



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104061994 A

(43) 申请公布日 2014. 09. 24

(21) 申请号 201410282663. 7

(22) 申请日 2014. 06. 23

(71) 申请人 中国航空动力机械研究所
地址 412002 湖南省株洲市芦淞区董家墩

(72) 发明人 吴桂娇 陈运西 王平 雷沫枝

(74) 专利代理机构 北京康信知识产权代理有限
责任公司 11240

代理人 吴贵明

(51) Int. Cl.
G01H 1/00 (2006. 01)

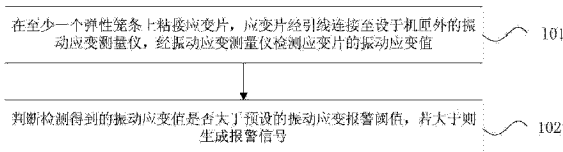
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

弹性支承器振动应变监测方法

(57) 摘要

本发明公开了一种弹性支承器振动应变监测方法,弹性支承器的支撑本体包括轴承座和沿轴承座的周向分布的多根弹性笼条,多根弹性笼条的端部沿支撑本体的径向向外延伸形成安装边,轴承座的圆周外壁与机匣之间形成空隙,且空隙内充满滑油以形成挤压油膜阻尼器;该监测方法包括:在至少一个弹性笼条上粘接应变片,应变片经引线连接至设于机匣外的振动应变测量仪,经振动应变测量仪检测应变片的振动应变值;判断检测得到的振动应变值是否大于预设的振动应变报警阈值,若大于则生成报警信号。本发明通过检测应变片的振动应变值以准确检测弹性支承器的振动应变,并保证轴承座的轴颈工作在挤压油膜线性区域内,超值则报警,从而提高转子的安全运行性能。



1. 一种弹性支承器振动应变监测方法,其特征在于,所述弹性支承器的支撑本体包括轴承座和沿所述轴承座的周向分布的多根弹性笼条,所述多根弹性笼条的端部沿所述支撑本体的径向向外延伸形成安装边,所述轴承座的圆周外壁与机匣之间形成空隙,且所述空隙内充满滑油以形成挤压油膜阻尼器;该监测方法包括:

在至少一个所述弹性笼条上粘接应变片,所述应变片经引线连接至设于所述机匣外的振动应变测量仪,经所述振动应变测量仪检测所述应变片的振动应变值;

判断检测得到的所述振动应变值是否大于预设的振动应变报警阈值,若大于则生成报警信号。

2. 根据权利要求1所述的弹性支承器振动应变监测方法,其特征在于,

所述振动应变报警阈值根据所述弹性支承器的结构参数预先制定,所述应变片的振动应变值的计算公式如下:

$$\varepsilon = (k \cdot 3h \cdot y) / l^2$$

上式中, ε 为所述应变片的振动应变值, k 为校准系数, h 为所述应变片对应的弹性笼条的厚度, l 为所述应变片对应的弹性笼条的长度, y 为所述轴承座的设计振幅量,其中, k 的取值范围为 $0.8 \sim 1.2$;所述振动应变报警阈值为代入各结构参数后得到的所述应变片的振动应变值。

3. 根据权利要求2所述的弹性支承器振动应变监测方法,其特征在于,

设定所述校准系数 k 的步骤如下:

将所述应变片对应的所述弹性笼条的安装边固定,激励所述弹性支承器的轴承座绕其轴心周向晃动;

检测所述应变片的振动应变值和所述轴承座的振幅量;

根据所述应变片的振动应变值的计算公式得到所述校准系数 k 。

4. 根据权利要求3所述的弹性支承器振动应变监测方法,其特征在于,

所述设计振幅量 y 的取值范围为 $y \leq 0.4c$,其中, c 为挤压油膜的径向间隙。

5. 根据权利要求4所述的弹性支承器振动应变监测方法,其特征在于,

所述应变片粘接在所述弹性笼条上靠近所述安装边的根部。

6. 根据权利要求5所述的弹性支承器振动应变监测方法,其特征在于,所述监测方法还包括:

采用动态信号分析仪对所述振动应变测量仪检测的振动应变值进行实时分析并显示所述振动应变值对应的频谱图,以判断转子运行的故障。

7. 根据权利要求6所述的弹性支承器振动应变监测方法,其特征在于,

所述弹性支承器为两个,分别位于航空涡轴发动机的转子的前轴承处和后轴承处,所述监测方法还包括:

采用动态信号分析仪接收所述前轴承处实时检测的所述振动应变值以生成所述前轴承处轴颈的第一轴心轨迹图;

所述动态信号分析仪接收所述后轴承处实时检测的所述振动应变值以生成所述后轴承处轴颈的第二轴心轨迹图;

所述动态信号分析仪根据所述第一轴心轨迹图和所述第二轴心轨迹图拟合生成双信号轴心轨迹图,以判断转子运行的故障。

8. 根据权利要求 7 所述的弹性支承器振动应变监测方法,其特征在于,
所述转子的运行故障包括:转子不平衡、转子不对中、转子支承间隙与轴承座连接松动、转子与静子件碰摩、挤压油膜涡动、转子内部积液、滚动主轴承故障及齿轮振动故障中的至少一种。

弹性支承器振动应变监测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及振动应变监测领域,特别地,涉及用于中小型航空涡轴发动机高速转子运行的状态监测和振动故障识别的方法。

背景技术

[0002] 长期以来,在航空发动机研制过程中,都是依靠在机匣上安装加速度计或速度计来获得转子在运转时传递到机匣的振动信息。具体做法是在发动机靠前、后支点附近安装边的垂直和水平位置安装传感器座,再用 M5 螺栓将加速度计或速度计装在传感器座上,实现对发动机的振动监测。

[0003] 现有技术对大中型的、刚性支承且转速在 18000r/min 以下的航空发动机转子的振动监测,这些信号也许足够了。但对中小型的、鼠笼式弹性支承器加挤压油膜阻尼器柔性支承且转速在 3000r/min 以上的航空涡轴发动机转子的振动监测,这些信号就显得很不够,尤其是发动机转子存在振动故障运行时的振动监测。由于鼠笼式弹性支承器加挤压油膜阻尼器的减振作用大,机匣振动信号已不能完全反映高速转子-支承系统的振动信息,相反还参杂了机匣局部振动信息。尤其是在发动机靠后支点附近安装边的垂直和水平位置安装传感器座,离发动机转子后支点太远,中间隔着几层薄壁机匣。因此,此点是转子振动?或者是薄壁机匣振动?还是安装座振动?有时都难以区分。因此,现有技术中的机匣振动信号已不能完全反映高速转子-支承系统的振动信息,相反还参杂了机匣局部振动信息,亟需开发一种能够精确监测转子-支承系统的振动信息的监测方法。

发明内容

[0004] 本发明目的在于提供一种弹性支承器振动应变监测方法,以解决现有的机匣振动信息无法准确反映弹性支承器的振动应变及弹性支承器的挤压油膜阻尼器不能可靠地工作在油膜线性区的技术问题。

[0005] 为实现上述目的,本发明采用的技术方案如下:

[0006] 一种弹性支承器振动应变监测方法,弹性支承器的支撑本体包括轴承座和沿轴承座的周向分布的多根弹性笼条,多根弹性笼条的端部沿支撑本体的径向向外延伸形成安装边,轴承座的圆周外壁与机匣之间形成空隙,且空隙内充满滑油以形成挤压油膜阻尼器;该监测方法包括:

[0007] 在至少一个弹性笼条上粘接应变片,应变片经引线连接至设于机匣外的振动应变测量仪,经振动应变测量仪检测应变片的振动应变值;

[0008] 判断检测得到的振动应变值是否大于预设的振动应变报警阈值,若大于则生成报警信号。

[0009] 进一步地,振动应变报警阈值根据弹性支承器的结构参数预先制定,应变片的振动应变值的计算公式如下:

[0010] $\varepsilon = (k \cdot 3h \cdot y) / l^2$

[0011] 上式中, ε 为应变片的振动应变值, k 为校准系数, h 为应变片对应的弹性笼条的厚度, l 为应变片对应的弹性笼条的长度, y 为轴承座的设计振幅量, 其中, k 的取值范围为 $0.8 \sim 1.2$; 振动应变报警阈值为代入各结构参数后得到的应变片的振动应变值。

[0012] 进一步地, 设定校准系数 k 的步骤如下:

[0013] 将应变片对应的弹性笼条的安装边固定, 激励弹性支承器的轴承座绕其轴心周向晃动;

[0014] 检测应变片的振动应变值和轴承座的振幅量;

[0015] 根据应变片的振动应变值的计算公式得到校准系数 k 。

[0016] 进一步地, 设计振幅量 y 的取值范围为: $y \leq 0.4c$, 其中, c 为挤压油膜的径向间隙。

[0017] 进一步地, 应变片粘接在弹性笼条上靠近安装边的根部。

[0018] 进一步地, 监测方法还包括:

[0019] 采用动态信号分析仪对振动应变测量仪检测的振动应变值进行实时分析并显示振动应变值对应的频谱图, 以判断转子运行的故障。

[0020] 进一步地, 弹性支承器为两个, 分别位于航空涡轴发动机的转子的前轴承处和后轴承处, 监测方法还包括:

[0021] 采用动态信号分析仪接收前轴承处实时检测的振动应变值以生成前轴承处轴颈的第一轴心轨迹图;

[0022] 动态信号分析仪接收后轴承处实时检测的振动应变值以生成后轴承处轴颈的第二轴心轨迹图;

[0023] 动态信号分析仪根据第一轴心轨迹图和第二轴心轨迹图拟合生成双信号轴心轨迹图, 以判断转子运行的故障。

[0024] 进一步地, 转子的运行故障包括: 转子不平衡、转子不对中、转子支承间隙与轴承座连接松动、转子与静子件碰摩、挤压油膜涡动、转子内部积液、滚动主轴承故障及齿轮振动故障中的至少一种。

[0025] 本发明具有以下有益效果:

[0026] 本发明弹性支承器振动应变监测方法, 通过在弹性笼条上粘接应变片, 检测应变片的振动应变值以准确检测弹性支承器的振动应变, 避免了机匣振动信号受干扰导致的检测不准确, 且振动应变测量仪能够实时显示弹性轴承器的振动应变值, 人机界面友好; 进一步地, 通过将检测得到的振动应变值与预设的振动应变报警阈值比较, 以保证轴承座的轴颈工作在挤压油膜线性区域内, 超值则报警, 从而提高转子的安全运行性能。

[0027] 除了上面所描述的目的、特征和优点之外, 本发明还有其它的目的、特征和优点。下面将参照图, 对本发明作进一步详细的说明。

附图说明

[0028] 构成本申请的一部分的附图用来提供对本发明的进一步理解, 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:

[0029] 图 1 是本发明优选实施例弹性支承器振动应变监测方法的步骤流程示意图;

[0030] 图 2 是本发明优选实施例弹性支承器的结构示意图;

[0031] 图 3 是图 2 沿 A-A 的剖面示意图。

具体实施方式

[0032] 以下结合附图对本发明的实施例进行详细说明,但是本发明可以由权利要求限定和覆盖的多种不同方式实施。

[0033] 本发明的优选实施例提供一种弹性支承器振动应变监测方法,参照图 2 及图 3,本发明实施例中,弹性支承器 1 的支撑本体包括轴承座 11 和沿轴承座 11 的周向分布的多根弹性笼条 13,多根弹性笼条 13 的端部沿支撑本体的径向向外延伸形成安装边 15,轴承座的圆周外壁与机匣 4 之间形成空隙,且空隙内充满滑油以形成挤压油膜阻尼器 5;本实施例中,挤压油膜阻尼器 5 的油膜外环设计在机匣 4 上,油膜内环即轴承座的外圆柱面,油膜内环与油膜外环之间的径向间隙按同心设计,且沿周向均等。本实施例中,轴承座 11 经球轴承 6 连接转子 7,经检测弹性支承器 1 的振动应变,以对转子 7 高速运转时的振动情况进行监测,参照图 1,本实施例监测方法包括:

[0034] 步骤 101,在至少一个弹性笼条上粘接应变片,应变片经引线连接至设于机匣外的振动应变测量仪,经振动应变测量仪检测应变片的振动应变值;

[0035] 步骤 102,判断检测得到的振动应变值是否大于预设的振动应变报警阈值,若大于则生成报警信号。

[0036] 参照图 3,本实施例中,多个弹性笼条 13 上粘接有应变片 2,应变片 2 经引线 3 连接至设于机匣外的振动应变测量仪,通过振动应变测量仪实时检测应变片 2 的振动应变值,即获得弹性支承器的振动应变。本实施例振动应变测量仪将得到的振动应变值进行模数转换后,通过显示界面进行数字显示,以方便用户实时获得转子的振动状况信息。本实施例中,由于转子 7 和弹性支承器 1 均处于高温环境中,将应变片 2 的振动量传递至振动应变测量仪的引线分为两段,包括与应变片 2 相连的耐 250℃ 以上的第一引线,第一引线经耐 800℃ 以上的第二引线引出至机匣外。

[0037] 优选地,为了提高应变片 2 检测的弹性支承器 1 的振动灵敏度,应变片 2 粘接在弹性笼条 13 上靠近安装边 15 的根部。本实施例中,应变片 2 粘接在弹性笼条 13 的水平方向和垂直方向上靠近安装边 15 的根部。

[0038] 本实施例,通过对振动应变测量仪检测得到的振动应变值与振动应变报警阈值进行比较,以判断弹性支承器的轴颈是否工作在挤压油膜的线性区内,由于挤压油膜阻尼器 5 主要用于减少转子本身的振动和通过弹性支承器 1 外传的振动,故轴颈是否工作在挤压油膜线性区,关系到转子 7 的可靠稳定运行。本实施例,通过对轴颈的振幅过大进行报警,提高了转子 7 运行的安全性能。

[0039] 本实施例中,振动应变报警阈值根据弹性支承器 1 的结构参数预先制定,应变片 2 的振动应变值的计算公式如下:

$$[0040] \quad \varepsilon = (k \cdot 3h \cdot y) / l^2$$

[0041] 上式中, ε 为应变片的振动应变值, k 为校准系数, h 为应变片对应的弹性笼条的厚度, l 为应变片对应的弹性笼条的长度, y 为轴承座的设计振幅量,即轴承座绕其轴心的晃动半径的设计量,当轴承座绕其轴心的晃动半径过大,则导致轴颈不工作在挤压油膜线性区,其中, k 的取值范围为 0.8 ~ 1.2;振动应变报警阈值为代入各结构参数后得到的应变

片的振动应变值。如本实施例中,弹性笼条的校准系数 $k = 1.05$, $h = 2.8\text{mm}$, $l = 28.5\text{mm}$, $y = 0.032\text{mm}$, 根据公式可得振动应变报警值为 $\varepsilon = 348 \mu\varepsilon$ 。振动应变测量仪常采用 $1\text{mV}/\mu\varepsilon$ 输出,此时输出峰值为 348mV 的交变电压信号。若放大成 2 倍采用 $2\text{mV}/\mu\varepsilon$ 输出,那时输出峰值为 696mV 的交变电压信号。

[0042] 本实施例中,设定校准系数 k 的步骤如下:

[0043] 将应变片对应的弹性笼条的安装边固定,激励弹性支承器的轴承座绕其轴心周向晃动,本实施例中,采用激振器激振轴承座绕轴心晃动;

[0044] 检测应变片的振动应变值和轴承座的振幅量;

[0045] 根据应变片的振动应变值的计算公式得到校准系数 k ,将检测的振动应变值、振幅量、 h 、 l 代入 $\varepsilon = (k \cdot 3h \cdot y)/l^2$,即可得到校准系数 k 。

[0046] 本实施例中,设计振幅量 y 的取值范围为: $y \leq 0.4c$,其中, c 为挤压油膜的径向间隙。

[0047] 优选地,还对转子的运行状态及振动故障进行监测,本实施例中,采用动态信号分析仪对振动应变测量仪检测的振动应变值进行实时分析并显示振动应变值对应的频谱图,以判断转子运行的故障。中小型航空发动机的工作温度高、转子转速高,故障主要发生在转子一支承系统,其最常见的振动故障至少包括:转子不平衡、转子不对中、转子支承间隙与轴承座连接松动、转子与静子件碰摩、挤压油膜涡动、转子内部积液、滚动主轴承故障、齿轮振动故障等。本实施例采用频谱图监测故障的过程如下:

[0048] 转子不平衡引起:在工作转速范围内,振动幅值随转速增高而增加,随转速降低而减少;本领域技术人员通过在振动频谱图上的基频峰值显著高于其分频和倍频峰值来判定转子不平衡故障。

[0049] 转子不对中引起:转子轴向振动增大并大于 0.5 倍径向振动值;本领域技术人员通过振动频谱图上出现转速二倍频甚至三倍频谱峰以判定转子不对中故障。

[0050] 转子支承间隙与轴承座连接松动引起:振动多发生在径向且振动相位无变化、转速增减变化时,振动幅值出现突增、突减现象;本领域技术人员通过振动频谱中的频谱峰除转速基频外尚有分频和倍频等出现以判定该故障。

[0051] 转子与静子件碰摩引起:振动响应会出现转速基频的 $1/2$ 、 $1/3$ 、 \dots 、 $1/n$ 、 $2/n$ 、 $3/n$ 等振动成分;振动随时间和碰摩接触面积大小而变化,碰摩时振动响应幅值剧增,且会出现转子低阶固有频率谱峰;本领域技术人员通过出现转子低阶固有频率谱峰来判定该故障。

[0052] 挤压油膜涡动引起:($0.40 \sim 0.49$) 倍转速基频振动,本领域技术人员通过出现 ($0.40 \sim 0.49$) 倍转速基频振动来判定该故障。

[0053] 转子内部积液引起:0.5 倍转速基频振动,失稳后会出现转子低阶固有频率谱峰。本领域技术人员通过出现转子低阶固有频率谱峰来判断该故障。

[0054] 滚动主轴承故障引起:轴承座上振动频率较丰富,如已知某轴承的滚动体数 $z = 15$ 、滚动体直径 $d = 6\text{mm}$ 、轴承节径 $D = 56\text{mm}$ 、接触角 $\alpha = 30^\circ$ 、转轴旋转频率 $f_0 = 750\text{Hz}$,则其轴承内环跑道局部剥落引起 $8.2f_0$ 振动,轴承外环跑道局部剥落引起的 $6.8f_0$ 振动,轴承滚动体局部剥落引起 $4.6f_0$ 振动。本领域技术人员分析频谱图可以判定该故障。

[0055] 齿轮振动故障引起:齿轮运转时,因啮合而伴有较大冲击,振动频域信号中除转速频率、啮合频率外,还有以啮合频率为中心,以轴转速基频或倍频为边带的对称边频;局部

异常的齿轮,其频谱中除啮合频率外,还有轴转速基频或其二倍频和三倍频成分;齿面磨损的齿轮,其频谱中含啮合频率及其二倍频和三倍频成分;随着运动误差的变化和齿轮刚度的变化,在频谱图中呈现出对称边带剧增,边带的间隔与故障源频率有关,边带的幅值则与故障程度有关(E),本领域技术人员通过分析频谱图可以判定该故障。

[0056] 优选地,本实施例监测方法用于航空涡轴发动机的转子的振动监测,弹性支承器为两个,分别位于航空涡轴发动机的转子的前轴承处和后轴承处,该监测方法还包括:

[0057] 采用动态信号分析仪接收前轴承处实时检测的振动应变值以生成前轴承处轴颈的第一轴心轨迹图;

[0058] 动态信号分析仪接收后轴承处实时检测的振动应变值以生成后轴承处轴颈的第二轴心轨迹图;

[0059] 动态信号分析仪根据第一轴心轨迹图和第二轴心轨迹图拟合生成双信号轴心轨迹图,以判断转子运行的故障。

[0060] 采用双信号轴心轨迹图进行故障判定的过程如下:

[0061] 转子不平衡引起:在工作转速范围内,振动幅值随转速增高而增加,随转速降低而减少;轴心轨迹图为椭圆形。

[0062] 转子不对中引起:转子轴向振动增大并大于0.5倍径向振动值;轴心轨迹图为变异三角形。

[0063] 转子支承间隙和轴承座连接松动引起:振动多发生在径向且振动相位无变化;转速增减变化时,振动幅值出现突增、突减现象;轴心轨迹图为三叶形。

[0064] 转子和静子件碰摩引起:振动响应会出现转速基频的 $1/2$ 、 $1/3$ 、...、 $1/n$ 、 $2/n$ 、 $3/n$ 等振动成分;振动随时间和碰摩接触面积大小而变化,碰摩时振动响应幅值剧增,轴心轨迹图为较乱图形。

[0065] 本实施例中,优选地,监测方法采用动态信号分析仪对振动应变值生成频谱图,并拟合生成双信号轴心轨迹图,以加强对转子的运行状态及振动故障的监测。

[0066] 以上所述仅为本发明的优选实施例而已,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保护范围之内。

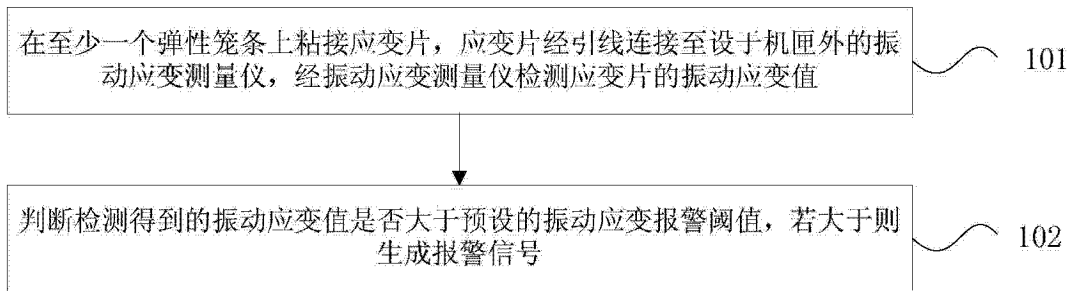


图 1

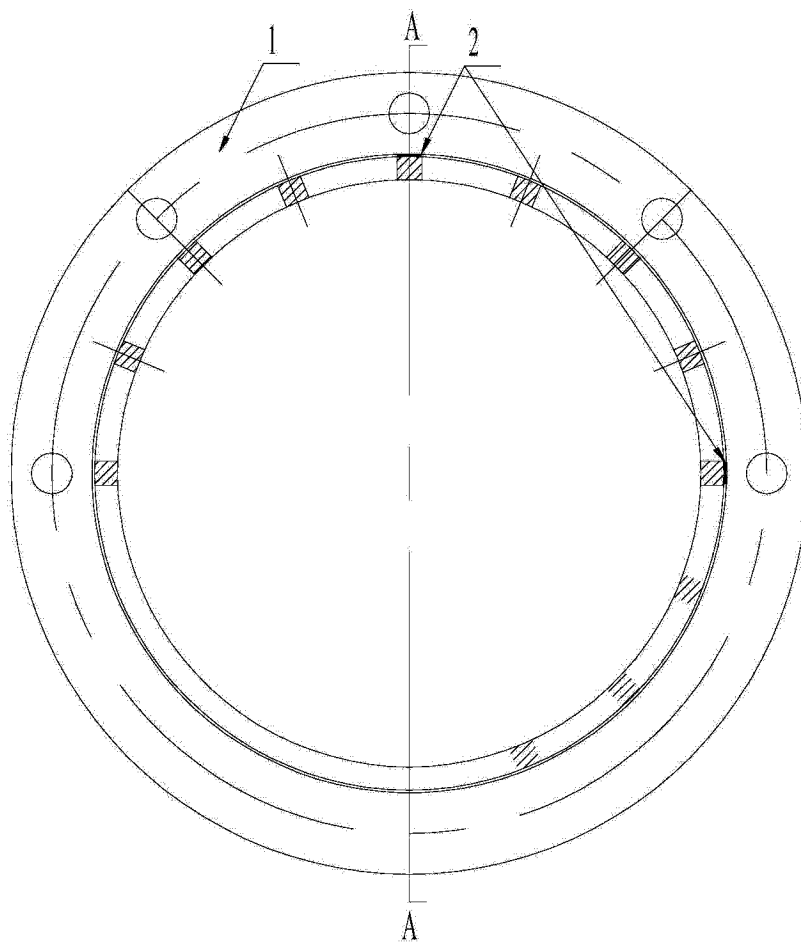


图 2

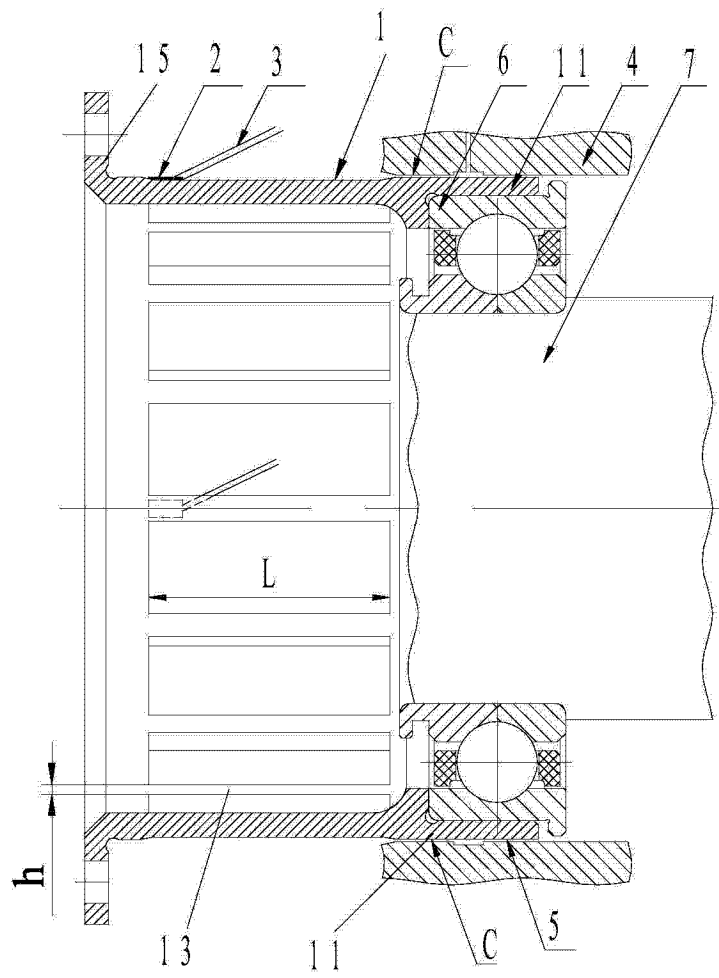


图 3