



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102654325 A

(43) 申请公布日 2012. 09. 05

(21) 申请号 201210149351. X

(22) 申请日 2012. 05. 14

(71) 申请人 中国电子科技集团公司第十四研究所

地址 210039 江苏省南京市 3918 信箱

(72) 发明人 席有民 平丽浩 钱吉裕

(74) 专利代理机构 南京理工大学专利中心
32203

代理人 唐代盛

(51) Int. Cl.

F25B 9/14 (2006. 01)

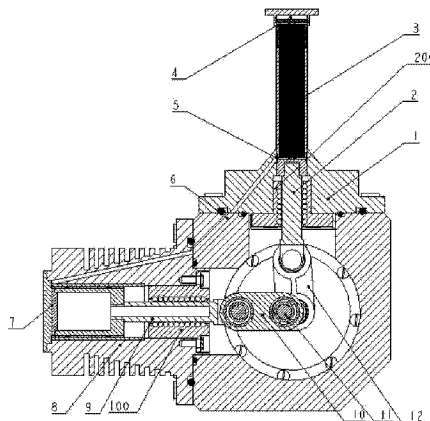
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 2 页

(54) 发明名称

滚珠花键支撑斯特林制冷机

(57) 摘要

本发明公开了一种滚珠花键支撑斯特林制冷机,包括由压缩机系统、冷头系统、电机曲轴驱动系统,压缩机系统由气缸、活塞组件组成,活塞组件由活塞和活塞滚珠花键构成,冷头系统由冷缸、排出器、回热器和排出器滚珠花键组成,回热器位于排出器内部,电机曲轴驱动系统由电机、活塞连杆、曲轴和排出器连杆组成,气缸、冷缸和电机安装在曲轴箱上。本发明热性能稳定,可靠性高,提高制冷机工作寿命。



1. 一种滚珠花键支撑斯特林制冷机,其特征在于包括由压缩机系统、冷头系统、电机曲轴驱动系统,压缩机系统由气缸(8)、活塞组件组成,活塞组件由活塞(9)和活塞滚珠花键(100)构成,冷头系统由冷缸(1)、排出器(2)、回热器(3)和排出器滚珠花键(200)组成,回热器(3)位于排出器(2)内部,电机曲轴驱动系统由电机、活塞连杆(10)、曲轴(11)和排出器连杆(12)组成,气缸(8)、冷缸(1)和电机安装在曲轴箱上,气缸(8)和冷缸(1)成 90° 布置,活塞(9)与活塞连杆(10)相连,排出器(2)与排出器连杆(12)相连,电机与曲轴(11)连接,曲轴(11)与活塞连杆(10)、排出器连杆(12)相连,活塞(9)安装在气缸(8)内,在活塞(9)和气缸(8)之间安装活塞滚珠花键(100),排出器(2)安装在冷缸(1)内,在排出器(2)和冷缸(1)之间安装排出器滚珠花键(200),电机通过曲轴(11)和活塞连杆(10)驱动活塞(9)在气缸(8)中往复运动,电机通过曲轴(11)和排出器连杆(12)驱动排出器(2)在冷缸(1)中往复运动。

2. 根据权利要求1所述的滚珠花键支撑斯特林制冷机,其特征在于活塞滚珠花键(100)由滚珠花键轴和滚珠花键套组成,滚珠花键轴与活塞(9)过盈配合连接,滚珠花键套安装在气缸(8)内,活塞(9)与气缸(8)在轴向形成压缩腔(7);

排出器滚珠花键(200)由滚珠花键轴和滚珠花键套组成,滚珠花键轴与排出器(2)过盈配合连接,滚珠花键套安装在冷缸(1)内,排出器(2)与冷缸(1)在轴向形成冷腔4;

在排出器(2)上设置凹槽,该凹槽的位置以回热器(3)底部为中心沿排出器(2)的轴向设置,该凹槽与冷缸(1)形成室温腔(5);在气缸(8)、冷缸(1)和曲轴箱上设置小孔径通道(6)压缩腔(7)与室温腔(5)由小孔径通道(6)相连通;回热器(3)的两端分别与室温腔(5)和冷腔(4)连通。

3. 根据权利要求1或2所述的滚珠花键支撑斯特林制冷机,其特征在于活塞(9)在气缸(8)内运动的行程对应的内圆柱面为第一内圆柱面(M3),活塞滚珠花键(100)与气缸(8)接触的内圆柱面为第二内圆柱面(M4),该活塞滚珠花键(100)的滚珠花键套的外圆柱面(M1)与第一内圆柱面(M3)定位配合;活塞(9)的外圆柱面(M2)与第二内圆柱面(M4)的密封为间隙密封,间隙为20-40微米。

4. 根据权利要求3所述的滚珠花键支撑斯特林制冷机,其特征在于活塞(9)的外圆柱面(M2)和活塞滚珠花键(100)的滚珠花键套的外圆柱面(M1)之间的同轴度至少为6级精度;第二内圆柱面(M4)和第一内圆柱面(M3)的同轴度至少为6级精度。

5. 根据权利要求1或2所述的滚珠花键支撑斯特林制冷机,其特征在于排出器(2)在冷缸内(1)运动的行程对应的内圆柱面为第三内圆柱面(M33),排出器滚珠花键(200)与冷缸(1)接触的内圆柱面为第四内圆柱面(M44),排出器滚珠花键(200)的滚珠花键套的外圆柱面(M11)与第三内圆柱面(M33)定位配合,排出器(2)的外圆柱面(M22)与冷缸(1)的第四内圆柱面(M44)的密封为间隙密封,间隙为10-30微米。

6. 根据权利要求5所述的滚珠花键支撑斯特林制冷机,其特征在于排出器(2)的外圆柱面(M22)和排出器滚珠花键(200)的滚珠花键套的外圆柱面(M11)之间的同轴度至少为6级精度;第四内圆柱面(M44)和第三内圆柱面(M33)的同轴度至少为6级精度。

滚珠花键支撑斯特林制冷机

技术领域

[0001] 本发明属于制冷技术领域的制冷机,特别是一种滚珠花键支撑斯特林制冷机。

背景技术

[0002] 斯特林制冷机是按逆向斯特林循环(由两个等温过程和两个等容过程组成的热力循环)工作的制冷机,具有制冷效率高、体积小、重量轻、启动快、工作温度范围宽、操作简单等优点,已被应用于通讯、气象、军事、航空航天、低温物理学、低温电子学、低温材料学、低温医学、低温光学、生物工程、地球资源勘探、微观粒子研究等高科技领域。

[0003] 斯特林制冷机被广泛应用于红外探测仪、超导量子干涉仪等精密仪器设备中,前者是红外勘探、军事制导及预警系统等必不可少的设备,而后者则是用途广泛的低温精密电子装置,如超导量子干涉仪磁强计(SQUID magnetometers)是目前世界上最精密的磁通强度测量计,测量精度可达毫微微量级(10^{-15})特斯拉。将斯特林制冷机与电子学结合起来用于医学领域,研制出了诸如磁共振成像仪(MRI)、心脏诊断仪等一系列高精尖的医疗设备,可对各系统疾病任何方位断层进行安全无损的探伤、造影、频谱分析,大大提高了诊断水平。斯特林制冷机与超导电子技术结合起来,用于武器装备(雷达)的接收机前端上,可以在提高系统抗干扰能力的同时,提高其接收灵敏度,增强抗干扰能力,增加探测距离,加长预警时间,提高战场生存能力。

[0004] 正因为斯特林制冷机在高科技领域和经济发展中具有如此重要的作用,各国都将其列为关键基础技术,投入资金、技术、人才进行研究和产品开发。因此,斯特林制冷机的寿命和可靠性得到了很大提高,成为研究最深入、应用最广泛、变型最多的一种制冷机。

[0005] 早期斯特林制冷机为整体式结构,压缩气缸和膨胀气缸(冷头)成 90° 布置,压缩机活塞与冷头排出器由旋转电机带动曲柄连杆机构驱动,活塞和排出器与相应气缸的密封形式为非金属弹性环的接触密封。这种制冷机整机结构复杂、振动噪音大,尤其是运动部件的相互磨损、制冷工质的污染和泄漏使得制冷机的工作寿命受到限制。

[0006] 20世纪60年代末,为了克服曲柄连杆驱动方式斯特林制冷机运动过程中的侧向力,荷兰 Philips 公司首先提出线性谐振压缩机的概念,并将其应用于斯特林制冷机的设计。这种制冷机压缩机的运动部件少、侧向力小、污染小、磨损低,因而工作寿命和可靠性得到提高。但由于运动活塞和排出器无径向支撑,所以,其平均无故障时间一般也只有 2500 小时。

[0007] 英国牛津大学于七十年代末开始开发星载长寿命斯特林制冷机,首次将其研制的并获空间成功应用的摆线悬臂梁型板状弹簧支撑技术应用于斯特林制冷机,以保证活塞和排出器运动组件的完全非接触,消除磨损,使斯特林制冷机的可靠性和寿命大大提高,开创了风靡低温界的“牛津型”斯特林制冷机时代。1992年11月,BAe公司(现改名为 Matra Marconi Space)研制的牛津型斯特林制冷机的地面试验寿命(MTTF)达到了41933小时(约4.7年)。板弹簧支撑的难点在于气缸、活塞组件和板弹簧组件的对准和组装、间隙测量与准直方面要求很高,造价高。

[0008] 上述直线电机驱动的特林制冷机,直线电机沿轴向的往复力直接作用于活塞和排出器,因而侧向力小,磨损小,工作寿命较高。结合间隙密封和板弹簧支撑或气体悬浮支撑,制冷机寿命可达到 15000 小时以上。但由于电机设计和制冷机关联,加工制造过程对电机、板弹簧等零部件的加工精度要求很高,因而成本较高。此外,制冷机热力学和动力学特征相互影响,相互制约,运动相位与行程受制冷机内外部环境的影响,制冷量和温度控制比较复杂,影响制冷机的工作可靠性。

[0009] 随着科学技术的发展和加工工艺的完善,整体式斯特林制冷机的振动噪音得到大幅度降低,随着超导和红外技术大量应用的迫切需要,这种机型再度引起低温界的关注。同时,由于整体式斯特林制冷机动力学过程严格决定于运动机构的设计,动力学与热力学相互独立,因而制冷机热性能稳定。因此,整体式斯特林制冷机非常有利于工程化批量生产。

[0010] 整体式斯特林制冷机存在的主要问题是:作用于活塞和排出器的侧向力引起的密封磨损制约着整机的寿命。解决活塞和排出器的侧向力问题,对制冷机的支撑结构进行改进是提高制冷机的可靠性和寿命的有效措施。2004 年中科院理化技术研究所提出线性滑轨支撑结构解决该问题,并制作了两台样机,该样机较好的解决了活塞侧向力的问题(席有民,李青,李强,聂中山. 线性滑轨支撑微型斯特林制冷机的开发及性能调试. 低温与超导, 2005(3):19-21, 35)该样机线性滑轨与相应气缸之间安装时所需零件多,结构复杂,工程化成本较高。

发明内容

[0011] 本发明的目的在于提供一种滚珠花键支撑的斯特林制冷机,制冷机的活塞和排出器分别由滚珠花键支撑,可保证活塞和排出器在轴向往复运动过程中的径向位置,减少和消除与相应气缸间的磨损,提高制冷机工作寿命和可靠性。

[0012] 实现本发明目的的技术解决方案为:一种滚珠花键支撑斯特林制冷机,包括由压缩机系统、冷头系统、电机曲轴驱动系统,压缩机系统由气缸、活塞组件组成,活塞组件由活塞和活塞滚珠花键构成,冷头系统由冷缸、排出器、回热器和排出器滚珠花键组成,回热器位于排出器内部,电机曲轴驱动系统由电机、活塞连杆、曲轴和排出器连杆组成,气缸、冷缸和电机安装在曲轴箱上,气缸和冷缸成 90° 布置,活塞与活塞连杆相连,排出器与排出器连杆相连,电机与曲轴连接,曲轴与活塞连杆、排出器连杆相连,活塞安装在气缸内,在活塞和气缸之间安装活塞滚珠花键,排出器安装在冷缸内,在排出器和冷缸之间安装排出器滚珠花键,电机通过曲轴和活塞连杆驱动活塞在气缸中往复运动,电机通过曲轴和排出器连杆驱动排出器在冷缸中往复运动。

[0013] 本发明与现有技术相比,其显著优点:(1) 制冷机采用旋转电机驱动的整体式结构形式。由于这种结构的斯特林制冷机热力学和动力学特性相互独立,不存在相互影响,且动力学过程完全由机构设计保证,因而制冷机热性能稳定,可靠性高。(2) 采用滚珠花键支撑压缩机活塞和冷头排出器,保证制冷机活塞与气缸之间、排出器与冷缸之间微米级的密封间隙,将制约制冷机寿命的滑动摩擦转换为滚珠花键的滚动摩擦,从而减少活塞与气缸之间、排出器与冷缸之间的摩擦,提高制冷机工作寿命。(3) 由于采用了滚珠花键支撑,制冷机的活塞和排出器与相应气缸之间的磨损得到控制。但同时,影响制冷机工作寿命的关键转移到了滚珠花键上。由于制冷机负荷较小,而该滚珠花键选用的材料性能优异,可以保证

制冷机长期可靠工作。(4)制冷机的活塞和排出器由滚珠花键支撑,可保证制冷机的活塞和排出器在轴向往复运动过程的径向位置,减少和消除其与相应气缸间的磨损。滚珠花键结构简单,易于与气缸连接。因此,本发明制冷机成本低、易于批量生产,可靠性高。

[0014] 下面结合附图对本发明作进一步详细描述。

附图说明

[0015] 图 1 是本发明的斯特林制冷机整体剖视图。

[0016] 图 2 是活塞组件结构示意图。

[0017] 图 3 是气缸体结构示意图。

[0018] 图 4 是排出器结构示意图。

[0019] 图 5 是冷缸体结构示意图。

具体实施方式

[0020] 结合图 1、图 2、图 3、图 4 和图 5,本发明滚珠花键支撑斯特林制冷机,包括由压缩机系统、冷头系统、电机曲轴驱动系统,压缩机系统由气缸 8、活塞组件组成,活塞组件由活塞 9 和活塞滚珠花键 100 构成,冷头系统由冷缸 1、排出器 2、回热器 3 和排出器滚珠花键 200 组成,回热器 3 位于排出器 2 内部,电机曲轴驱动系统由电机、活塞连杆 10、曲轴 11 和排出器连杆 12 组成,气缸 8、冷缸 1 和电机安装在曲轴箱上,气缸 8 和冷缸 1 成 90° 布置,活塞 9 与活塞连杆 10 相连,排出器 2 与排出器连杆 12 相连,电机与曲轴 11 连接,曲轴 11 与活塞连杆 10、排出器连杆 12 相连,活塞 9 安装在气缸 8 内,在活塞 9 和气缸 8 之间安装活塞滚珠花键 100,排出器 2 安装在冷缸 1 内,在排出器 2 和冷缸 1 之间安装排出器滚珠花键 200,电机通过曲轴 11 和活塞连杆 10 驱动活塞 9 在气缸 8 中往复运动,电机通过曲轴 11 和排出器连杆 12 驱动排出器 2 在冷缸 1 中往复运动。活塞滚珠花键 100 直接安装于气缸 8 内并成一体,排出器滚珠花键 200 直接安装于冷缸 1 内并成一体。

[0021] 结合图 2 和图 4,本发明滚珠花键支撑斯特林制冷机中,活塞滚珠花键 100 由滚珠花键轴和滚珠花键套组成,滚珠花键轴与活塞 9 过盈配合连接,滚珠花键套安装在气缸 8 内,活塞 9 与气缸 8 在轴向形成压缩腔 7;排出器滚珠花键 200 由滚珠花键轴和滚珠花键套组成,滚珠花键轴与排出器 2 过盈配合连接,滚珠花键套安装在冷缸 1 内,排出器 2 与冷缸 1 在轴向形成冷腔 4;

在排出器 2 上设置凹槽,该凹槽的位置以回热器 3 底部为中心沿排出器 2 的轴向设置,该凹槽与冷缸 1 形成室温腔 5;在气缸 8、冷缸 1 和曲轴箱上设置小孔径通道 6(直径可以为 1-2mm)压缩腔 7 与室温腔 5 由小孔径通道 6 相连通;回热器 3 的两端分别与室温腔 5 和冷腔 4 连通。

[0022] 本发明滚珠花键支撑斯特林制冷机中,活塞 9 在气缸 8 内运动的行程对应的内圆柱面为第一内圆柱面 M3,活塞滚珠花键 100 与气缸 8 接触的内圆柱面为第二内圆柱面 M4,该活塞滚珠花键 100 的滚珠花键套的外圆柱面 M1 与第一内圆柱面 M3 定位配合;活塞 9 的外圆柱面 M2 与第二内圆柱面 M4 的密封为间隙密封,间隙可以为 20-40 微米。其中,活塞 9 的外圆柱面 M2 和活塞滚珠花键 100 的滚珠花键套的外圆柱面 M1 之间的同轴度至少为 6 级精度;第二内圆柱面 M4 和第一内圆柱面 M3 的同轴度至少为 6 级精度。

[0023] 本发明滚珠花键支撑斯特林制冷机中, 排出器 2 在冷缸内 1 运动的行程对应的内圆柱面为第三内圆柱面 M33, 排出器滚珠花键 200 与冷缸 1 接触的内圆柱面为第四内圆柱面 M44, 排出器滚珠花键 200 的滚珠花键套的外圆柱面 M11 与第三内圆柱面 M33 定位配合, 排出器 2 的外圆柱面 M22 与冷缸 1 的第四内圆柱面 M44 的密封为间隙密封, 间隙为 10-30 微米。排出器 2 的外圆柱面 M22 和排出器滚珠花键 200 的滚珠花键套的外圆柱面 M11 之间的同轴度至少为 6 级精度; 第四内圆柱面 M44 和第三内圆柱面 M33 的同轴度至少为 6 级精度。

[0024] 斯特林制冷机工作时, 压缩机系统的活塞 9 在电机曲轴系统驱动下, 由活塞连杆 10 带动, 在气缸 8 中往复运动; 排出器 2 在电机曲轴系统驱动下, 由排出器连杆 12 带动, 在冷缸 1 中往复运动。排出器 2 与活塞 9 的运动相位差由电机曲轴系统保持为排出器 2 超前活塞 9 90° 。制冷机工作介质为高纯氦, 氦气在气缸的压缩腔 7 被活塞 9 压缩, 通过小孔径通道 6 进入冷头的室温腔 5, 经排出器 2 内部的回热器 3 再进入冷腔 4, 氦气在冷腔 4 中膨胀产生冷量。

[0025] 在活塞滚珠花键 100 的作用下, 活塞 9 沿轴向往复运动时, 其径向位置得到保持, 减少或避免了活塞 9 的外圆柱面 M2 与气缸 8 的第二内圆柱面 M4 的磨擦; 同样, 在排出器滚珠花键 200 的作用下, 排出器 2 沿轴向往复运动时, 其径向位置得到保持, 减少或避免了排出器 2 的外圆柱面 M22 与冷缸 1 的第四内圆柱面 M44 的磨擦。因而, 制冷机工作寿命和可靠性得到提高。

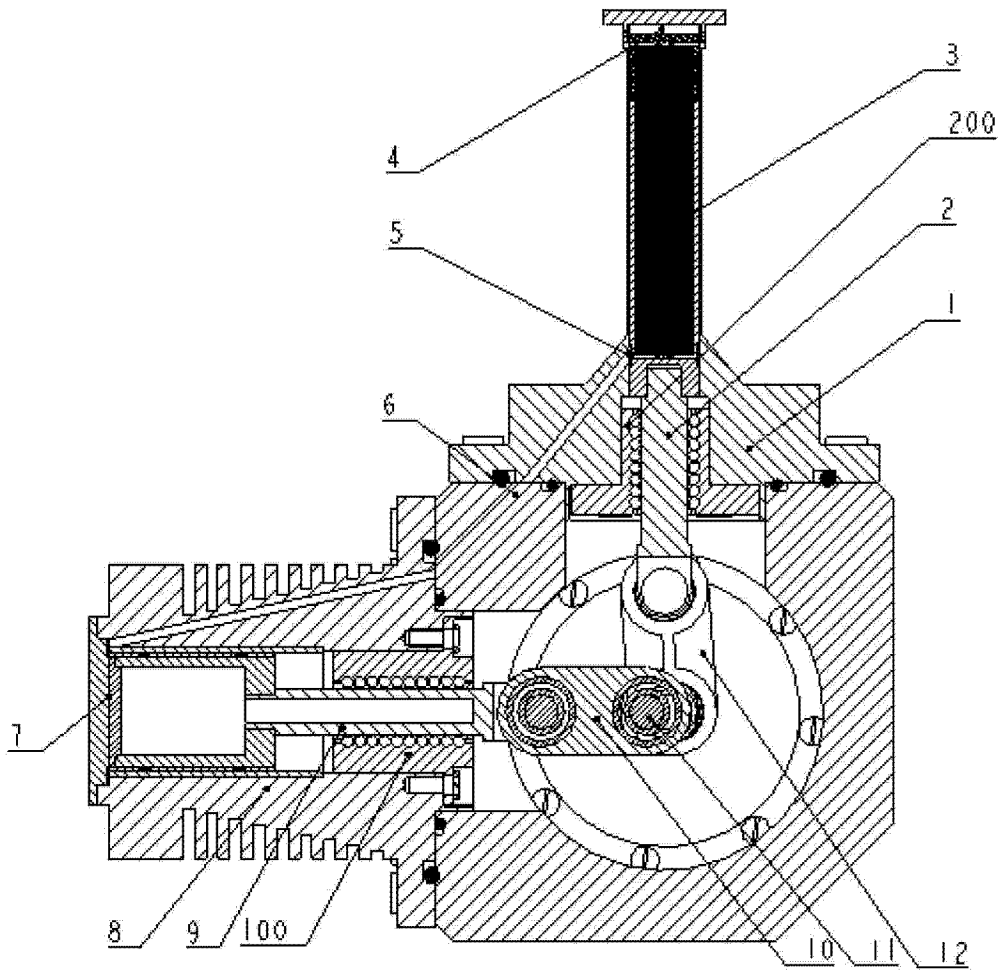


图 1

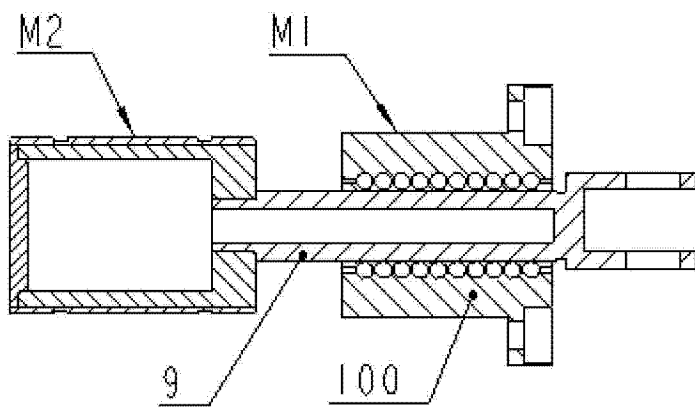


图 2

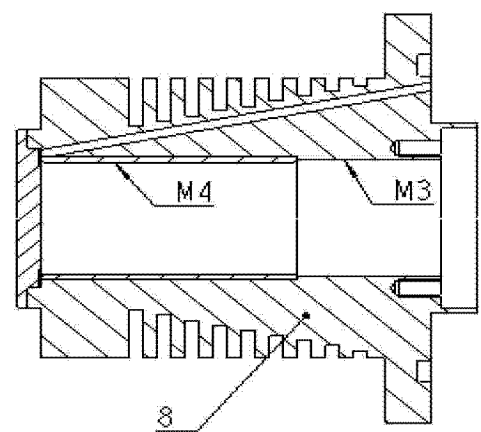


图 3

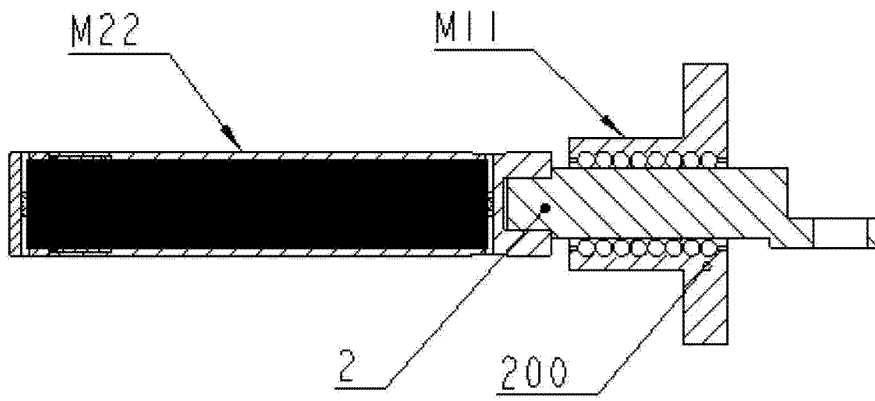


图 4

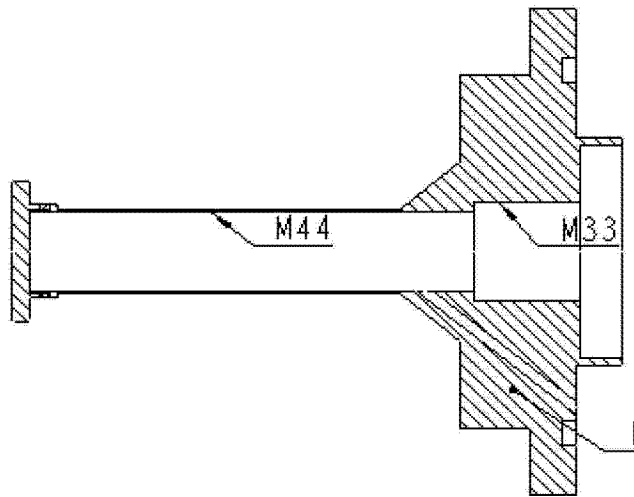


图 5