合性,满足线圈时序性拉伸-弯曲、扭转-弯曲涨型的测试要求。可以大批量试验载荷、加载时间、保载时间、线圈长度与线圈变形回弹变化规律关系。



1. 一种永磁牵引电机定子成型线圈涨型试验装置,其特征在于包括:

至少一个拉压组件,以可活动调整布置位置的方式固定于基础平台上以辅助成型过渡边;

至少一个扭转组件,一一对应地布置在拉压组件的拉伸或压缩方向上,且能沿着基础平台滑动和移动以调整与拉压组件的相对位置而成型过渡圆角和鼻端部;

至少一个弯曲组件,包括可沿着与试件两端点连线垂直的方向直线运动的弯曲头,弯曲头在基础平台上的投影位置可调整设置,以便按照四点或三点加压的方式与拉压组件和扭转组件中的至少一种结合以成型直线边和过渡边;

三种组件上对应设置载荷传感器、位移传感器、扭矩传感器、角度传感器,以获取上述加工过程中成型线圈试件的载荷、位移、和形变参数;

三种组件均采用伺服电机连接行星减速器以形成动力输出模组;

拉压组件中,动力输出模组连接导轨滑块模组;导轨滑块模组包括丝杠滑块、导轨、固定端夹头、以及与固定端夹头成直线设置的移动端夹头,所述移动端夹头通过滑块约束在导轨上且能够沿导轨滑动直线运动;拉压组件中沿导轨设置光栅尺位移传感器,其中标尺光栅的两端分别固定于导轨的两端,指示光栅安装在移动端夹头上,用于随试件移动以测量伸长量;第一拉压传感器装在移动端夹头上,用于随试件移动以测量拉伸时受到的拉力;

扭转组件中,动力输出模组后方延伸线上,扭转动作端夹头和扭转固定端夹头成直线间隔设置,动力输出模组连接扭转动作端夹头,扭转固定端夹头处设置扭转夹头回零限位结构以限制扭转夹头的径向活动范围;角度及扭矩传感器设置在动力输出模组的行星减速器的输出端与扭转动作端夹头之间;

弯曲组件的弯曲头竖向或水平沿设置,动力输出模组输出端连接在与伸缩方向垂直设置的平衡板物理中心,平衡板下表面以平衡板物理中心为 midpoint 轴对称设置两个肋板状凸顶或者居中设置一个肋板状凸顶,凸顶沿着施压扩展或提拉伸缩方向设置,最低部位外缘保持适于与线圈接触压下的厚度。

2. 根据权利要求1所述的永磁牵引电机定子成型线圈涨型试验装置,其特征在于三种组件均能够独立工作,且所述扭转组件、弯曲组件设置为能够以至少一个组件参与的方式同时组合到拉压组件的工作空间以按照不同的加工时序对成型线圈试件进行线圈涨型加工试验。

3. 根据权利要求1所述的永磁牵引电机定子成型线圈涨型试验装置,其特征在于基础平台上设置若干平行的间隔滑槽,拉压组件和扭转组件均采用T型槽固定件固定,所述T型槽固定件底部带有能够沿滑槽移动的地脚滑动块,拉压组件和扭转组件设置为通过T型槽间距进行组合和位置调整。

4. 根据权利要求1所述的永磁牵引电机定子成型线圈涨型试验装置,其特征在于拉压组件和扭转组件各夹头包括多种形式,包括用于夹持直线边的夹头,以及包括均具有容纳线圈初始回折状态以及鼻端部收纳槽的夹头。

5. 根据权利要求1所述的永磁牵引电机定子成型线圈涨型试验装置,其特征在于扭转动作端夹头以及移动端夹头均采用T型槽固定件可移动拆卸地固定在基础平台上。

6. 一种涨型测试方法,其特征在于采用权利要求1-5任一项所述的永磁牵引电机定子成型线圈涨型试验装置,在对试件涨型测试时收集载荷、位移、和形变参数并结合线圈形变

作为可分析的测试结果,所述涨型测试方法至少包括以下几种:

单独的拉伸试验,单独的扭转试验,单独的弯曲试验,以及:

拉伸-弯曲试验:试件拉伸过程中承受弯矩,依据载荷时序性,拉伸-弯曲试验工况分为:先拉伸后弯曲,先弯曲后拉伸,同时拉伸与弯曲;

扭转-弯曲试验:试件扭转过程中承受弯矩,依据载荷时序性,扭转-弯曲试验工况包括:先扭转后弯曲、先弯曲后扭转、同时扭转与弯曲,试件在扭转过程中并承受弯矩;弯曲头产生的推力恒定不变且不转动,通过调整弯曲头上凸顶个数或距离,在试件上实现一点或两点加力而进行三点弯曲或四点弯曲试验;

拉伸-扭转试验:试件拉伸过程中承受扭矩,拉伸-扭转试验工况分为:先拉伸后扭转,先扭转后拉伸,同时拉伸与扭转。

永磁牵引电机定子成型线圈涨型试验装置及测试方法

技术领域

[0001] 本发明属于轨道交通永磁牵引电机定子制造技术领域,具体涉及一种永磁牵引电机定子成型线圈涨型试验的装置及测试方法。

背景技术

[0002] 永磁牵引电机作为现代运载装备的驱动核心组件,具有高功率密度和高可靠性。定子成型线圈作为永磁牵引电机的重要部件,使用聚酰亚胺薄膜绕包铜线所制的电磁线作为制造材料在涨型装备上制造而成。

[0003] 定子成型线圈涨型过程复杂,如图1所示,需要将左侧圆角矩形形状或梭形线圈500成型为右侧呈立体几何形态的菱形线圈,包括直线边1、过渡边2、过渡圆角3、鼻端部4这几个主要的部分。过渡边2、过渡圆角3、鼻端部4具有曲面和扭转特征,中间具有拉伸的直线边1,涨型工艺直接影响线圈各尺寸精度以及后续装配工艺流程有效进行。

[0004] 基于定子成型线圈材料的弹塑性特性,在涨型制造完毕后,易发生残余应力释放产生回弹现象,形状与尺寸发生变化,导致线圈的几何形状与尺寸参数等无法满足装配工艺尺寸要求,或造成绝缘层挤压破损。上述问题将直接导致定子成型线圈匝间短路烧损,严重威胁永磁牵引电机的安全运行。因而在线圈涨型过程前期需要进行大量测试来保证各部分结构参数的合理设计,通过分析卸载后材料回弹对成型线圈尺寸的影响,优化涨型工艺参数,为定子成型线圈涨型制造提供试验依据,保障永磁牵引电机的高功率密度和绝缘性能。

[0005] 但是成型的涨型机对线圈的操作只是通过驱动电机采用位置环控制实现线圈的拉伸位移和角度变形,没有办法在加工工程中考虑拉伸载荷、弯曲载荷和变形量对线圈的实时影响。线圈加工中无法映射出载荷、位移、形变的真实值,并无法考虑机械装备误差传递、误差累积和补偿误差,加工误差较大,难以保证线圈制造精度,也无法考虑不同的加工顺序和过程对线圈的影响。

[0006] 而目前传统的力学试验台为了满足通用化需求,存在试验样件的尺寸为固定尺寸,试件尺寸的多种方式通常与动作端的行程和设计固定尺寸有关,难以对多种同种材料的尺寸进行试验。特别是定子成型线圈包括直线部和鼻部,是一个复杂的不规则扭转和拉伸结构,无法在传统力学试验台上进行涨型测试。

[0007] 同时,传统力学试验台监测物理量较少,获取的物理量不全面,比如大多数仅仅能够独立拉伸、独立弯曲,即使是复合型试验台,拉伸弯曲复合测试能够体现,但是拉伸和扭转不能同时体现。而在涨型过程中,定子成型线圈通过扭转-弯曲工况形成过度边和直线边,需要反应各工况下的综合力学性能特性,而传统试验台无法全面探究成型影响因素对试件成型过程中的权重,难以真实映射于工业应用中。

[0008] 且传统试验台为了保证通用性,传动结构受到限制,多采用蜗轮蜗杆和齿轮副传动,传动效率低,传动比不宜过大,积累了多种机械传动误差;且在载荷过大中受制于使用要求,传动能量会损耗在摩擦和热量上。同时电机通常是开环控制,无法实时调整位置误

差,容易出现累积误差,在高速运动、大扭矩输出方面影响位置的精准度和稳定性。

[0009] 此外,传统试验台的部分传动机构基本暴露在空气中,容易受到灰尘、腐蚀等外界因素的影响,导致精度下降和寿命缩短,产生较大定位误差,对定子成型线圈试验过程时,容易导致执行端过定位,无法准确判断出试件变形量。

发明内容

[0010] 本申请的目的在于提供一种永磁牵引电机定子成型线圈涨型试验装置及测试方法,以适应不同尺寸定子成型线圈的涨型需求,探究涨型过程,厘清线圈涨型力学特性,对定子成型线圈电磁线拉伸-扭转-弯曲涨型过程进行分解,在各工况下对电磁线材料进行试验,探寻电磁线几何尺寸变化与扭矩、加载时间、保载时间、线圈长度、形变量等的变化规律,研究多种物理参量关系,为试验参数与制造参数相互映射得出优化涨型工艺参数,分析卸载后材料回弹对成型线圈尺寸的影响,优化涨型工艺参数,为定子成型线圈涨型制造提供试验依据,保障永磁牵引电机的高功率密度和绝缘性能。

[0011] 为解决上述技术问题,本发明采用如下技术方案:

[0012] 一种永磁牵引电机定子成型线圈涨型试验装置,其特征在于包括:

[0013] 至少一个拉压组件,以可活动调整布置位置的方式固定于基础平台上以辅助成型过渡边;

[0014] 至少一个扭转组件,一一对应地布置在拉压组件的拉伸或压缩方向上,且能沿着基础平台滑动和移动以调整与拉压组件的相对位置而成型过渡圆角和鼻端部;

[0015] 至少一个弯曲组件,包括可沿着与试件两端点连线垂直的方向直线运动的弯曲头,弯曲头在基础平台上的投影位置可调整设置,以便按照四点或三点加压的方式与拉压组件和/或扭转组件结合以成型直线边和过渡边;

[0016] 三种组件上均设置载荷传感器、位移传感器、扭矩传感器、角度传感器,以获取上述加工过程中成型线圈试件的载荷、位移、和形变参数。

[0017] 上述技术方案中,三种组件均能够独立工作,且所述扭转组件、弯曲组件设置为能够以至少一个组件参与的方式同时组合到拉压组件的工作空间以按照不同的加工顺序对成型线圈试件进行线圈涨型加工试验。

[0018] 上述技术方案中,基础平台上设置若干平行的间隔滑槽,拉压组件和扭转组件均采用T型槽固定件固定,所述T型槽固定件底部带有能够沿滑槽移动的地脚滑动块,拉压组件和扭转组件设置为通过T型槽间距进行组合和位置调整。

[0019] 上述技术方案中,拉压组件、扭转组件、弯曲组件均采用伺服电机连接行星减速器以形成动力输出模组。

[0020] 上述技术方案中,拉压组件中,动力输出模组连接导轨滑块模组;导轨滑块模组包括丝杠滑块、导轨、固定端夹头、以及与固定端夹头成直线设置的移动端夹头,所述移动端夹头通过滑块约束在导轨上且能够沿导轨滑动直线运动。

[0021] 上述技术方案中,拉压组件中沿导轨设置光栅尺位移传感器,其中标尺光栅的两端分别固定于导轨的两端,指示光栅安装在移动端夹头上,用于随试件移动以测量伸长量;第一拉压传感器装在移动端夹头上,用于随试件移动以测量拉伸时受到的拉力。

[0022] 上述技术方案中,扭转组件中,动力输出模组后方延伸线上,扭转动作端夹头和扭

转固定端夹头成直线间隔设置,动力输出模组连接扭转动作端夹头,扭转固定端夹头处设置扭转夹头回零限位结构于以限制扭转夹头的径向活动范围;角度扭矩传感器设置在动力输出模组的行星减速器的输出端与扭转动作端夹头之间。

[0023] 上述技术方案中,各组件的夹头包括多种,包括用于夹持直线边的夹头,以及包括均具有容纳线圈初始回折状态以及鼻端部收纳槽的夹头。

[0024] 上述技术方案中,扭转动作端夹头以及移动端夹头均采用T型槽固定件可移动拆卸地固定在基础平台上。

[0025] 上述技术方案中,弯曲组件的弯曲头沿伸缩方向竖向或水平设置,动力输出模组输出端连接在与伸缩方向垂直设置的平衡板物理中心,平衡板下表面以平衡板物理中心为中点轴对称设置两个肋板状凸顶或者居中设置一个肋板状凸顶,凸顶沿着施压扩展或提拉伸缩方向设置,最低部位外缘保持适于与线圈接触压下的厚度。根据弯曲需求不同,更换不同的弯曲头,或调整两个肋板状凸顶的间隔距离,实现一点加力或不同距离的两点加力,保证了装置的可替换性。

[0026] 上述技术方案中,升降动力装置输出端设置拉压传感器,在平衡板的中心正下方在基础平台上设置激光位移传感器以保证激光位移传感器设置在待测材料的正下方。

[0027] 上述技术方案中,升降动力输出模组为气缸、液压缸、或丝杠和导轨组件中的一种。

[0028] 上述技术方案中,在基础平台下方或另外设置具有上位机、PLC和驱动器的控制总成,上位机通过数据采集电路连接各传感器和各动力输出模组。

[0029] 上述技术方案中,控制总成还设置控制单元、输入单元和输出单元;控制单元的信号收发端与信号处理单元的信号收发端连接,控制单元用于接收和处理传感器数据并发送电机控制信号;输入单元的信号输出端与控制单元的信号输入端连接,输入单元用于将用户操作转换为控制信号发送给控制单元;控制单元的信号输出端与输出单元的信号输入端连接,输出单元用于将控制单元输出的数据显示给用户。

[0030] 本发明还提供采用上述永磁牵引电机定子成型线圈涨型试验装置的涨型测试方法,在对试件涨型测试时收集载荷、位移、和形变参数并结合线圈形变对测试结果进行分析,所述涨型测试方法至少包括以下几种:

[0031] 单独的拉伸试验,单独的扭转试验,单独的弯曲试验,以及:

[0032] 扭转-弯曲试验:试件扭转过程中承受弯矩,依据载荷时序性,扭转-弯曲试验工况包括:先扭转后弯曲、先弯曲后扭转、同时扭转与弯曲,试件在扭转过程中并承受弯矩;弯曲头产生的推力恒定不变且不转动,通过调整弯曲头上凸顶个数或距离,在试件上实现一点或两点加力而进行三点弯曲或四点弯曲试验;

[0033] 拉伸-扭转试验:试件拉伸过程中承受扭矩,拉伸-扭转试验工况分为:先拉伸后扭转,先扭转后拉伸,同时拉伸与扭转。

[0034] 上述方法中,成型线圈的拉伸是在圆角矩形线圈两端的半圆弧处施加拉力拉伸使线圈整体变长;成型线圈的鼻部是由梭形线圈的两端的半圆弧经过扭转工艺成型,成型线圈的直线边是由圆角矩形的直线边经过弯曲工艺成型。

[0035] 上述永磁牵引电机定子成型线圈涨型试验装置的涨型测试方法,包括以下步骤:

[0036] S1:搭建试验装置,S2:准备试件;S3:分别将试件装夹在拉压组件和扭转组件上;

S4:线圈涨型测试,在控制总成上输入控制参数,控制总成将控制参数发送给试验装置中的各执行部件;S5:数据分析与处理,试验过程中,系统输出拉伸端拉力 F_1 、弯曲端推力 F_2 、拉伸位移 D_1 、弯曲挠度 D_2 、扭矩 T 、扭矩加载时间 t_1 、扭矩保载时间 t_2 、推力加载时间 t_3 、推力保载时间 t_4 、拉伸拉力 F_3 、拉伸位移 D_3 、旋转角度 γ 、旋转角度 θ 数据,用户对数据进行分析。

[0037] 上述技术方案中,S4包括S41:拉伸试验步骤为:装夹试件后安装引伸计,标记原始标距并设定试验力零点;之后试件夹持,进行拉伸试验获取屈服荷载值进行数据分析与处理。

[0038] 上述技术方案中,S4包括S42:扭转试验步骤为:安装试件后设定输出扭矩与角度控制范围;扭转回弹量数据采集;扭矩 T 、加载时间 t_1 、保载时间 t_2 、旋转角度 θ 。

[0039] 上述技术方案中,S4包括S43:弯曲试验步骤为:试件在弯曲过程中并承受弯矩,弯曲端产生的推力恒定不变且不转动;通过调整弯曲夹具上凸顶个数或距离,在试件一点或两点加力进行三点弯曲或四点弯曲;标记线圈初始标距;调整弯曲端夹具,手动调整四点弯曲专用夹具上两作用压头的距离,再通过调整电缸支架位置使压头与标记点对齐;弯曲测试和数据采集;系统输出推力 F_2 、弯曲挠度 D_2 、加载时间 t_1 、保载时间 t_2 、线圈长度 L_c 等数据信息。

[0040] 上述技术方案中,S4包括S44:拉伸-弯曲试验,试件拉伸过程中并承受弯矩。拉伸-弯曲试验存在载荷时序性,试验工况包括:先拉伸后弯曲,先弯曲后拉伸,同时拉伸与弯曲。

[0041] 上述技术方案中,S4包括S45:扭转-弯曲试验,试件扭转过程中并承受弯矩。扭转-弯曲试验存在载荷时序性,试验工况包括:先扭转后弯曲、先弯曲后扭转、同时扭转与弯曲。试件在扭转过程中并承受弯矩,弯曲端产生的推力恒定不变且不转动;通过调整弯曲夹具上凸顶距离或安装个数,在试件一点或两点加力进行三点弯曲或四点弯曲。

[0042] 上述技术方案中,S4包括S46:拉伸-扭转试验,试件拉伸过程中并承受扭矩。拉伸-扭转试验存在载荷时序性,试验工况包括:先拉伸后扭矩,先扭矩后拉伸,同时拉伸与扭矩。

[0043] 以上测试方法的实施例仅用于说明本发明的设计思想和特点,其目的在于使本领域内的技术人员能够了解本发明的内容并据以实施,在调整加工顺序的基础上均可以采用发明的方法实现,因而本发明的保护范围不限于上述实施例。

[0044] 相对于现有技术,本申请的有益效果是:

[0045] 1.本发明的一种永磁牵引电机定子成型线圈涨型试验装置和测试方法通过对定子成型线圈电磁线材料进行试验研究,分析施加载荷、施加时间、保载时间与形变量变化规律,寻找多工况下材料应力应变关系,优化各工况涨型参数,提出优化涨型方案,提高批量涨型制造产品的一致性率和提高永磁牵引电机安全性。

[0046] 2.本发明将拉伸、扭转、弯曲三种单一工况测试组件和拉伸-弯曲、扭转-弯曲、拉伸-扭转的复合工况测试组件集成在一个基础平台上,拉伸与扭转以及弯曲可按T型槽间距再行组合,如弯曲组件可以平行于基础平台设置;具有良好互换性;并提出一种研究载荷、加载时间、保载时间、线圈长度与线圈变形回弹变化规律关系的测试方法,满足线圈拉伸-弯曲、扭转-弯曲涨型的测试要求。

[0047] 3.定子成型线圈电磁线材料为紫铜材质,采用线圈所涉及到的材料费用高昂,通过本发明进行涨型试验机理研究能够有效降低试验成本,快速对某一涨型工序的涨型机理进行探究,降低时间成本。规避了涨型机直接加工测试效果的巨大成本和事后测试效果不

稳定不准确的缺陷。

[0048] 4. 本发明能够实现拉力、拉伸位移、扭矩、角度、弯曲力、弯曲扰度等6种物理参量多通道数据采集,实时获取实时采集和显示试验过程中的数据,操作方便;克服了通用力学平台无法适用线圈特殊形状和测试需求无法满足的问题,整个检测过程的自动化程度高,满足了定子成型线圈各种工况下的测试需求,促进了轨道交通永磁牵引电机制造技术的发展。

附图说明

[0049] 为了更清楚地说明本申请实施例的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,应当理解,以下附图仅示出了本申请的某些实施例,因此不应被看作是对范围的限定,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他相关的附图。

[0050] 图1为现有技术中线圈由初始状态到涨型后的成型线圈结构的示意图。

[0051] 图2为本发明的永磁牵引电机定子成型线圈涨型试验装置总体结构图。

[0052] 图3为本发明永磁牵引电机定子成型线圈涨型试验装置的机械总成结构图。

[0053] 图4为本发明的结构原理图。

[0054] 图5为本发明的可互换性T型紧固件结构示意图。

[0055] 图6为图3的俯视图。

[0056] 图7为本发明光栅尺中指示光栅与读数光栅装配示意图。

[0057] 图8为本发明光栅尺与拉伸工况中试件拉伸过程示意图。

[0058] 图9为本发明的试验装置拉伸与弯曲组件组合实施例的示意图。

[0059] 图10为本发明试验装置拉伸-扭转-弯曲复合工况试验装置实施例的装配图。

[0060] 图11为本发明扭转过程夹具结构示意图。

[0061] 图12为图11的拆分图。

[0062] 图13为本发明扭转夹头支撑基座与扭转工况中试件扭转过程示意图。

[0063] 图14为本发明试验装置扭转与弯曲组件组合的实施例示意图。

[0064] 图15为本发明的两种弯曲压头结构示意图。

[0065] 图16为本发明弯曲夹头与弯曲工况中试件弯曲过程示意图(四点压下)。

[0066] 图17为本发明的拉伸-弯曲过程试件采用拉伸夹头装夹示意图。

[0067] 图18为拉伸夹头的工作原理。

[0068] 图19为本发明扭转-弯曲工况加载前示意图(a)和扭转-弯曲工况加载后示意图(b)。图19(c)为扭转-弯曲工况的弯曲夹头。

[0069] 图20为本发明拉伸-扭转工况加载过程示意图。

[0070] 图21为本发明的梭形线圈到成型线圈拉伸-扭转-弯曲变化过程示意图。

具体实施方式

[0071] 为使本申请实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本申请实施例中的附图。以下结合实施例对本申请的特征和性能作进一步的详细描述。

[0072] 实施例1

[0073] 根据本发明实施的永磁牵引电机定子成型线圈涨型试验装置如图2-21所示,包括机械总成10和控制总成40两部分。参见图2至图6,机械总成10包括设置T型槽的基础平台100、拉伸组件1、扭转组件2、弯曲组件3;控制总成40包括信号处理单元和控制单元;电源用于向整个装置提供驱动力;

[0074] 设置T型槽的基础平台100基础平台工作表面水平放置;基础平台100上表面设置一组平行的槽,用于通过带有地脚的T型螺栓600并将各种专用支架固定在基础平台100上。沿着T型槽的纵向方向为左右方向;垂直于本基础平台100表面的为上下向。T型螺栓600与基础平台100连接示意图参加图5。

[0075] 参见图2至图10、图17、图19-21,拉伸组件包含第一伺服电机101、第一伺服电机固定座102、第一行星减速器103、第一联轴器104、导轨滑块模组基座105、导轨滑块模组106、拉伸夹头移动端基座107、拉伸移动端夹头109、拉力传感器108、光栅尺位移传感器110、光栅尺固定支架111、拉伸夹头固定端基座113、拉伸固定端夹头112。

[0076] 第一伺服电机固定座102、导轨滑块模组基座105、光栅尺固定支架111、拉伸夹头固定端基座113分别用T型螺栓固定在基础平台100上;

[0077] 第一伺服电机101与伺服电机固定座102相连,伺服电机固定座102用于将第一伺服电机101固定在基础平台100上;第一伺服电机101用于给导轨滑块模组106提供扭矩;第一行星减速器103的输入端与第一伺服电机101相连,第一行星减速器103的输出端与导轨滑块模组106相连,第一行星减速器103用于给第一伺服电机101提供恒定的减速比;第一联轴器104用于连接第一行星减速器103的输出端和导轨滑块模组106的丝杠;导轨滑块模组106与导轨滑块模组基座104相连,导轨滑块模组106用于将第一伺服电机101输出的转动转化为导轨滑块模组106移动平台的直线移动;拉伸专用夹头包括拉伸移动端夹头109和拉伸固定端夹头112,拉伸专用夹头用于夹持待测材料进行拉伸测试;拉伸移动端夹头109与拉力传感器108连接,拉伸固定端夹头112与拉伸夹头固定端基座113连接。

[0078] 导轨滑块模组基座105用于将导轨滑块模组106固定在基础平台100上;光栅尺固定支架111用于将光栅尺位移传感器110固定在基础平台100上;拉伸夹头移动端基座107用紧固件固定在导轨滑块模组106的移动平台1061上,并用于固定拉力传感器108和拉伸移动端夹头109;拉伸夹头移动端基座107用于将拉伸移动端夹头109固定在导轨滑块模组106的移动平台1061上;拉伸夹头固定端基座113用于将拉伸固定端夹头112固定在基础平台100上。

[0079] 光栅尺位移传感器110设置在导轨滑块模组106上,其中长光栅1101(标尺光栅)的两端分别安装在两个光栅尺固定支架111上,短光栅1102(指示光栅)安装在导轨滑块模组106的移动平台1061上,光栅尺位移传感器110用于测量材料的伸长量;拉伸组件拉力传感器108,安装在拉伸夹头移动端基座上,并与拉伸移动夹头连接,用于测量材料拉伸时受到的拉力。

[0080] 参见图17和图18,拉伸移动端夹头109和拉伸固定端夹头112的两个楔块1091夹紧,通过楔块1091上的两个力臂旋转推进楔块锁止,在试件700上面通过螺钉紧固矩形块1092压紧。防止拉伸过程中试件700松动。

[0081] 如图2-14、19-21所示,扭转组件中,第二伺服电机固定座202、角度扭矩传感器支架206、扭转端夹头支架207、角度扭矩传感器支架206和分别用专用T型螺栓500固定在基础

平台100上,并分别用于固定伺服电机201、角度扭矩传感器205、扭转夹头支撑座208、扭转固定端夹头210。

[0082] 拉伸移动端夹头109和拉伸固定端夹头112安装在同一水平高度上;第二伺服电机201输出轴、第二行星减速器203输出轴、角度扭矩传感器205输出轴、扭转动作端夹头209中心和扭转固定端夹头210中心安装在同一水平直线上且平行于基础平台100工作表面。

[0083] 第二伺服电机201与伺服电机固定座202相连,第二伺服电机201提供扭矩;第二行星减速器203的输入端与第二伺服电机201相连,第二行星减速器203的输出端与角度扭矩传感器205相连,行星减速器203用于给伺服电机201提供恒定的减速比;联轴器204用于连接行星减速器203的输出端和角度扭矩传感器205的输入端;角度扭矩传感器205作为传动结构的一部分,角度扭转传感器的输出端与扭转夹头通过键连接;扭转专用夹头包括扭转动作端夹头206和扭转固定端夹头210,扭转专用夹头用于夹持待测材料进行扭转测试;扭转动作端夹头209与角度扭矩传感器205通过键连接,扭转固定端夹头210与扭转夹头固定端基座207连接。

[0084] 角度扭矩传感器支架206用于将角度扭矩传感器205固定在基础平台100上;扭转端夹头支架207用于将扭转夹头支撑座208固定在基础平台100上;扭转夹头支撑座208用于限制扭转夹头的径向活动范围;扭转夹头固定端基座207用于将扭转固定端夹头固定在基础平台100上。

[0085] 角度扭矩传感器205设置在第二行星减速器203的输出端与扭转夹头之间,并由角度扭矩传感器支架206固定在基础平台100上,角度扭矩传感器205用于测量待测材料的扭转角度和所受扭矩。

[0086] 如图10-12,扭转夹头支撑座208用于限制扭转动作端夹头209的径向运动,扭转夹头支撑座208分为上下两块,上块2081和下块2082中的夹合孔组成一个完整的圆形;该圆的直径应略小于扭转动作端夹头209外圆的直径,且两者之间空隙中设置石墨棉填充物213,石墨棉填充物213与扭转动作端夹头209外缘直接接触以润滑,防止刚性接触加剧磨损及减小传动误差,保证石墨棉填充物213与扭转动作端夹头209外缘之间的摩擦力足够小。

[0087] 如图12所示,扭转夹头回零限位装置212具有设置在扭转夹头支撑座208上的接近开关2120,当扭转动作端夹头209上的接近端2121被旋转到达接近开关2120处时进行限位,用于扭转夹具角度重置回到原点位置。

[0088] 拉压组件和扭转组件的夹头包括多种,包括用于夹持直线边的夹头(如图17),以及包括均具有容纳线圈初始回折状态以及鼻端部收纳槽的夹头(如图19和20)。

[0089] 如图2-11、15-21本实施例中的弯曲组件具有两个动作端(其中一个为冗余设置),组成部件和加载方式都相同,分别与拉伸组件和扭转组件垂直放置。实际仅仅设置一个弯曲组件也可以,如图13、图16、图18、图19实施例。

[0090] 弯曲组件包含龙门架301、带有驱动电机和第三行星减速器的动力模组302,电缸303、压力传感器304、弯曲压头305、激光位移传感器支架306、激光位移传感器307。电缸303位丝杆和螺母伸缩组件。此处,电缸303也可以用伺服气缸液压缸等精密直线装置替代。

[0091] 弯曲压头305所在的直线动作机构安装在龙门架301上,保证电缸303的推杆与基础平台100平面垂直;调节激光位移传感器支架306安装位置,保证激光位移传感器307发射和接收点位于电缸推杆正下方位置。

[0092] 也可以如图4所示,弯曲组件可以平行于基础平台设置。将弯曲压头305水平设置,推压方向平行与基础平台100且垂直于拉伸方向或扭转夹头的中心线设置。龙门架301也平行于基础平台100设置。

[0093] 无论设置方向如何,驱动装置和结构均相同。电缸303与龙门架301连接,电缸303用于推动四点弯曲压头进给运动;四点弯曲专用压头与压力传感器304连接,四点弯曲专用压头用于对待测材料进行四点弯曲。

[0094] 激光位移传感器支架306用于将激光位移传感器307固定在基础平台100上;龙门架301用于将电缸303垂直固定在基础平台100上方;基础平台100用于放置本组件的元器件。

[0095] 压力传感器304安装在电缸303的推杆上,并与弯曲压头305相连,压力传感器304用于测量材料弯曲时受到的压力;激光位移传感器307设置在待测材料的正下方,并由激光位移传感器支架306固定在基础平台100上,激光位移传感器307用于测量待测材料的弯曲垂直下压距离。

[0096] 图15给出了几种结构的弯曲压头305的结构。均包括垂直连接在直线运动的动力输出模组输出端的平衡板物理中心,平衡板下方以平衡板物理中心为中点轴对称设置两个肋板状凸顶3051(图15(a))或者居中设置一个肋板状凸顶3051(图15(b)),凸顶3051沿着施压扩展或提拉方向设置,最低部位外缘保持适于与线圈接触压下的厚度。凸顶3051设置为可以通过T型螺栓600固定在平衡板上或调整位置。

[0097] 根据弯曲需求不同,更换不同的弯曲头,或调整两个肋板状凸顶的间隔距离,实现一点加力或不同距离的两点加力,保证了装置的可替换性。

[0098] 图19(c)为扭转-弯曲工况的弯曲夹头。弯曲夹头顶弯试件形成直线边,通过夹头上竖直方向以及水平方向的螺钉从两个方向相对靠拢紧固试件(竖直方向通过螺钉带动活动夹止块夹紧,螺钉头可以设置防护层以保护试件)。弯曲夹头锁止试件直线边,直线边从夹头底部的开口往下延伸到弯曲加载头的压下位置,扭转端在转动时使试件产生翘曲现象形成过渡边结构,避免了扭转时候产生麻花扭曲现象。

[0099] 如图16给出了采用两点式弯曲压头对试件700实现四点压下的变化状态。

[0100] 控制结构参考图2-4,控制总成40包括控制单元、输入单元和输出单元;控制单元的信号收发端与信号处理单元的信号收发端连接,控制单元用于接收和处理传感器数据并发送电机控制信号;输入单元的信号输出端与控制单元的信号输入端连接,输入单元用于将用户操作转换为控制信号发送给控制单元;控制单元的信号输出端与输出单元的信号输入端连接,输出单元用于将控制单元输出的数据显示给用户;

[0101] 控制单元中,包设置控制电路,控制电路包括电机控制电路和传感器控制电路;电机控制电路包括伺服电机控制电路和电缸控制电路,伺服电机控制电路上位机4、PLC控制器5和V90驱动器6,伺服电机控制电路用于对第一、第二伺服电机进行位置控制、速度控制和转矩控制,电缸控制电路用于对电缸303进行位置控制、速度控制和转矩控制。

[0102] 信号处理单元包括数据采集电路、滤波电路;滤波电路的信号输入端与传感器的信号输出端连接,滤波电路的信号输出端与数据采集电路的模数转换接口连接,滤波电路用于平滑输入数据采集电路的信号;数据采集电路的信号收发端与上位机4的信号收发端连接,数据采集电路用于向上位机发送传感器数据并接收上位机的控制信号。

- [0103] 采用上述永磁牵引电机定子成型线圈涨型试验装置的测试方法,包括以下步骤:
- [0104] S1:搭建测试装置,
- [0105] 通将基础平台100固定并调节地脚螺栓,保证基础平台100平面处于水平位置;
- [0106] 通过紧固件和专用固定支架将第一伺服电机固定座102、导轨滑块模组基座105、光栅尺固定支架111、拉伸夹头固定端基座113、第二伺服电机固定座202、角度扭矩传感器支架206、扭转端夹头支架207、扭转夹头固定端基座207、激光位移传感器支架105和龙门架301固定在基础平台100上;
- [0107] 将基础平台100固定并调节地脚螺栓,保证基础平台100平面处于水平位置;通过紧固螺栓将拉伸夹头移动端基座107固定在导轨滑块模组106的移动平台上;通过紧固件将拉力传感器108固定在拉伸夹头移动端基座107上;
- [0108] 通过第一联轴器104将第一行星减速器103的输出端与导轨滑块模组106的丝杠输入端连接;
- [0109] 通过紧固螺栓将拉伸固定端夹头112固定在拉力传感器108上;通过紧固螺栓将角度扭矩传感器205固定在角度扭矩传感器支架206上;通过紧固螺栓将石墨棉填充物固定在扭转夹头支撑座208内壁;通过紧固螺栓将扭转夹头支撑座208下半部分固定在扭转端夹头支架207上;将扭转动作端夹头204放置在扭转夹头下半部分圆槽内,并通过键将扭转动作端夹头204与角度扭矩传感器205连接;
- [0110] 通过紧固螺栓将扭转夹头支撑座208的上半部分固定在扭转夹头支撑座208的下半部分上;通过紧固螺栓将电缸303固定在龙门架301上;通过紧固螺栓将压力传感器304固定在电缸303的推杆上;通过紧固螺栓将弯曲压头305固定在压力传感器304上;连接数据采集电路的信号收发端与控制单元的信号收发端;连接输入单元的信号输出端与控制单元的信号输入端;连接控制单元的信号输出端与输出单元的信号输入端;
- [0111] S2:准备试件,选取具有聚酰亚胺薄膜层的电磁线,分析涨型机制造过程利用等效原理计算试件尺寸,对电磁线加工处理作为试验试件;
- [0112] S3:装夹试件,在拉伸端装夹试件,先将试件装夹在固定端夹具内,通过操作界面上调整精确控制丝杠进给量,使拉伸端两夹具间距能够满足线圈长度。再拧紧拉伸夹具紧固把手,对试件进行固定夹紧。在扭转端,移动固定端夹具,调整至试件合适长度,拧紧扭转夹具紧固螺栓;
- [0113] S4:涨型试验测试,通过输入单元向控制单元输入控制参数,控制单元通过信号处理单元将控制参数发送给装置中的各元器件;
- [0114] S5:数据分析与处理,系统输出拉伸端拉力 F_1 、弯曲端推力 F_2 、拉伸位移 D_1 、弯曲挠度 D_2 、扭矩 T 、扭矩加载时间 t_1 、扭矩保载时间 t_2 、推力加载时间 t_3 、推力保载时间 t_4 、旋转角度 θ 等数据,用户对数据进行分析;
- [0115] S41:拉伸试验,其具体步骤为:
- [0116] S411:调整拉伸端组件,通过伺服电机手动模式点动调整滚珠丝杠进给量,使拉伸端两夹具间距能够近似满足线圈长度,标记滚珠丝杠刻度。以滚珠丝杠限位端与固定端间距作为线圈长度初始长度 L_0 ,滚珠丝杠由限位端到电机端进给移动进行拉伸运动;
- [0117] S412:装夹试件,先将试件装夹在拉伸组件固定端夹具内,通过丝杠导程计算出电机转动角度在上位机操作界面上进行精确控制丝杠进给量,使拉伸端两夹具间距能够满足

线圈长度,再拧紧拉伸夹具紧固把手,对试件进行固定夹紧,此过程中保证试件材料与专用试验台平面平行;S413:安装引伸计,将引伸计安装在试件上约中间处,引伸计标记距离为 L_e ,用细划线标记原始标距 L_e ;

[0118] S414:设定试验力零点,在试验加载链装配完成后,试件两端被夹持前,应设定力测量系统的零点;S415:试件夹持,使用拉伸端夹具夹持试件,确保夹持的试件受轴向拉力的作用,减少弯曲作用。为了得到直的试件和确保试件与夹具水平对齐,可以施加不超过5%规定强度相对应的预拉力;

[0119] S416:进行试验,通过上位机控制电机驱动进行拉伸动作,缓慢而均匀地加载,获取屈服荷载值,记录下来用以计算屈服点应力值,屈服阶段注意观察滑移现象,过了屈服阶段,加载速度可以加快;

[0120] S417:拉伸测试与数据采集,通过上位机操作界面控制伺服电机驱动,作动端产生轴向拉力使试件发生形变,通过软件界面监测光栅尺测得位移,将拉力 F_1 、位移 D_1 、加载时间 t_1 、保载时间 t_2 、线圈长度 L_e 作为控制变量,设定其中两个控制变量,将位移设置成监测响应,当试件拉伸至设定位移时,控制电机停止转动并抱闸,进行保载,并观测拉伸位移量 S_1 ;S418:数据分析与处理,系统输出拉力 F_1 、位移 S_1 、加载时间 t_1 、保载时间 t_2 、线圈长度 L_e 等数据,用户对数据进行分析。

[0121] S42:扭转试验,如图13,其具体步骤为:

[0122] S421:调整扭转端夹具,松开扭转端固定夹具下面紧固螺钉,通过滑移导轨调整两夹具间距能够大于试件初始长度 L_e 。S422:安装试件,将试件平行于台面嵌入动作端扭转夹具,使其轴线与夹头中轴线相重合,确保试件在试验过程中保持平直,转动把手拧紧;再调整滑轨距离至满足线圈长度要求,试件另一段嵌入固定端夹具,再紧固固定端安装螺钉,拧紧固定端夹具把手至夹紧试件;将试件置入试验机夹头后,以一合适的恒定速度旋转可转动夹头,直至试件达到规定的扭转角度 α ;

[0123] S423:启动电机,通过上位机操作界面控制输出扭矩与角度控制范围;

[0124] S424:扭转数据采集;通过上位机操作界面控制电机驱动;作动端产生旋转运动使试件发生扭曲形变,通过软件界面监测出扭矩与旋转角度阈值;将扭矩 T 、加载时间 t_1 、保载时间 t_2 、旋转角度 θ 、线圈长度 L_e 作为控制变量;设定其中两个控制变量;将扭矩和角度设置成监测响应,当试件扭曲至预设角度 α 时,控制电机停止工作至抱闸,进行保载,变控时间,并观测扭转数值;此时,试件发生一定程度的扭曲,保载后,进行扭矩卸载,控制电机反向转动,观测扭矩数值变化,当扭矩数值为0时,停止电机运行;卸载完毕后,读出变化角度 β ;S425:数据分析与处理,扭矩 T 、加载时间 t_1 、保载时间 t_2 、旋转角度 θ 。

[0125] S43:弯曲试验,如图16,具体步骤为:S431:调整夹具,通过拉伸端固定试件,通过伺服电机手动模式点动调整滚珠丝杠进给量,使拉伸端两夹具间距能够近似满足线圈长度,以滚珠丝杠限位端与固定端间距作为线圈长度初始长度 L_0 ;S432:安装试件,将试件多层数面垂直于台面嵌入作动端拉伸夹具,转动把手拧紧夹头,调整拉伸作动端距离至满足线圈长度要求,试件另一段嵌入固定端夹具,拧紧固定端夹具把手夹紧试件;

[0126] S423:试件在弯曲过程中并承受弯矩,弯曲端产生的推力恒定不变且不转动;通过调整弯曲夹具上凸顶距离或安装个数,在试件一点或两点加力进行三点弯曲或四点弯曲;S434:标记线圈初始标距 S_0 ,通过上位机操作界面控制电缸驱动;

[0127] S435:调整弯曲端夹具,手动调整四点弯曲专用夹具上两作用压头的距离,再通过调整电缸支架位置使压头与标记点对齐;

[0128] S436:弯曲测试数据采集,启动电机,通过上位机操作界面控制电缸驱动,作动端产生径向位移使试件发生弯曲形变;通过软件界面监测光栅尺测得位移,将推力 F_2 、弯曲挠度 D_2 、加载时间 t_1 、保载时间 t_2 、线圈长度 L_c 作为控制变量,设定其中两个控制变量,将位移设置成监测响应;当试件弯曲至规定位移时,控制电机停止转动并抱闸,进行保载,变控时间,并观测弯曲挠度 D_2 ;S437:数据分析与处理,系统输出推力 F_2 、弯曲挠度 D_2 、加载时间 t_1 、保载时间 t_2 、线圈长度 L_c 等数据信息,对数据进行分析。

[0129] S44:拉伸-弯曲试验,如图17-18所示,试件拉伸过程中并承受弯矩。拉伸-弯曲试验存在载荷时序性,试验工况包括:先拉伸后弯曲,先弯曲后拉伸,同时拉伸与弯曲;

[0130] 参见图17和图18,拉伸-弯曲过程,试件700侧面由拉伸移动端夹头109和拉伸固定端夹头112的两个楔块1091夹紧,通过楔块1091上的两个力臂旋转推进楔块锁止,在试件700上面通过螺钉紧固矩形块1092压紧,防止试件700在弯曲过程中端部上翘。

[0131] S441:先拉伸后弯曲工况,包括以下步骤:开始试验,对试件进行拉伸试验中装夹试件过程与载荷施加方法相同;对试件进行弯曲试验中加载过程与方法相同,将拉伸位移与弯曲挠度设置成监测响应,先进行拉伸动作,试件至规定位移时,控制电机停止工作至抱闸,进行保载,并观测拉伸位移量 D_1 ;再进行弯曲动作,当试件弯曲至规定位移时,控制电机停止工作至抱闸,进行保载,并观测弯曲挠度量 D_2 ;先后加载时序由实际工况确定。

[0132] S442:先弯曲后拉伸工况,包括以下步骤:将拉伸位移与弯曲挠度设置成监测响应,先进行弯曲动作,当试件弯曲至规定位移时,控制电机停止工作至抱闸,进行保载,并观测弯曲挠度量 D_2 ;再进行拉伸动作,试件拉伸至规定位移时,控制电机停止工作至抱闸,进行保载,并观测拉伸位移量 D_1 ;先后加载时序由实际工况确定。

[0133] S443:同时拉伸与弯曲工况,包括以下步骤:

[0134] 先弯曲后拉伸工况,包括以下步骤:上位机界面设定拉伸-弯曲相应加载速率和载荷,加载时间保持一致,使夹具同时对时间进行载荷施加。将拉伸位移与弯曲挠度设置成监测响应,同时进行拉伸与弯曲动作,当试件弯曲至规定位移时,控制电机停止工作至抱闸,进行保载,并观测弯曲挠度量 D_2 ;当试件拉伸至规定位移时,控制电机停止工作至抱闸,进行保载,并观测拉伸位移量 D_1 ;S444:数据分析与处理,数据变量拉力 F_1 、拉伸位移 D_1 、加载时间 t_1 、保载时间 t_2 、线圈长度 L_c 、推力 F_2 、弯曲挠度 D_2 等数据,用户对数据进行分析。

[0135] S45:扭转-弯曲试验,如图19所示,扭转-弯曲工况加载前示意图(a)和扭转-弯曲工况加载后示意图(b),其中,试件扭转过程中并承受弯矩。扭转-弯曲试验存在载荷时序性,试验工况包括:先扭转后弯曲、先弯曲后扭转、同时扭转与弯曲。试件在扭转过程中并承受弯矩,弯曲端产生的推力恒定不变且不转动;通过调整弯曲夹具上凸顶距离或安装个数,在试件一点或两点加力进行三点弯曲或四点弯曲。

[0136] 扭转-弯曲试验时,可以采用如图19(c)所示的结构作为弯曲压载或扭转时的试件两端的夹具3001。通过夹具3001上竖直方向以及水平方向的螺钉从两个方向相对靠拢紧固试件(竖直方向通过螺钉带动活动夹止块夹紧,螺钉头可以设置防护层以保护试件)。夹具3001锁止试件直线边,弯曲压头305顶弯试件形成直线边,直线边从夹具3001底部的开口往下延伸到弯曲加载头的压下位置。扭转端在转动时使试件产生翘曲现象形成过渡边结构,

避免了扭转时候产生麻花扭曲现象。扭转和弯曲顺序可以调整,均可以采用夹具3001。

[0137] S451:先扭转后弯曲工况,包括以下步骤:试验过程,对试件进行拉伸试验中装夹试件过程与载荷施加方法相同;对试件进行弯曲试验中加载过程与方法相同,将扭转角度与弯曲挠度设置成监测响应,当试件扭曲至预设角度 α 时,控制电机停止工作至抱闸,进行保载,变控时间,并观测扭转数值;在进行弯曲端进给操作;当试件弯曲至规定位移时,控制电机停止工作至抱闸,进行保载,变控时间,并观测弯曲挠度量 D_2 。

[0138] S452:先弯曲后扭转工况,包括以下步骤:试验过程,对试件进行拉伸试验中装夹试件过程与载荷施加方法相同;对试件进行弯曲试验中加载过程与方法相同,将扭转角度与弯曲挠度设置成监测响应。先进行弯曲动作,当试件弯曲至规定位移时,控制电机停止工作至抱闸,进行保载,变控时间,并观测弯曲挠度量 D_2 ;再进行扭转动作,当试件扭曲至预设角度 α 时,控制电机停止工作至抱闸,进行保载,变控时间,并观测扭矩数值。

[0139] S453:同时扭转与弯曲工况:上位机界面设定扭转-弯曲相应加载速率和载荷,加载时间保持一致,使夹具同时对时间进行载荷施加。同时进行扭转-弯曲动作,当试件弯曲至规定位移时,控制电机停止工作至抱闸,进行保载,变控时间,并观测弯曲挠度量 D_2 ;当试件扭曲至预设角度 α 时,控制电机停止工作至抱闸,进行保载,变控时间,并观测扭矩数值。
S454:数据分析与处理,数据变量包含扭矩 T 、弯曲推力 F_2 、弯曲挠度 D_2 、加载时间 t_1 、保载时间 t_2 、旋转角度 θ 、线圈长度 L_c 等数据,用户对数据进行分析。

[0140] S461:先扭转后拉伸工况,包括以下步骤:试验过程,将整体的扭转组件包括伺服电机201、第二伺服电机固定座202、角度扭矩传感器支架206、扭转端夹头支架207。角度扭矩传感器205、扭转夹头支撑座208等在T型槽上螺栓拆除,整体对调安装固定至拉伸端的T型槽内,形成拉伸-扭转复合工况。对试件进行拉伸、扭转试验中装夹试件过程与载荷施加方法相同;对试件进行拉伸试验中加载过程与方法相同,当试件扭曲至预设角度 γ 时,控制电机停止进行保载,变控时间,并观测扭转数值;在进行拉伸端进给操作;当试件弯曲至规定位移时,控制电机停止工作至抱闸,进行保载,变控时间,并观测拉伸位移 $D3$ 。

[0141] S462:先拉伸后扭转工况,操作步骤与先扭转后弯曲工况相同,加载顺序是先进行拉伸动作再进行弯曲动作,两种工况间存在时序性。

[0142] S463:同时拉伸与弯曲工况,操作步骤与先扭转后弯曲工况相同,加载顺序是同时进行扭转和弯曲动作;S464:数据分析与处理,数据变量包含扭矩 $T3$ 、拉伸拉力 $F3$ 、拉伸位移 $D3$ 、加载时间 $t1$ 、保载时间 $t2$ 、旋转角度 γ 等数据,对数据进行分析。

[0143] 实施例2

[0144] 参见图20,为拉伸和扭转综合工况。可以同步进行,也可以先后顺序变换进行测试。试验过程中,试件装夹方法为试件700一端用拉伸移动端夹头109固定,另一端为扭转动作端夹头209固定。

[0145] 实施例3

[0146] 参见图21,矩形圆角状的梭形线圈500,具有原始直线边502和原始矩形圆角501,经过整体拉伸形成直线部802和鼻部801,长度从 S_a 增加到 S_b ,通过图10的实施例装置结构,经过扭转拉伸和弯曲综合成为成型线圈800。

[0147] 拉伸、扭转和弯曲三种综合测试时,通过改变不同的测试顺序获得不同的性能参数,以进行比较不同测试的影响,不再赘述。

[0148] 以上所描述的实施例是本申请一部分实施例,而不是全部的实施例。本申请的实施例的详细描述并非旨在限制要求保护的本申请的范围,而是仅仅表示本申请的选定实施例。

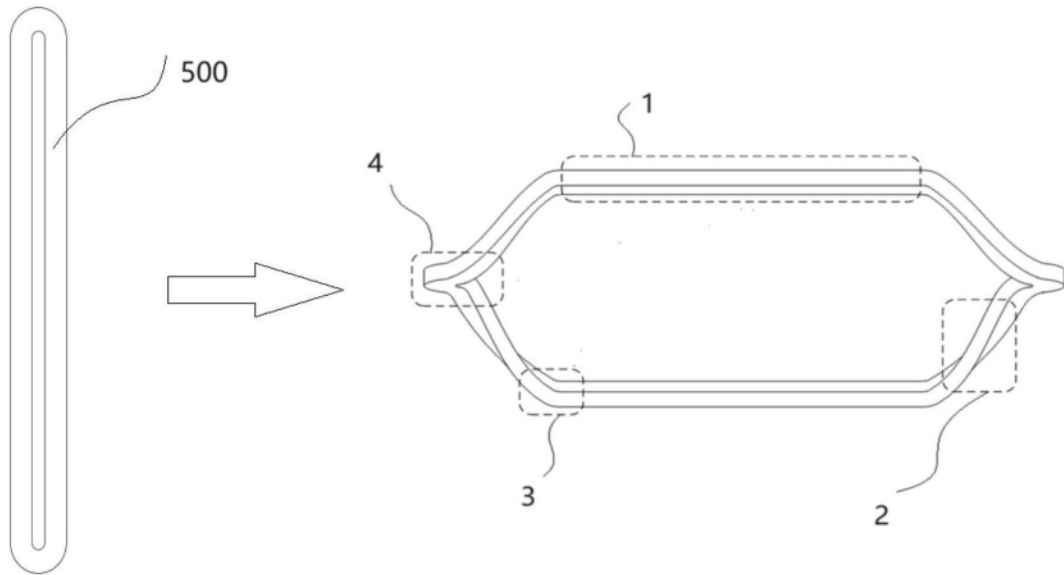


图1

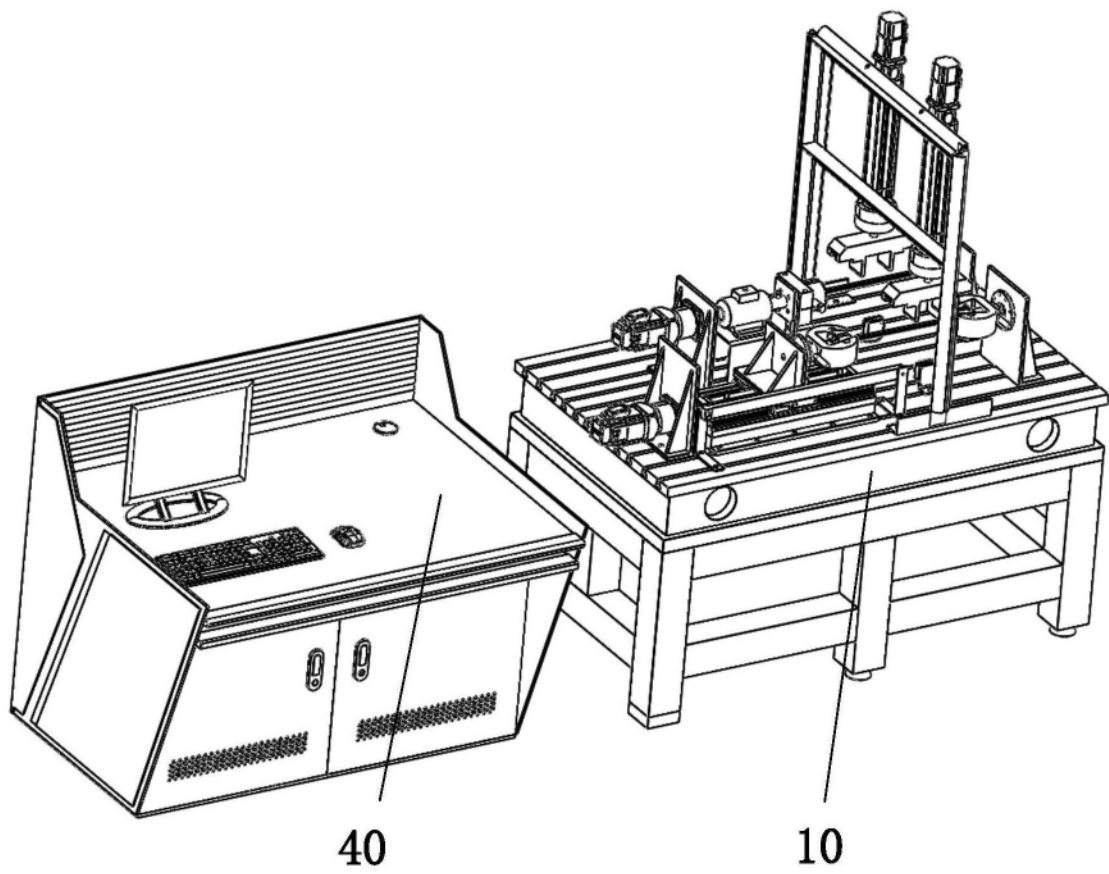


图2

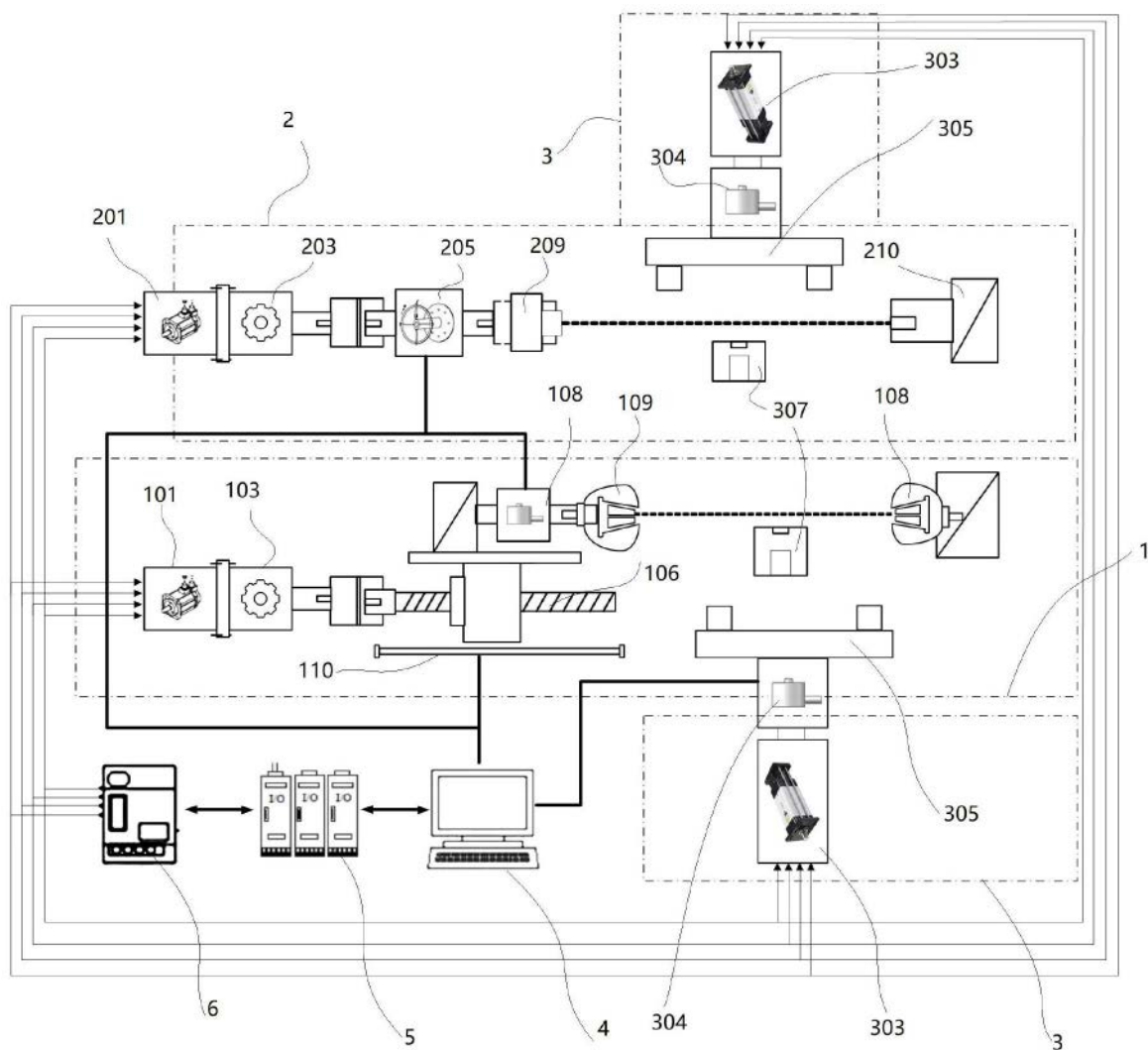


图4

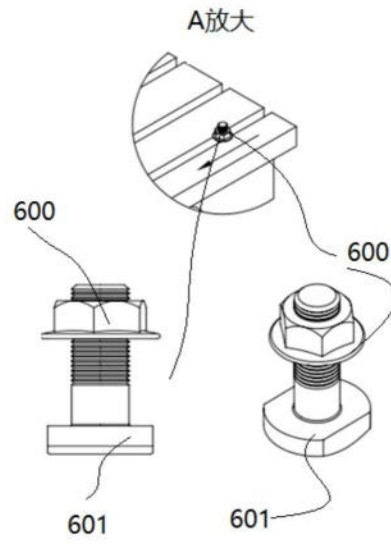


图5

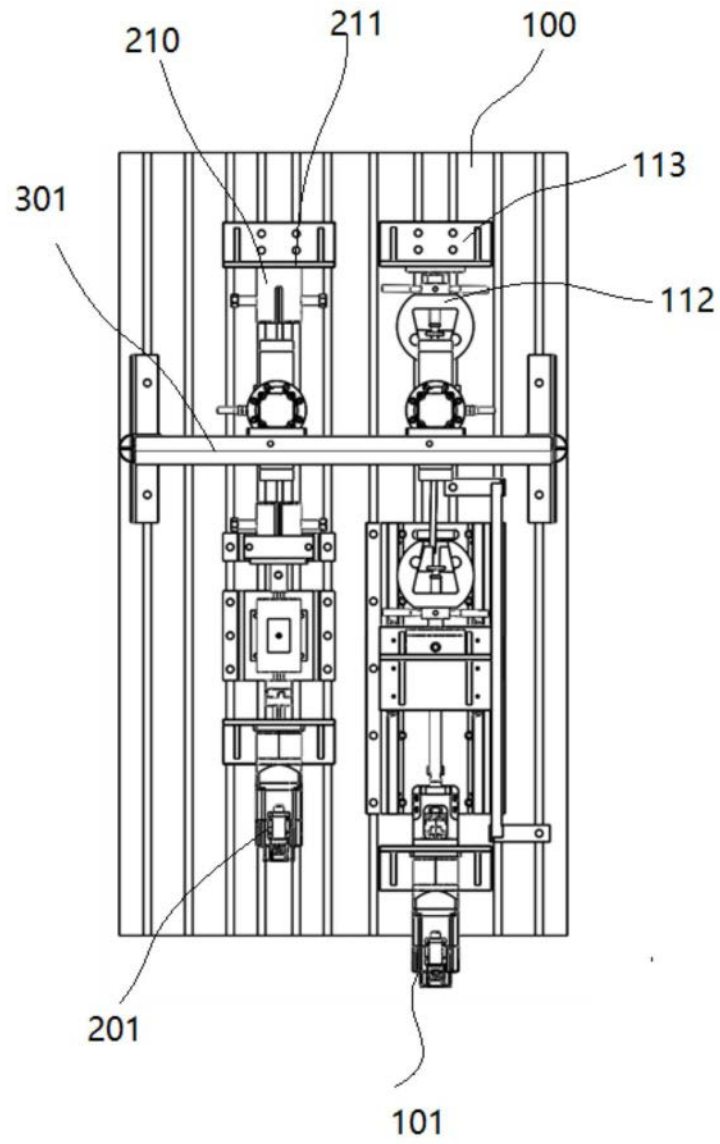


图6

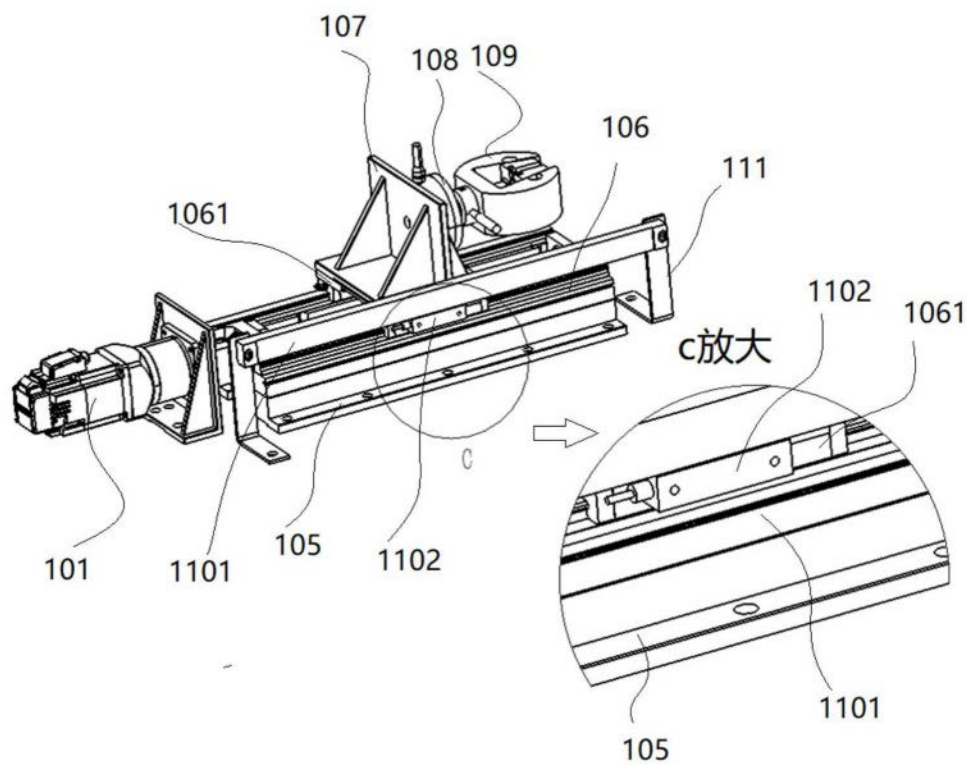


图7

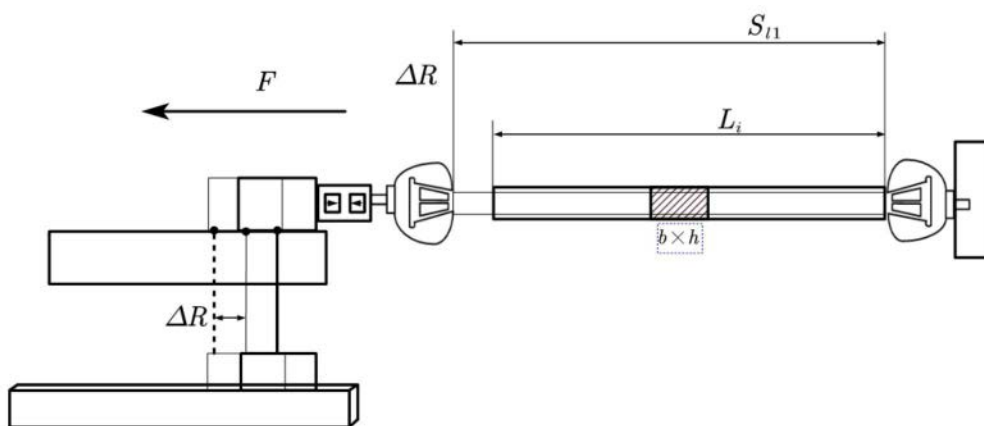


图8

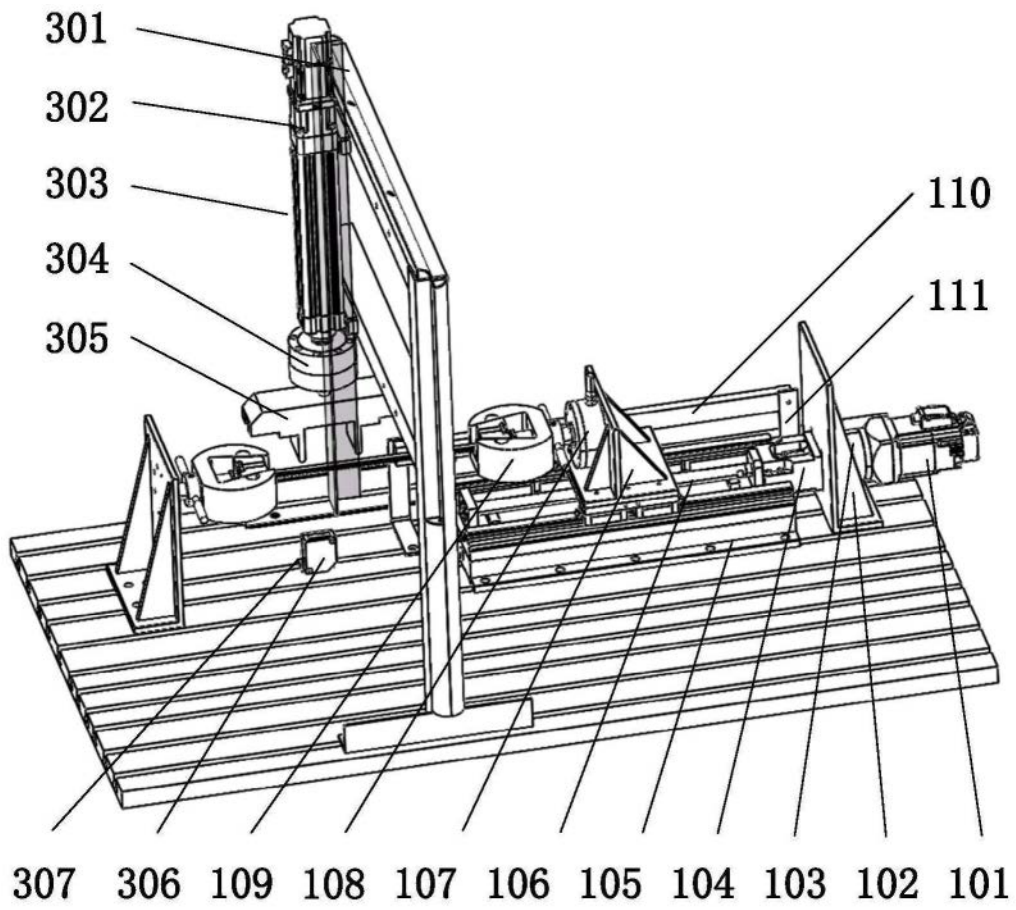


图9

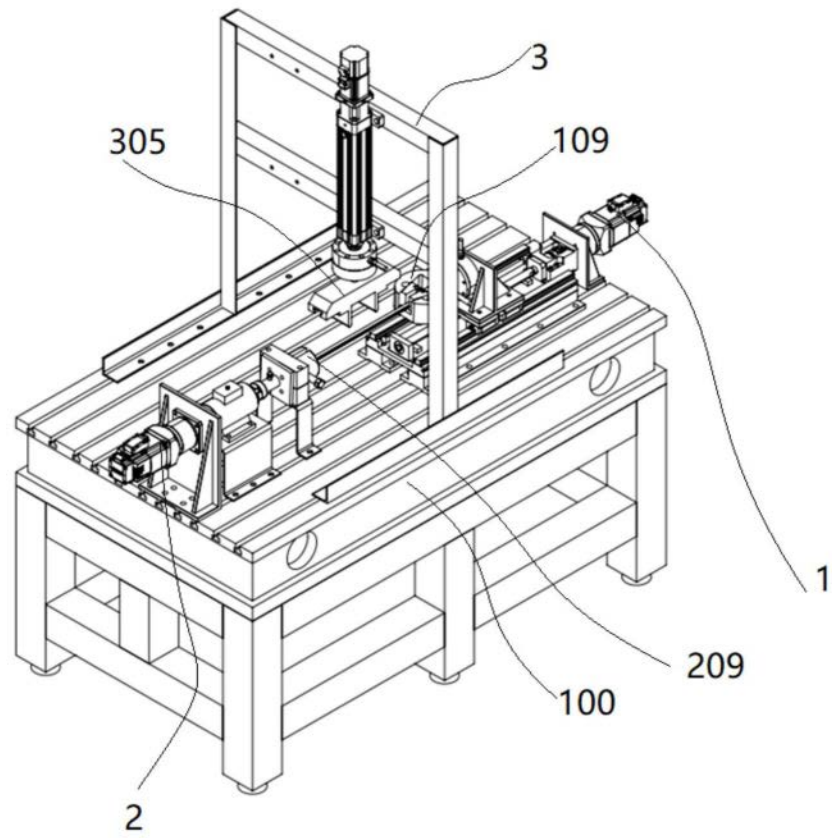


图10

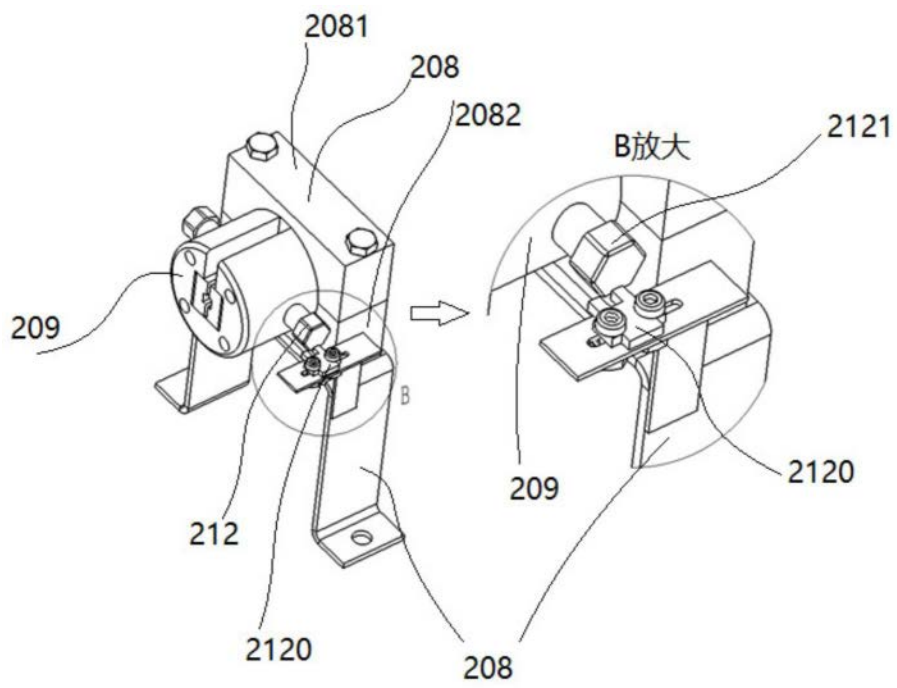


图11

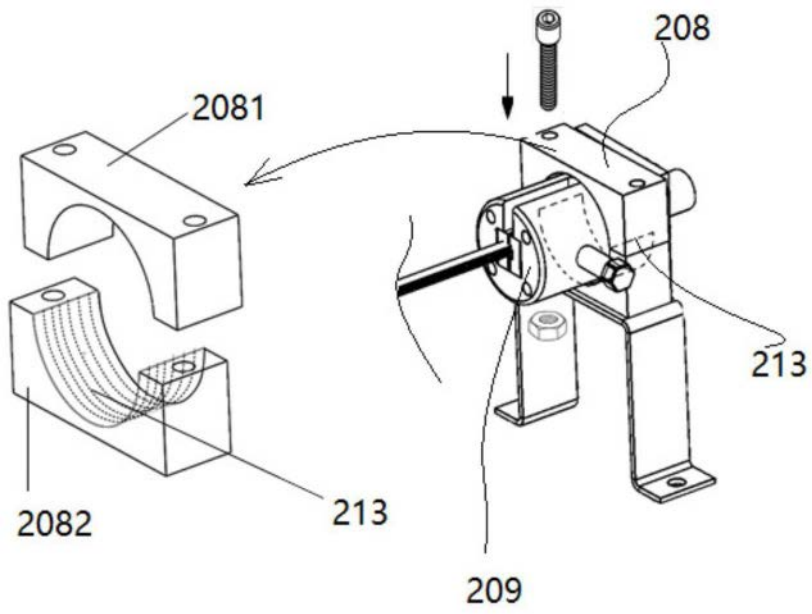


图12

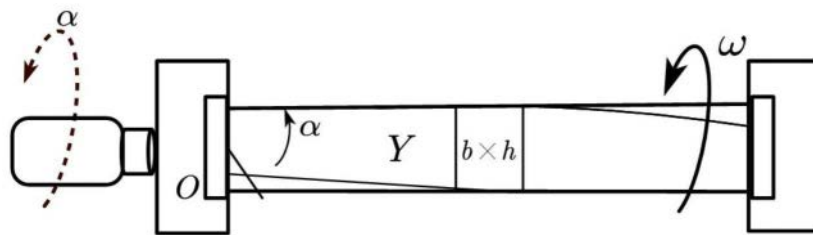


图13

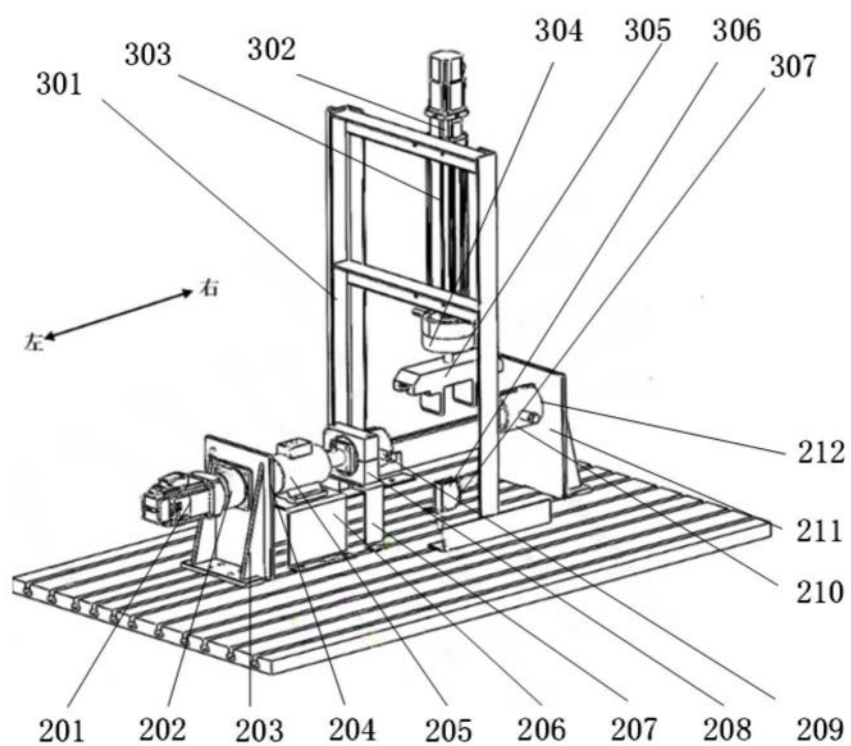


图14

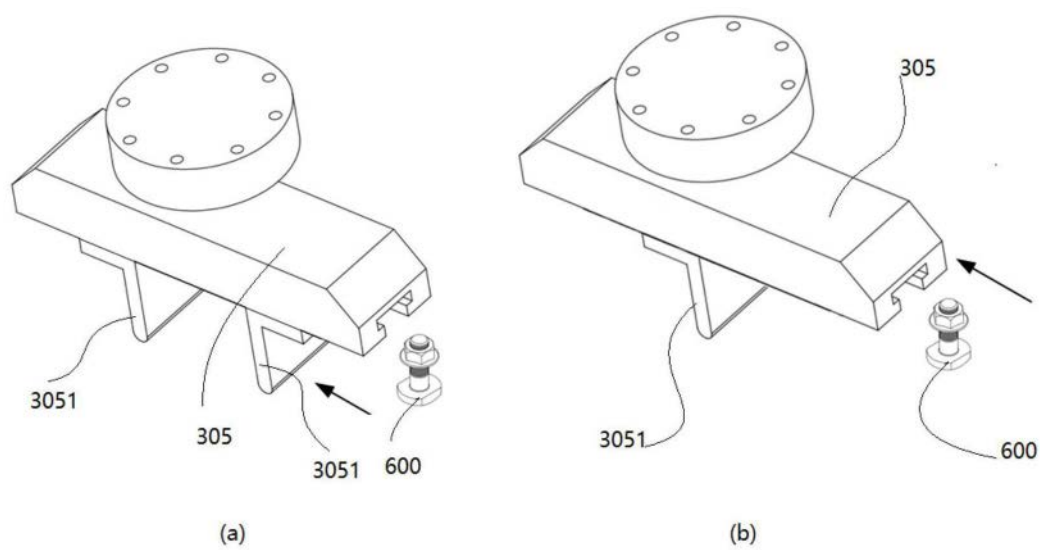


图15

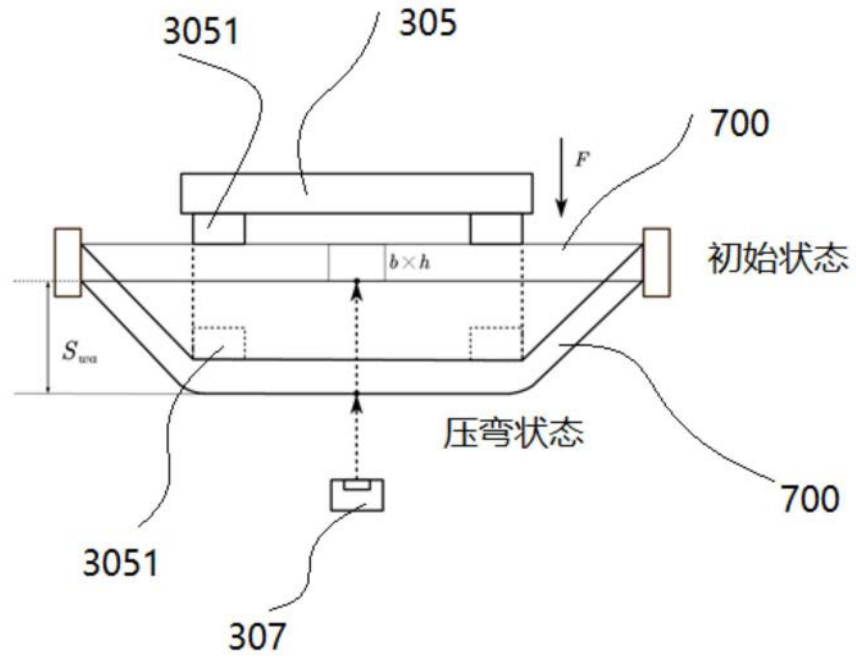


图16

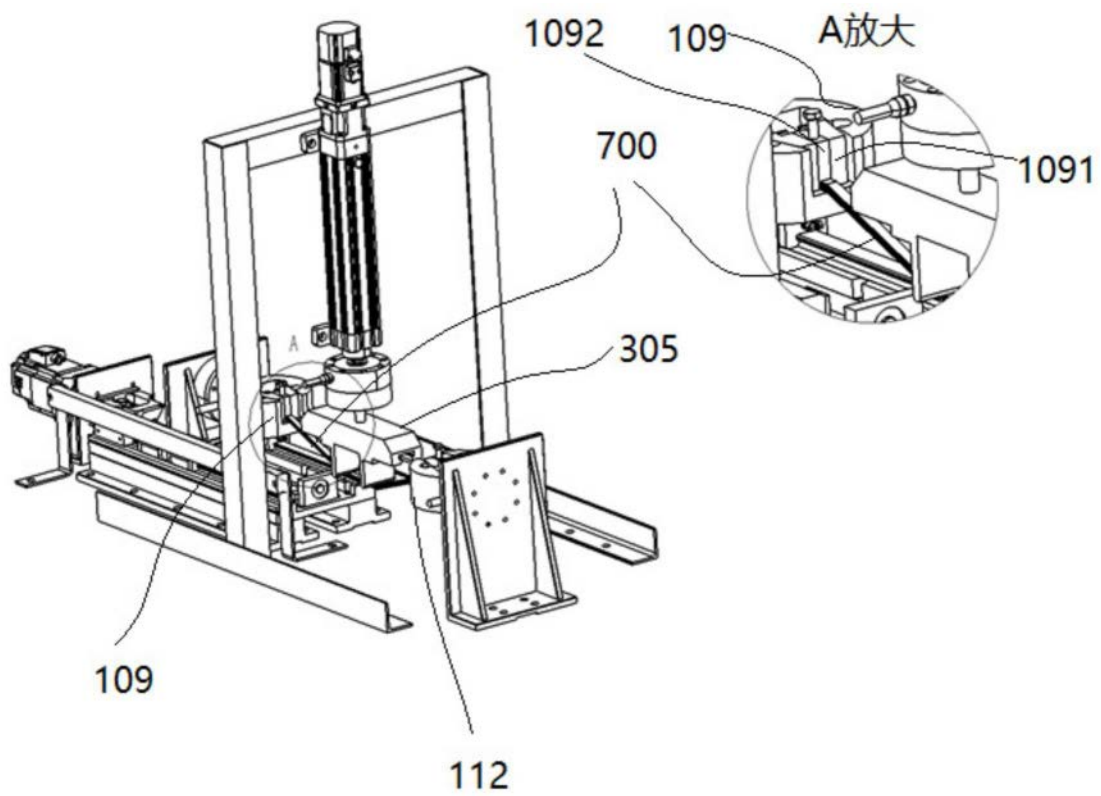


图17

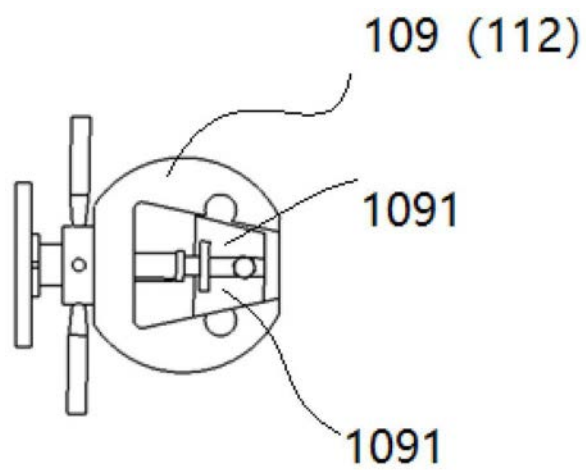
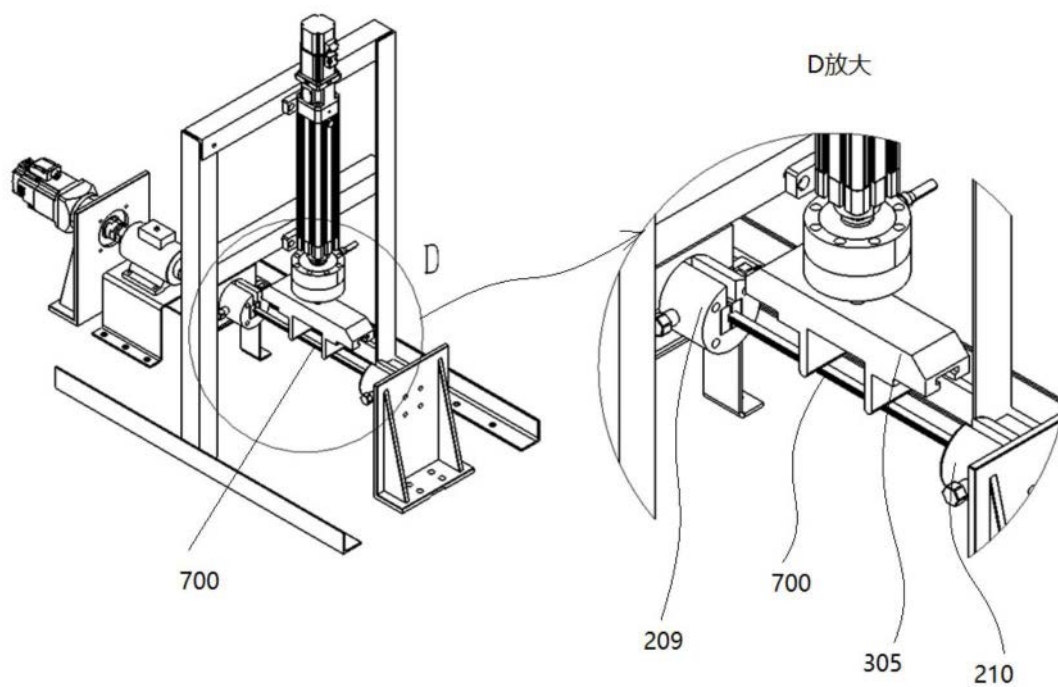


图18



(a)

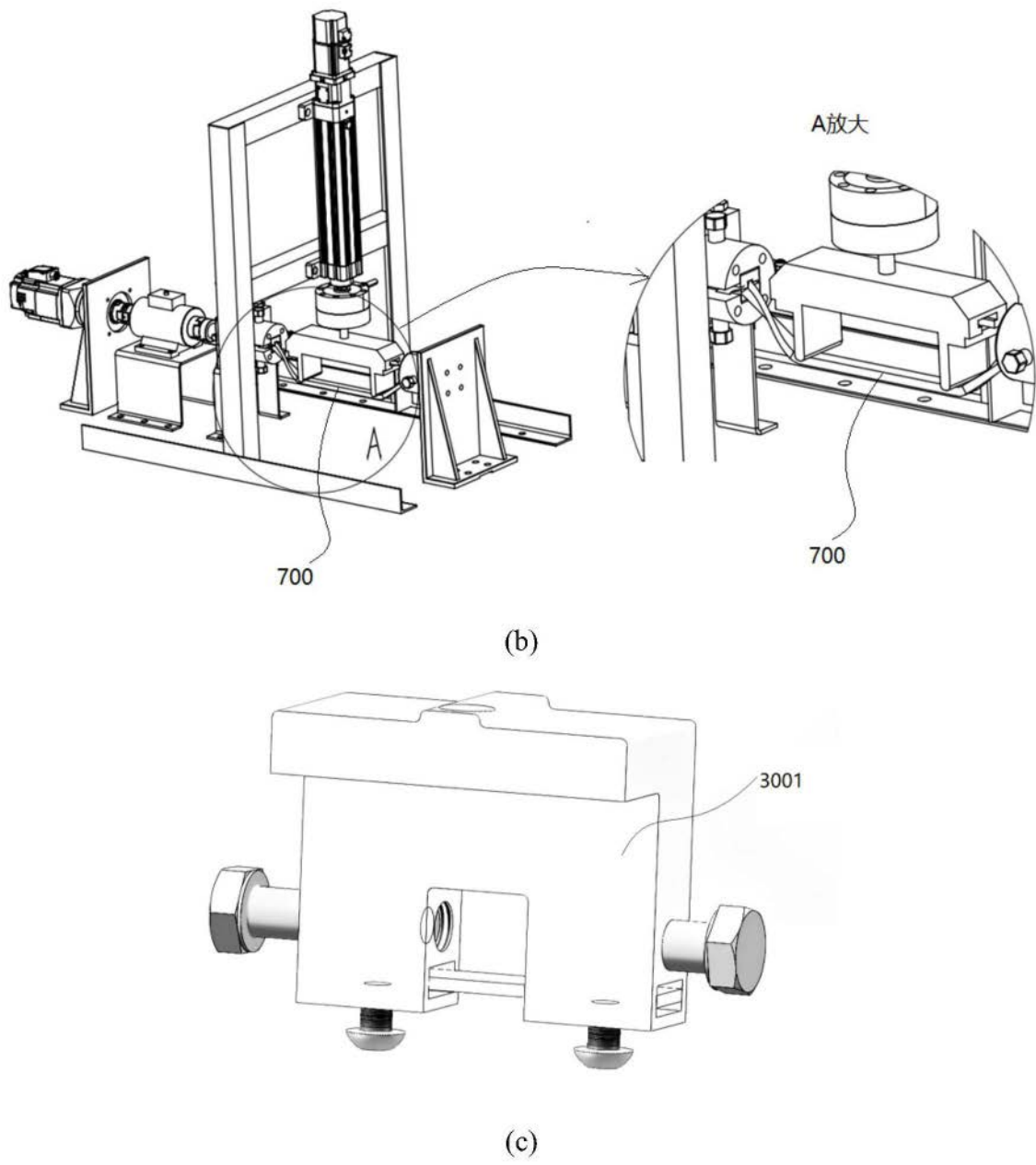


图19

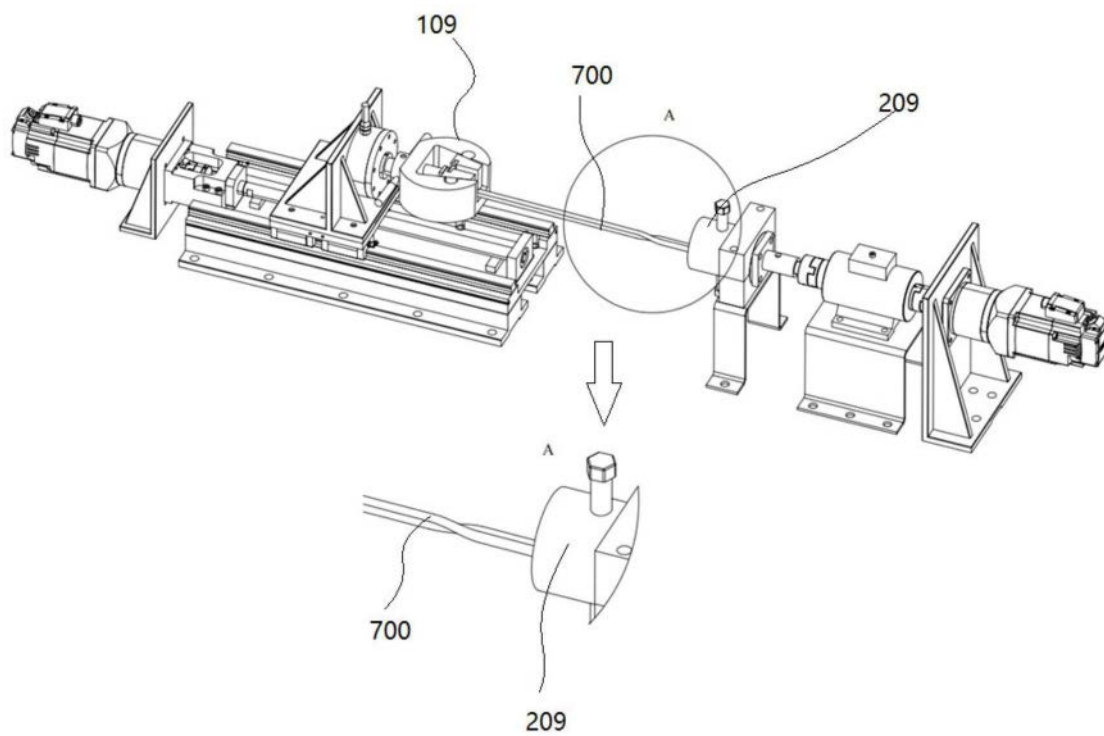


图20

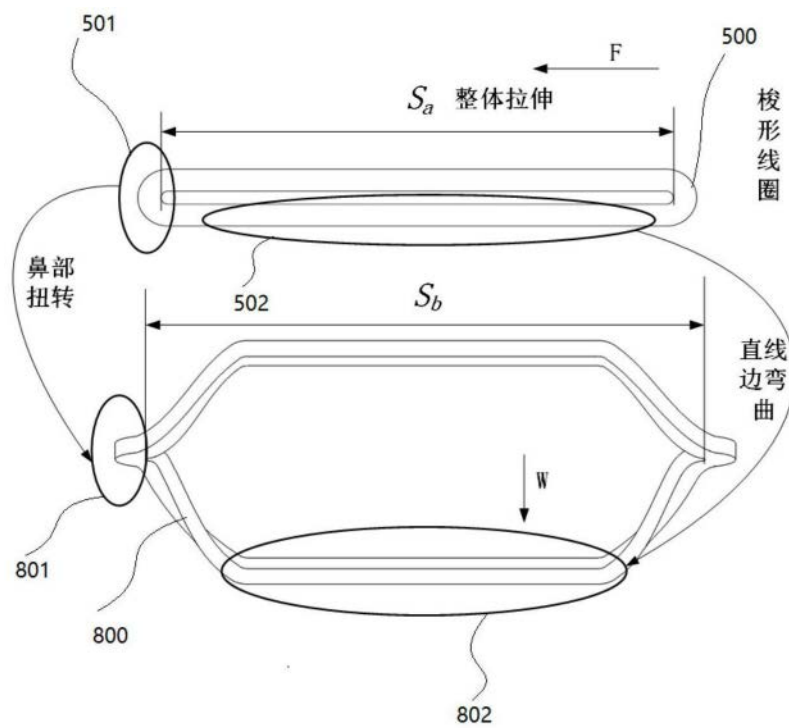


图21