

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2017 年 11 月 16 日 (16.11.2017)



(10) 国际公布号
WO 2017/193470 A1

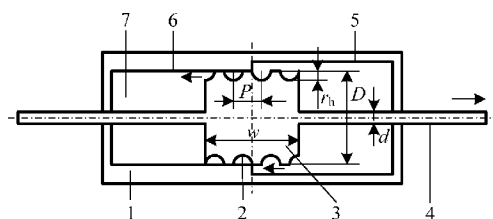
- (51) 国际专利分类号:
F16F 7/10 (2006.01) **F16F 9/34** (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2016/089855
- (22) 国际申请日: 2016 年 7 月 13 日 (13.07.2016)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201610300595.1 2016年5月9日 (09.05.2016) CN
- (71) 申请人: 江苏大学 (JIANGSU UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。
- (72) 发明人: 张孝良 (ZHANG, Xiaoliang); 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。 聂佳梅 (NIE, Jiamei); 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。 黄振兴 (HUANG, Zhenxing); 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。 何海 (HE, Hai); 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。

陈龙 (CHEN, Long); 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。

- (74) 代理人: 北京德崇智捷知识产权代理有限公司 (JW IP LAW FIRM); 中国北京市朝阳区酒仙桥路 14 号 A5 楼 7 层 701, Beijing 100015 (CN)。
- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。
- (84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM,

(54) Title: HYDRAULIC MEM-INERTER CONTAINER DEVICE AND APPLICATIONS THEREOF

(54) 发明名称: 一种液力忆惯容器装置及其应用





AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布：

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

range.

(57) 摘要：一种液力忆惯容器装置及其应用，液力忆惯容器装置包括第一缸筒(1)、第一活塞(3)及螺旋通道，第一活塞(3)将第一缸筒(1)分为左右两个腔，螺旋通道将第一缸筒(1)的左右两个腔连通，螺旋通道的长度会随着第一缸筒(1)和第一活塞(3)相对位移的变化而变化。缸筒和活塞分别作为第一和第二两个独立可移动的端点，使用时可以连接到一个系统中用来控制机械力，液体(7)在两个端点产生相对运动时会从缸筒的一个腔经螺旋通道流向另一个腔，螺旋通道内的液体具有质量在流动时会产生惯性力，产生的惯性力与两个端点相对加速度之比会随着两个端点相对位移的变化而变化。液力忆惯容器装置可以作为惯容和阻尼的调节与控制阀，实现对惯容和阻尼的连续调节与控制，用途十分广泛。

一种液力忆惯容器装置及其应用

技术领域

本发明涉及一种惯容器装置及其用途，特指一种惯容与位移相关的液力惯容器装置及其用途。

背景技术

惯容器是一种新的机械元件，它的概念(Smith M C, “Synthesis of mechanical networks: the inerter”, IEEE Transactions on Automatic Control, 47(10), 1648-1662, 2002) 是 2002 年提来的。惯容器具有两个独立可移动的端点，这两个端点的相对加速度与施加在两个端点上的力成正比，而质量元件的一个端点是它的质心，另一个端点是惯性参考系中的一个固定点(机械接地)，因此，在“力—电流”对应中，质量元件只能与一个接地的电容相似。与传统质量元件不同，惯容器具有两个独立可移动的端点，这使得它不必与惯性参考系相连，因此，惯容器与一个不接地的电容相似。可以看出，惯容器、阻尼和弹簧分别与电容、电阻和电感的对应更加清楚明确，而且用这种对应关系可以直接把电路“翻译”成机械系统。国际专利 PCT/GB02/03056 公开了两种惯容器装置，一种是齿轮齿条式惯容器装置，另一种是滚珠丝杠式惯容器装置，这些装置可以用在减振和隔振等机械系统中用来控制或抵消振动力，并且已经成功地应用到一级方程式赛车上。国际专利 PCT/GB2010/001491 公开了一种液力惯容器装置(图 1)，这种装置利用流经螺旋通道中油液的质量来产生惯性力，这种惯容器结构简单，易于实现，可靠性高，但这些装置所能提供的惯容是恒定不变的，惯容不能随着两端点相对位移的变化而变化。

忆阻器的概念(Chua, L., “Memristor—the missing circuit element”, IEEE Transactions on Circuit Theory, 18(5), 507-519, 1974) 早在 1971 年的时候就被提出来，用来描述电荷与磁链之间的关系。事实上，忆阻器(Memristor)是由“记忆(Memory)”与“电阻(Resistance)”合成而来，指具有记忆能力的电阻器。尽管从理论上已经推导出了忆阻器的存在，但忆阻器的实物直到 2008 年才在惠普实验室被找到(Strukov D B, Snider G S, Stewart D R, Williams R S, “The missing memristor found”, Nature, 453(7191), 80-83, 2008)。自忆阻器概念提出以来，有关忆阻装置和系统的数学理论得到了发展，近年来，基于该理论又提出了包括忆容器和忆感器在内的一类记忆元件模型。根据机电相似原理，在机械系统中必然存在着对应于电学记忆元件的机械记忆元件，包括机械忆阻器、忆容器和忆感器。例如，一个锥形的阻尼器就是一个阻尼与位移相关的机械阻尼器，它与电学中的忆阻器

相对应 (Oster G F, Auslander D M, “The memristor: A new bond graph element”, Journal of Dynamic Systems Measurement & Control, 94(3), 249-252, 1972)。不仅如此, 基于“力—电流”模拟, 由卷筒和缠绕在卷筒上的绳索组成的子系统是一旋转的机械忆容器 (Jeltsema D, Dòria-Cerezo A, “Mechanical memory elements modeling of systems with position-dependent mass revisited”, 49th IEEE Conference on Decision and Control, Atlanta GA, USA, 3511-3516, 2010)。但这种机械忆容器不具有两个独立可移动的端点, 就像质量元件只能与接地的电容相对应一样, 它只能与接地的忆容器相对应, 而与忆容器完全对应且具有两个独立可移动端点的装置, 至今还没有被发现。

基础电路元件三角周期表 (图 2, Wang F Z, “A Triangular Periodic Table of Elementary Circuit Elements”, IEEE Transactions on Circuit and System, 60(3), 616-623, 2013) 将元件分为基础元件、记忆元件和高阶记忆元件, 其中, 电阻器、电容器和电感器以及与之对应的忆阻器、忆容器和忆感器等记忆元件都是所谓的高价元件族的特例。运用机电相似原理, 可以将基础电路元件三角周期表转化为机械基础元件三角周期表 (图 3), 就像门捷列夫元素周期表用来寻找新的化学元素一样, 这张表可以用来预测新的机械元件。例如, 根据周期表的预测, 机械系统中应该存在一种两端点独立可移动的忆惯容器元件 (Mem-inerter, 由“记忆 (Memory)”与“惯容器 (Inerter)”合成而来, 指具有记忆能力的惯容器)。然而, 到目前为止还没有发现一种能够实现忆惯容器理想模型元件的机械装置。

本发明提出的液力忆惯容器装置为上述周期表中预测的忆惯容器理想模型元件提供一种实现方法。同时, 由于该装置具有两个独立可移动的端点, 与电学中的忆容器元件完全对应, 因此, 本发明提出的装置可以加深机电系统之间的相互联系。而且, 当用在减振和隔振等机械系统中用来控制或抵消振动力时, 该装置可以克服惯容器装置提供的惯容恒定不变的缺点, 提供一种惯容随两端点相对位移变化而变化的力控制特性, 从而更好地控制或抵消振动力。此外, 液力忆惯容器装置还可以作为惯容的调节和控制阀, 实现对惯容的连续调节与控制。

发明内容

本发明的目的是提供一种液力忆惯容器装置, 为忆惯容器理想模型元件提供一种实现装置, 并依托该装置具备的独特性能, 发掘其潜在的用途, 增强机电系统之间的相互联系, 拓展机电相似理论的内容与范围。

为达到上述目的, 本发明采用的技术方案如下: 一种液力忆惯容器装置, 包括第一

缸筒、第一活塞及螺旋通道，所述第一活塞将第一缸筒分为左右两个腔，所述螺旋通道将第一缸筒的左右两个腔连通，并且所述螺旋通道的长度会随着第一缸筒和第一活塞相对位移的变化而变化。

进一步地，所述第一缸筒具有两个直径不同的内圆面，分别为大内圆面和小内圆面，所述第一活塞的外表面与小内圆面相配合将第一缸筒分为左右两个腔，第一活塞的外表面上设有螺旋槽，所述螺旋槽与小内圆面围成的螺旋通道将第一缸筒的左右两个腔连通。

上述方案也可以采用如下方案替换：所述第一缸筒具有两个直径不同的内圆面，分别为大内圆面和小内圆面，所述第一活塞的外表面与缸筒小内圆面相配合将第一缸筒分为左右两个腔，所述小内圆面上设有螺旋槽，所述螺旋槽与所述活塞的外表面围成的螺旋通道将第一缸筒左右两个腔连通。

进一步地，所述螺旋槽为等螺距的螺旋槽，或者为不等螺距的螺旋槽。

进一步地，液力忆惯容器装置的动量—相对速度特性曲线是一个扭曲的滞回环，液力忆惯容器装置的动量积分—相对位移特性曲线是一条单值映射曲线。

液力忆惯容器装置作为忆阻尼器应用，液力忆惯容器装置的第一缸筒（1）和第一活塞（3）作为一个忆阻尼器的两个独立可移动端点，所述忆阻尼器的阻尼力—相对速度特性曲线是一个扭曲的滞回环，所述忆阻尼器的动量—相对位移特性曲线是一条单值映射曲线。

本发明的液力忆惯容器装置作为变质量元件应用时，液力忆惯容器装置的第一缸筒或第一活塞中的任意一个是固定的。

本发明的液力忆惯容器装置应用在机械系统中，用来控制或抵消振动力。

本发明还提供了一种可调惯容装置，包括第一缸筒、第一活塞及螺旋通道，所述第一活塞将第一缸筒分为左右两个腔，所述螺旋通道将第一缸筒的左右两个腔连通，并且所述螺旋通道的长度会随着第一缸筒和第一活塞相对位移的变化而变化；所述第一缸筒两端的筒壁上各设置一个第一开口，液体经第一缸筒的一个第一开口流进，再经过螺旋通道从第一缸筒的另一第一开口流出。

进一步地，所述第一缸筒两端的筒壁上设置的第一开口相对所述第一活塞为常开。

进一步地，所述第一缸筒具有两个直径不同的内圆面，分别为大内圆面和小内圆面，所述第一活塞的外表面与缸筒小内圆面相配合将第一缸筒分为左右两个腔，第一活塞的外表面上设有螺旋槽，所述螺旋槽与小内圆面围成的螺旋通道将第一缸筒的左右两个腔连通。

上述方案也可以采用如下方案替换：所述第一缸筒具有两个直径不同的内圆面，分别为大内圆面和小内圆面，所述第一活塞的外表面与小内圆面相配合将第一缸筒分为左右两个腔，所述小内圆面上设有螺旋槽，所述螺旋槽与所述第一活塞的外表面围成的螺旋通道将第一缸筒左右两个腔连通。

进一步地，上述方案中还包括液压管及液压缸，所述液压缸包括第二缸筒和第二活塞，第二活塞将所述第二缸筒分为左右两个腔，所述第二缸筒两端的筒壁上各设有一个第二开口，两个第二开口通过液压管分别与第一缸筒上的两个第一开口连通。

进一步地，所述第二缸筒两端的筒壁上设置的第二开口相对所述第二活塞为常开。

本发明的有益效果：第一，本发明提供了一种液力忆惯容器装置具有以下的特点：

(1) 装置提供的惯容随两个端点相对位移变化而变化；(2) 装置的动量—速度特性曲线是一个扭曲的滞回环，扭曲的滞回环在电学中是记忆元件的标志；(3) 装置的动量积分—位移特性曲线是一条单值映射曲线。这些特点表明，液力忆惯容器装置是忆惯容器理想模型元件的一种实现装置，可以克服现有惯容器装置惯容恒定不变的缺点，提供一种惯容随位移变化而变化的力控制特性，从而更好地控制或抵消振动力。第二，装置具有两个独立可移动的端点（第一缸筒和第一活塞），与电学中的忆容器元件完全对应，可以加深机电系统之间的相互联系，拓展机电相似理论的内容与范围；第三，当用在减振和隔振等机械系统中用来控制或抵消振动力时，忆惯容器装置可以克服惯容器装置提供的惯容恒定不变的缺点，提供一种惯容随两端点相对位移变化而变化的力控制特性，从而更好地控制或抵消振动力。第四，液力忆容器装置还可以作为惯容的调节和控制阀，实现对惯容的连续调节与控制。

附图说明

以下结合附图对本发明作进一步说明。

图 1 为液力惯容器装置示意图；

图 2 为基础电路元件三角周期表；

图 3 为基础机械元件三角周期表；

图 4 为外螺旋式液力忆惯容器装置示意图；

图 5 为内螺旋式液力忆惯容器装置示意图；

图 6 为忆惯容器装置的惯容与力学特性曲线；

图 7 为忆惯容器与惯容器装置特性比较；

图 8 为忆惯容器装置阻尼特性曲线；

图 9 为作为惯容调节和控件阀使用的液力忆惯容装置示意图；

图 10 为连续可调惯容装置示意图；

图中，1-第一缸筒 2-螺旋槽 3-第一活塞 4-第一活塞杆 5-大内圆面 6-小内圆面 7-液体 8-第一开口 9-液力忆惯容器装置 10-液压管 11-液压缸 12-第二缸筒 13-第二活塞 14-第二活塞杆 15-第二开口。

具体实施方式

下面结合附图和实施例对本发明作进一步说明。

图 4 是液力忆惯容器装置的实施例一，包括第一缸筒 1、第一活塞 3、液体 7，所述第一缸筒 1 具有两个直径不同的内圆面，分别为大内圆面 5 和小内圆面 6，并且所述第一缸筒 1 的整个内部充满液体 7；所述第一活塞 3 的外表面与缸筒小内圆面 6 相配合将第一缸筒 1 分为左右两个腔，第一活塞 3 的外表面上设有螺旋槽 2，螺旋槽 2 和小内圆面 6 所围成的螺旋通道将第一缸筒 1 的左右两个腔连通。当第一活塞 3 相对于第一缸筒 1 运动时，第一活塞 3 驱动液体 7 从一个腔经螺旋通道流到另一个腔，由于螺旋通道内的液体具有质量，因此在流动时会产生惯性力。所述第一缸筒 1 作为一个端点，所述活塞 3 作为另一个端点，又由于螺旋通道的长度会随着两个端点相对位移的变化而变化，因此产生的惯性力与两个端点相对加速度之比，即惯容，会随着两个端点相对位移的变化而变化。此外，装置的动量-速度特性曲线是一个扭曲的滞回环，而且动量积分-位移特性曲线是一条单值映射曲线。

图 5 是装置的实施例二，两个实施例的不同之处在于，实施例一所述的螺旋槽 2 设在了第一活塞 3 外表面上，而实施例二所述的螺旋槽 2 设在了缸筒小内圆面 6 上。

对于实施例一和二，所述的螺旋槽 2 的截面形状设计成半圆形是为了便于加工，其截面形状并不限于半圆形，也可以根据需要设计成其它形状，而且螺旋槽 2 可以设计成定螺距的，也可以是变螺距的。另外，所述的第一缸筒 1 也可以是一个阀体或者包含腔室的壳体。

图 4 和 5 所示的装置在实施过程中采用了双出第一活塞杆 4，但并不限于此，也可以采用单活塞杆和浮动活塞的形式或双缸筒的形式，或者是只要能够驱动液体流动的其它的类似形式都是可以的。

在图 4 和 5 所示的实施例中，装置的特征参数，也就是惯容不是恒定的常数，而是会随着位移的变化而变化的，或者说惯容是位移的函数，而这个函数由活塞的直径和宽度、螺旋槽的半径和螺距、液体的密度等确定的。

下面以图 4 为例说明本发明提供的装置是理想忆惯容器模型的实现装置。

首先，考虑图 1 所示的液力惯容器装置，它是一种现有技术。设 A_1 是第一活塞 3 的有效横截面积，也就是第一活塞 3 的工作区域， A_2 是半圆形螺旋槽的横截面积， l 是螺旋槽的长度， ρ 是液体 7 的密度。设 F 是施加在两个端点上的等大反向的力， x 是两个端点的相对位移。根据国际专利 PCT/GB2010/001491，可以将图 1 所示的液力惯容器建模为一个理想惯容器模型，因此，活塞对缸筒的相对加速度与施加在两个端点上的力是线性相关的，即

$$F = B\ddot{x} \quad (1)$$

其中， B 是惯容，单位是 kg，它可以表达为

$$B = \rho l \frac{A_1^2}{A_2} \quad (2)$$

设 m_F 是螺旋槽中液体的质量，式 (2) 可以表达为

$$B = m_F \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 \quad (3)$$

这表明，惯容与螺旋槽中液体的质量成正比，与活塞与螺旋槽横截面积之比的平方成正比。

设 D 是活塞直径， d 是活塞杆直径， r_h 是螺旋槽的半径， P 是螺旋槽的螺距， w 是活塞的宽度，式 (2) 可重写为

$$B = b_0 w \quad (4)$$

其中， b_0 是惯容常数

$$b_0 = \frac{\pi \rho (D^2 - d^2)^2 \sqrt{P^2 + (\pi D)^2}}{8 P r_h^2}$$

为了将线性惯容器装置设计成非线性或位移相关的惯容器装置，本发明的技术方案扩大了缸筒右半部分内圆面的直径，如图 4 所示，使得被缸筒小内圆面包围的螺旋槽的长度，也就是螺旋通道的长度可以随着活塞的运动而变化，螺旋通道中液体的质量也相应变化，由式 (3) 和 (4) 可知，惯容也随之变化。这样，具有常系数惯容的线性惯容器可以转变为一个位移相关的变惯容的非线性惯容器。

对于图 4 中所设计的位移相关的惯容器装置，活塞的实际工作宽度与形成的螺旋通道的长度是线性相关的，若选择缸筒的中心作为坐标原点，则活塞的工作宽度为 $(w/2)$ —

x , 显然, 活塞必须运行于 $-w/2$ 和 $w/2$ 之间, 也就是 $x \in [-w/2, w/2]$ 。因此, 用 $(w/2) - x$ 替换 w , 式 (4) 可表达为

$$B(x) = b_0 \left(\frac{w}{2} - x \right) \quad (5)$$

这表明某一时刻的惯容 $B(x)$ 是两端点相对位移的显函数。

众所周知, 速度 v 和位移 x 的时间积分是位移 x 和动量 p , 与忆阻器相似的机械元件, 也就是忆阻尼器 (见图 3), 是用位移 x 和动量 p 之间的关系来定义的。考虑如图 3 所示的积分动量 δ 和位移 x 之间的基本关系, 也就是

$$\delta = \hat{\delta}(x), \text{ with } \delta := \int_{-\infty}^t p(\tau) d\tau \quad (6)$$

在时域对后者求导可得

$$p = \frac{d\hat{\delta}}{dx}(x)v \quad (7)$$

通过定义 $B(x) = d\hat{\delta}(x)/dx$, 如图 4 所示的位移相关的惯容器装置可以用以下方程来描述

$$p = B(x)v \quad (8)$$

装置的主要参数如表 1 所示。取 $v = A\omega \sin(\omega t + \pi/2)$ 作为激励, 考虑到装置的最大工作行程, 取 $A = 0.05 \text{ m}$, $\omega = 2\pi$, 对不同螺距时装置的特性进行了比较, 结果如图 6 所示。

表 1. 装置参数

参数	值
活塞直径 D	0.1 m
活塞杆半径 d	0.012 m
螺旋半径 r_h	0.008 m
螺距 P	0.04 m
活塞宽度 w	0.1 m
工作行程 L	0.1 m
液体密度 ρ	1000 kg m ⁻³

图 6a 表明, 图 4 所示装置的惯容不是恒定不变的, 而是会随着相对位移的变化而变化, 这证明它是一种位移相关的惯容器。从图 6b 可以看出, 除原点外, 动量与速度的关系是双值映射的, 这说明如果不从记忆元件的角度, 就不能为图 6b 所示的曲线在动量 p 与速度 v 平面定义一个合适的关系, 也就是, 一个单值的映射关系。这些困难可以通过把位移相关的惯容器定义为一个忆惯容器来解决, 如式 (7) 所示, 即用动量积分与位移变量之间的单值映射关系 (如图 6c 所示) 将位移相关的惯容器定义为一个忆惯容器。事实上, 图 6b 所示的曲线是一个扭曲的滞回环, 它在电学里已经被认为是收集记忆元件的

标志。因此，根据机电相似原理，可以认定图 4 所示的位移相关的惯容器装置是一种忆惯容器装置，也就是，本发明提供的一种液力忆惯容器装置是理想忆容器模型的一种实现装置。

图 7a 清晰地表明了惯容器与忆惯容器装置的区别，即惯容器装置的惯容是恒定不变的常数，而忆惯容器装置的惯容不是恒定不变的，惯容与它两个端点的相对位移有关。从图 7b 可以看出，惯容器装置两端点上施加的力与相对加速度成正比，而忆容器与惯容器装置的力学特性明显不同。由图 7c 可知，惯容器装置的 $p-v$ 特性曲线是一条直线，而忆惯容器装置则是一个扭曲的滞回环，它是记忆元件的标志，可见，两种装置有着本质的区别，一种是普通元件，一种是记忆元件。同样，图 7d 的动量积分一位移特性曲线也表明了两种装置有着不同的特性。因此，不论是从惯容的位移相关性、力学特性还是本质特征上来看，忆惯容器与惯容器装置都有着本质的区别，它们是两种不同的机械元件。

进一步的建模与测试表明，液体的粘度会使得忆惯容器装置实际行为偏离理想行为，由于液体粘度，液体在流动时可能会使忆惯容器装置产生寄生阻尼，也就是液力忆惯容器装置可以进一步建模为理想忆惯容器元件与一个寄生阻尼元件并联。

下面以图 4 为例详细说明忆惯容器的寄生阻尼。

首先，考虑图 1 所示的液力惯容器，其中，活塞、缸筒、螺旋槽、具有粘度的液体一起组成了一个简单的黏滞阻尼器，利用哈根-泊肃叶层流方程，可以得到简单黏滞阻尼器的阻尼系数

$$c = 8\pi\mu l \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 \quad (9)$$

其中， μ 是液体的动力粘度。

式 (9) 还可以表达为

$$c = \frac{8\pi\mu\sqrt{P^2 + (\pi D)^2}}{P} \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 w \quad (10)$$

对于图 4 所示的忆惯容器装置，前已述及，在工作过程中，液体流经的螺旋通道的长度 l 会随着两个端点相对位移的变化而变化，因此，由式 (9) 可知，忆惯容器装置的阻尼系数是位移相关的，同样，用 $(w/2)-x$ 替换 w ，式 (10) 可表达为

$$c(x) = \frac{8\pi\mu\sqrt{P^2 + (\pi D)^2}}{P} \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 \left(\frac{w}{2} - x\right) \quad (11)$$

可见, 某一时刻忆惯容器装置的寄生阻尼 $c(x)$ 是两端点相对位移的显函数。

取 $v = A\omega\sin(\omega t + \pi/2)$ 作为激励, 其中, $A = 0.05 \text{ m}$, $\omega = 2\pi$, 液体的粘度系数为 $\mu = 10^{-3} \text{ Pa s}$ 时, 忆惯容器装置的阻尼特性曲线如图 8 所示。

图 8a 表明, 忆惯容器装置的阻尼系数不是恒定不变的常数, 而是会随着相对位移的变化而变化, 这说明它的阻尼特性是位移相关的。从图 8b 可以看出, 装置的 $F-v$ 阻尼曲线并不像线性阻尼那样是一条有斜率的直线, 而是一个扭曲的滞回环, 它是忆阻尼器的典型标志, 这说明装置的寄生阻尼一个忆阻尼器。由于上述 $F-v$ 曲线不是单值映射的, 因此无法用阻尼力 F 和速度 v 之间的关系来定义装置的忆阻尼特性。而从图 8c 可以看出, 装置的 $p-x$ 阻尼特性曲线是单值映射的, 因此图中的动量与相对位移之间的关系可以用来定义装置的忆阻尼特性。

综上所述, 本发明提供的装置可以被建模为一个理想忆惯容器模型, 也就是, 本发明提供的装置是理想忆惯容器模型的一种实现装置。考虑到液体的粘度, 本发明提供的装置会产生一个寄生阻尼, 它不是一个普通的阻尼, 而是一个忆阻尼器。本发明提供的忆惯容器装置与现有的惯容器装置相比, 在惯容的位移相关性、力学特性及寄生阻尼特性上都有着本质的区别, 它们是两种不同的机械元件, 从特性曲线上看, 忆惯容器装置具有更好的控制和抵消振动力的力学特性。

下面结合图 9 和 10 对液力忆惯容器装置作为惯容调节和控制阀的使用作进一步说明。

在图 9 中, 所述液力忆惯容器装置作为惯容的调节和控制阀使用时, 还需在缸筒 1 两端的筒壁上各设置一个开口 8, 使得装置外部的液体可以经缸筒 1 的一个开口流进, 再经过螺旋通道从缸筒 1 的另一开口流出, 所述开口 8 的设置原则是不能被活塞 3 所覆盖 (即, 所述第一缸筒 1 两端的筒壁上设置的第一开口 8 相对所述第一活塞 3 为常开); 在使用时, 可以通过连续调节和控制所述装置两个端点的相对位移, 来连续调节和控制螺旋通道的长度及通道中液体的质量, 从而实现对惯容的连续调节与控制。

图 10 是液力忆惯容装置作为惯容调节和控件阀使用时的一个实施例, 即一种可调惯容装置, 包括液力忆惯容器装置 9、液压管 10 及液压缸 11。所述液压缸 11 包括第二缸筒 12 和第二活塞 13, 所述第二缸筒 12 和第二活塞 13 分别作为第一和第二两个独立可移动的端点, 在使用时可以连接到一个系统中用来控制机械力, 所述第二缸筒 12 两端的筒壁上各设有一个第二开口 15, 所述第二开口 15 的设置原则是不能被第二活塞 13 所覆盖 (即, 所述第二缸筒 12 两端的筒壁上设置的第二开口 15 相对所述第二活塞 13 为常

开)；所述第二缸筒 12 上的两个第二开口 15，通过两根液压管 10 分别与所述第一缸筒 1 上的两个第一开口 8 相连通；所述液体 7 充满整个可调惯容器装置。

对于图 10 所示的可调惯容装置，设 S_1 是第二活塞 13 的有效横截面积，则结合式 (5) 可以计算某一时刻或者忆惯容器装置 9 中的第一活塞 3 处于某一位置时，在第二缸筒 12 和第二活塞 13 这两个端点之间的惯容为

$$B_v(x) = \left(\frac{S_1}{A_1}\right)^2 B(x) \quad (12)$$

此时，结合式 (11) 可以计算，在第二缸筒 12 和第二活塞 13 这两个端点之间的寄生阻尼的阻尼系数为

$$c_v(x) = \left(\frac{S_1 - A_2}{A_1}\right)^2 c(x) \quad (13)$$

式 (5) 和 (12) 表明，可调惯容装置提供的惯容会随着忆惯容器装置 9 两端点相对位移的变化而连续变化，换言之，可以通过连续调节和控制忆惯容器装置 9 两个端点的相对位移，实现对惯容的连续调节与控制。

式 (11) 和 (13) 表明，可调惯容装置产生的阻尼其阻尼系数会随着忆惯容器装置 9 两端点相对位移的变化而连续变化，也就是，可以通过连续调节和控制忆惯容器装置 9 两个端点的相对位移，实现对阻尼的连续调节与控制。

权 利 要 求 书

1.一种液力忆惯容器装置，包括第一缸筒（1）、第一活塞（3）及螺旋通道，其特征在于，所述第一活塞（3）将第一缸筒（1）分为左右两个腔，所述螺旋通道将第一缸筒（1）的左右两个腔连通，并且所述螺旋通道的长度会随着第一缸筒（1）和第一活塞（3）相对位移的变化而变化。

2.根据权利要求 1 所述的一种液力忆惯容器装置，其特征在于，所述第一缸筒（1）具有两个直径不同的内圆面，分别为大内圆面（5）和小内圆面（6），所述第一活塞（3）的外表面与小内圆面（6）相配合将第一缸筒（1）分为左右两个腔，第一活塞（3）的外表面上设有螺旋槽（2），所述螺旋槽（2）与小内圆面（6）围成的螺旋通道将第一缸筒（1）的左右两个腔连通。

3. 根据权利要求 1 所述的一种液力忆惯容器装置，其特征在于，所述第一缸筒（1）具有两个直径不同的内圆面，分别为大内圆面（5）和小内圆面（6），所述第一活塞（3）的外表面与缸筒小内圆面（6）相配合将第一缸筒（1）分为左右两个腔，所述小内圆面（6）上设有螺旋槽（2），所述螺旋槽（2）与所述活塞（3）的外表面围成的螺旋通道将第一缸筒（1）左右两个腔连通。

4. 根据权利要求 2 或 3 所述的一种液力忆惯容器装置，其特征在于，所述螺旋槽（2）为等螺距的螺旋槽，或者为不等螺距的螺旋槽。

5. 根据权利要求 1 或 2 或 3 所述的一种液力忆惯容器装置，其特征在于，液力忆惯容器装置的动量—相对速度特性曲线是一个扭曲的滞回环，液力忆惯容器装置的动量积分—相对位移特性曲线是一条单值映射曲线。

6. 液力忆惯容器装置作为忆阻尼器应用，其特征在于，液力忆惯容器装置的第一缸筒（1）和第一活塞（3）作为一个忆阻尼器的两个独立可移动端点，所述忆阻尼器的阻尼力—相对速度特性曲线是一个扭曲的滞回环，所述忆阻尼器的动量—相对位移特性曲线是一条单值映射曲线。

7. 液力忆惯容器装置作为变质量元件应用，其特征在于，液力忆惯容器装置的第一缸筒（1）或第一活塞（3）中的任意一个是固定的。

8. 液力忆惯容器装置应用在机械系统中，用来控制或抵消振动力。

9. 一种可调惯容装置，其特征在于，包括第一缸筒（1）、第一活塞（3）及螺旋通道，所述第一活塞（3）将第一缸筒（1）分为左右两个腔，所述螺旋通道将第一缸筒（1）的左右两个腔连通，并且所述螺旋通道的长度会随着第一缸筒（1）和第一活塞

(3) 相对位移的变化而变化；所述第一缸筒(1)两端的筒壁上各设置一个第一开口(8)，液体(7)经第一缸筒(1)的一个第一开口(8)流进，再经过螺旋通道从第一缸筒(1)的另一个第一开口流出。

10. 根据权利要求 9 所述的一种可调惯容装置，其特征在于，所述第一缸筒(1)两端的筒壁上设置的第一开口(8)相对所述第一活塞(3)为常开。

11. 根据权利要求 10 所述的一种可调惯容装置，其特征在于，所述第一缸筒(1)具有两个直径不同的内圆面，分别为大内圆面(5)和小内圆面(6)，所述第一活塞(3)的外表面与缸筒小内圆面(6)相配合将第一缸筒(1)分为左右两个腔，第一活塞(3)的外表面上设有螺旋槽(2)，所述螺旋槽(2)与小内圆面(6)围成的螺旋通道将第一缸筒(1)的左右两个腔连通。

12. 根据权利要求 10 所述的一种可调惯容装置，其特征在于，所述第一缸筒(1)具有两个直径不同的内圆面，分别为大内圆面(5)和小内圆面(6)，所述第一活塞(3)的外表面与小内圆面(6)相配合将第一缸筒(1)分为左右两个腔，所述小内圆面(6)上设有螺旋槽(2)，所述螺旋槽(2)与所述第一活塞(3)的外表面围成的螺旋通道将第一缸筒(1)左右两个腔连通。

13. 根据权利要求 9 或 10 或 11 或 12 所述的一种可调惯容装置，其特征在于，还包括液压管(10)及液压缸(11)，所述液压缸(11)包括第二缸筒(12)和第二活塞(13)，第二活塞(13)将所述第二缸筒(12)分为左右两个腔，所述第二缸筒(12)两端的筒壁上各设有一个第二开口(15)，两个第二开口(15)通过液压管(10)分别与第一缸筒(1)上的两个第一开口(8)相连通。

14. 根据权利要求 13 所述的一种可调惯容装置，其特征在于，所述第二缸筒(12)两端的筒壁上设置的第二开口(15)相对所述第二活塞(13)为常开。

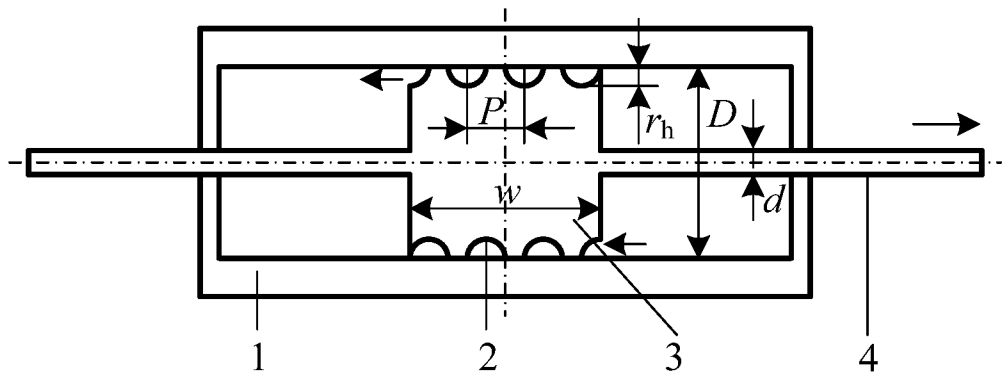


图 1

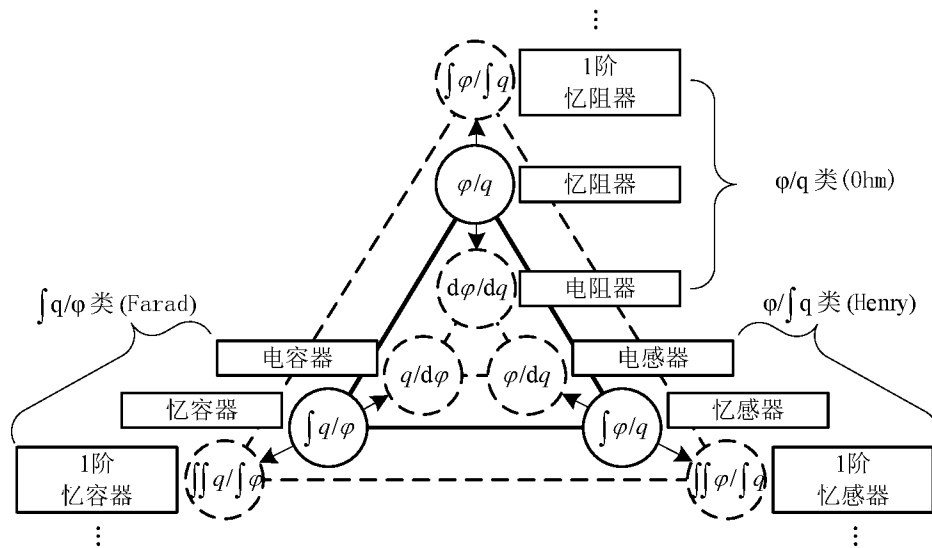


图 2

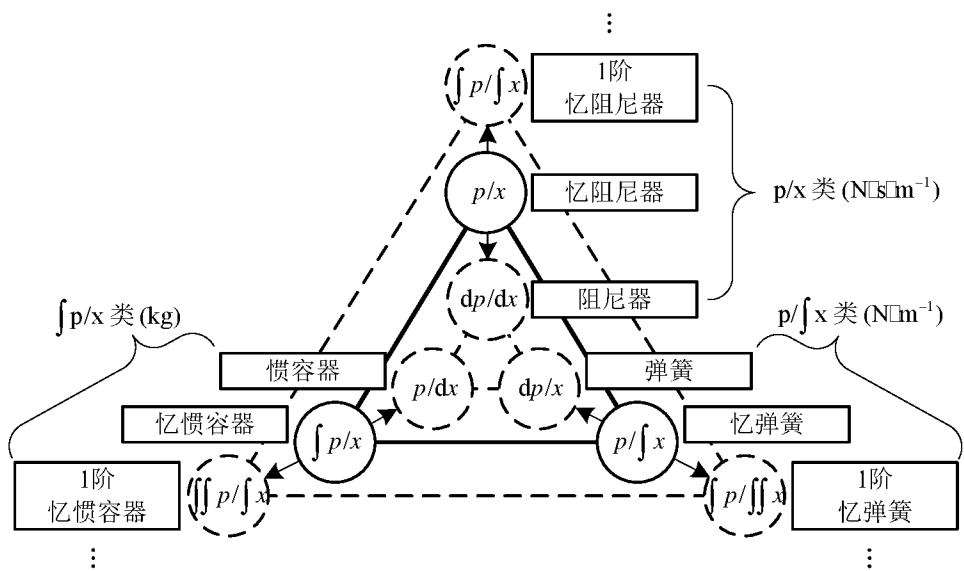


图 3

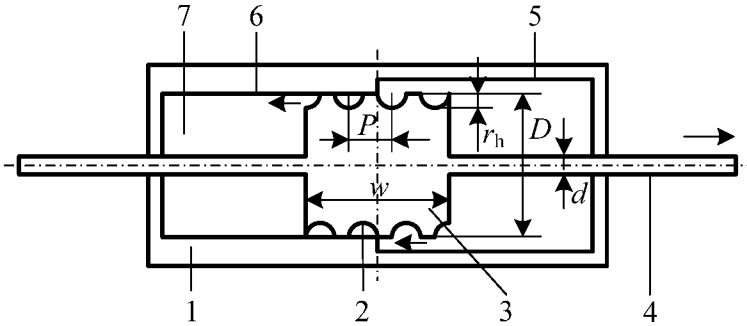


图 4

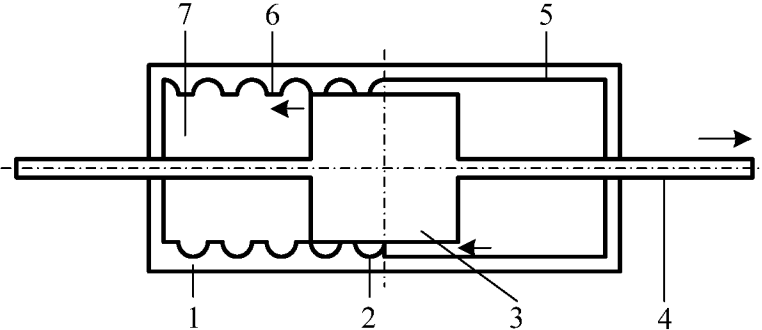
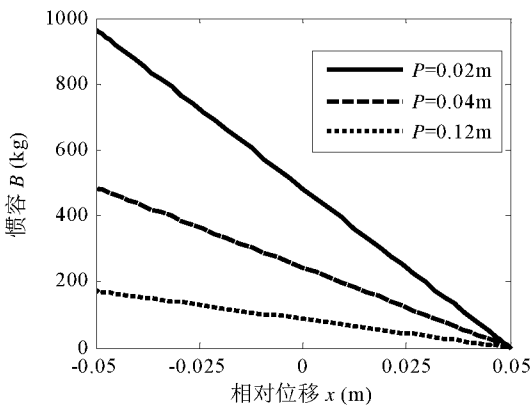
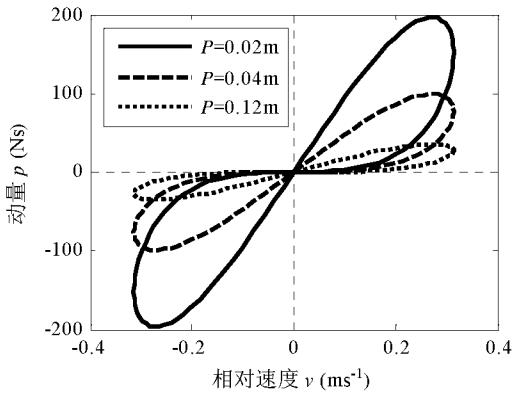


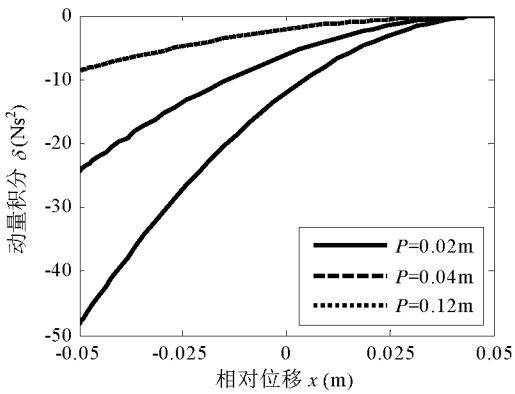
图 5



(a)



(b)



(c)

图 6

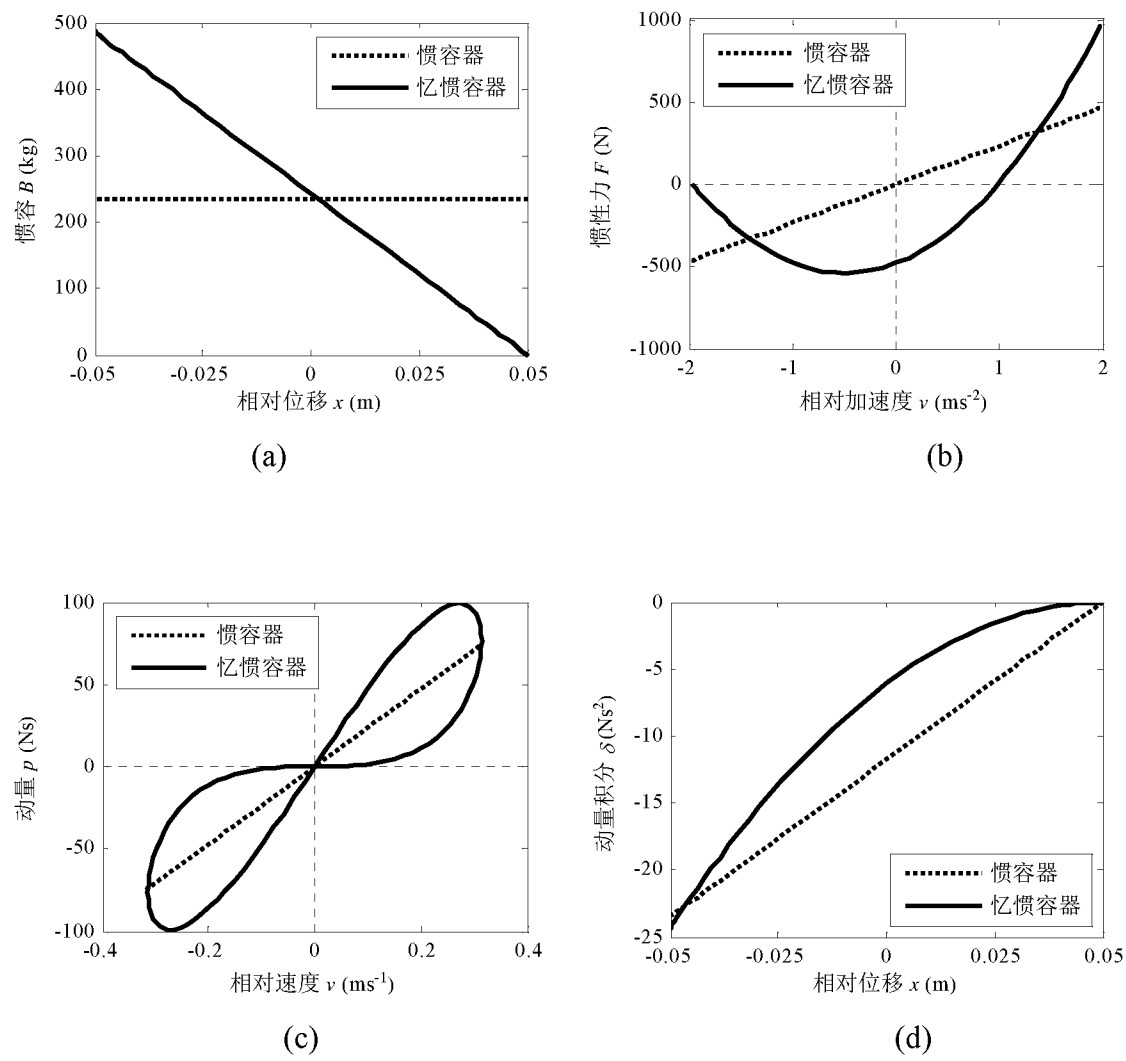


图 7

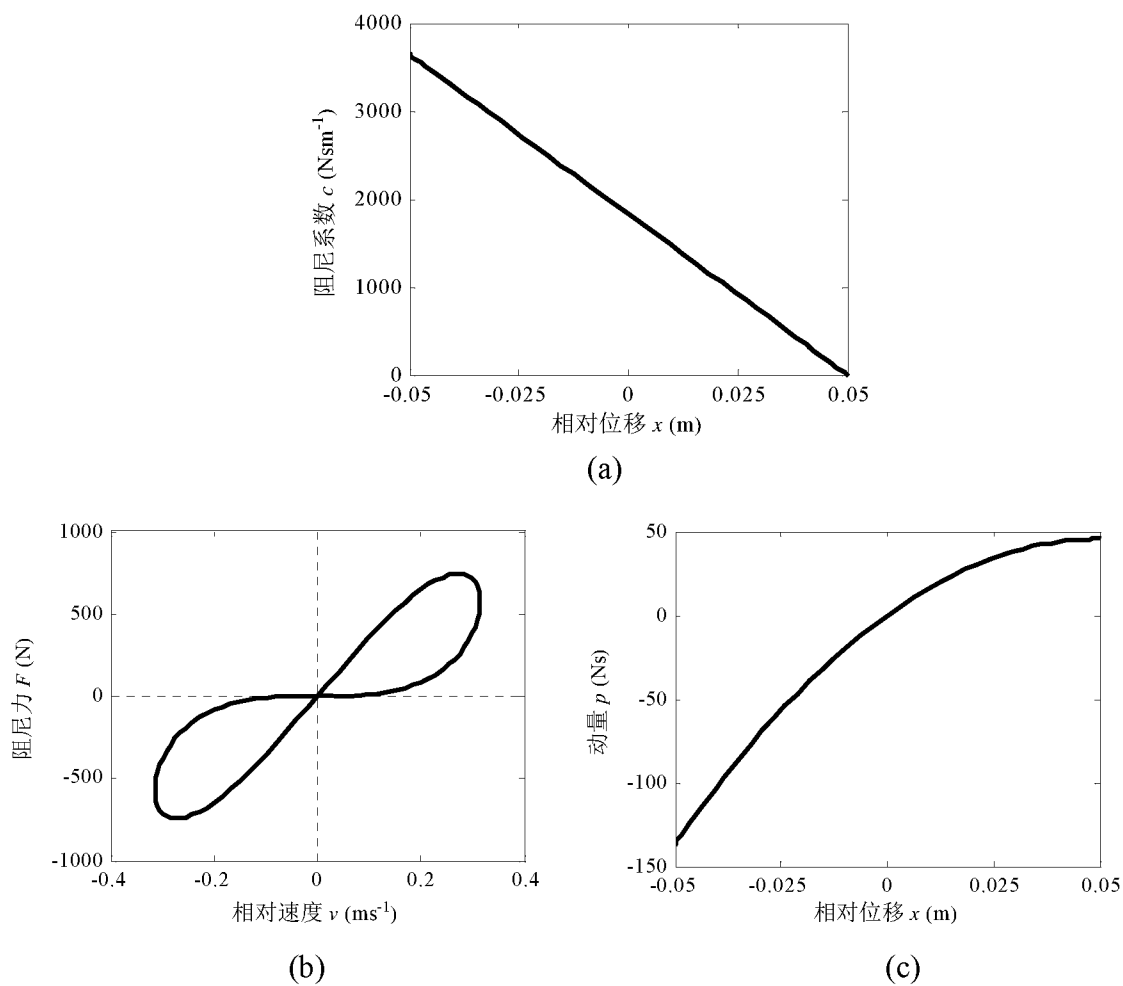


图 8

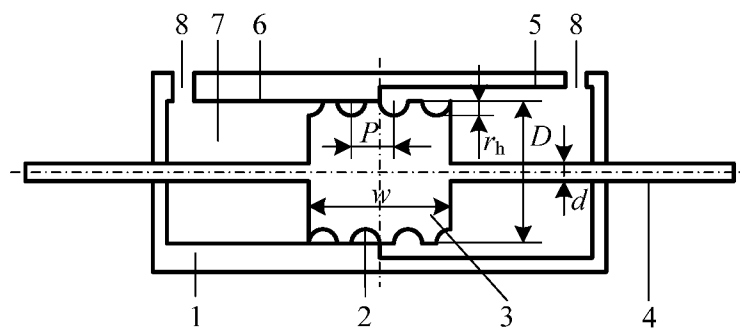


图 9

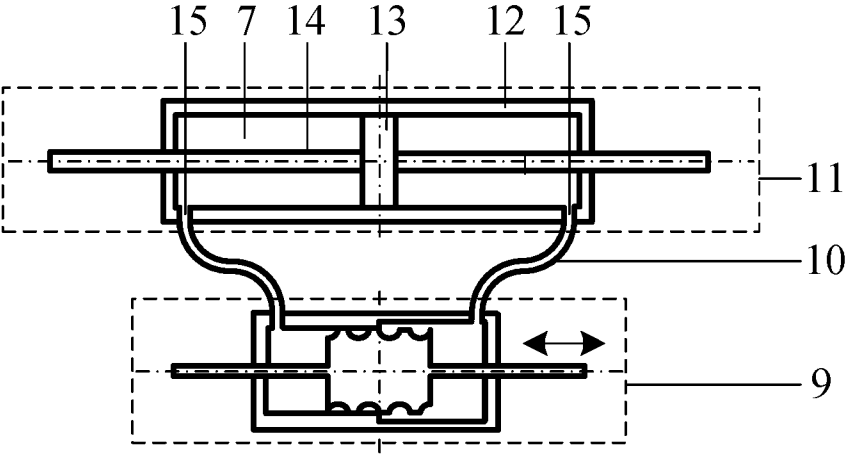


图 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2016/089855

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F16F 7/10(2006.01) i; F16F 9/34(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F16F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS; DWPI; EPODOC; CNKI:cylinder barrel, cavity, hysteresis loop, screw-nut, liquid, hydraulic, damp???, inert???, memory, memristor, heli???, hysteresis, screw

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 102933868 A (CAMBRIDGE UNIVERSITY TECHNICAL SERVICES LIMITED et al.), 13 February 2013 (13.02.2013), description, paragraphs 91-98, and figures 9-11	7, 8
A	CN 102933868 A (CAMBRIDGE UNIVERSITY TECHNICAL SERVICES LIMITED et al.), 13 February 2013 (13.02.2013), description, paragraphs 91-98, and figures 9-11	1-6, 9-14
A	CN 104494387 A (JIANGSU UNIVERSITY), 08 April 2015 (08.04.2015), the whole document	1-14
A	US 5018606 A (LORD CORP.), 28 May 1991 (28.05.1991), the whole document	1-14
A	US 5161653 A (HARE SR., N.S.), 10 November 1992 (10.11.1992), the whole document	1-14
A	EP 0382171 A1 (TOKAI RUBBER IND LTD.), 16 August 1990 (16.08.1990), the whole document	1-14

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&"document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 23August 2016 (23.08.2016)	Date of mailing of the international search report 14September 2016 (14.09.2016)
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer NIU, Ben Telephone No.:(86-10) 62085802

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2016/089855

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 102933868 A	13 February 2013	WO 2011095787 A9	03 November 2011
		EP 2531744 A1	12 December 2012
		CN 102933868 B	16 September 2015
		US 2013037362 A1	14 February 2013
		JP 5747045 B2	08 July 2015
		JP 2013519050 A	23 May 2013
		WO 2011095787 A1	11 August 2011
		US 2015167773 A1	18 June 2015
CN 104494387 A	08 April 2015	None	
US 5018606 A	28 May 1991	None	
US 5161653 A	10 November 1992	None	
EP 0382171 A1	16 August 1990	US 5000299 A	19 March 1991
		EP 0382171 B1	03 August 1994
		DE 69011148 D1	08 September 1994

A. 主题的分类 F16F 7/10(2006.01)i; F16F 9/34(2006.01)i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类																							
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) F16F 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) CNABS;DWPI;EPODOC;CNKI:液体, 惯容, 惯性, 忆阻器, 阻尼, 螺旋, 缸筒, 腔, 滞回环, 丝杠螺母, liquid, hydraulic, damp???, inert???, memory, memristor, heli???, hysteresis, screw																							
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>CN 102933868 A (剑桥企业有限公司 等) 2013年 2月 13日 (2013 - 02 - 13) 说明书的第91段至第98段, 图9-11</td> <td>7, 8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102933868 A (剑桥企业有限公司 等) 2013年 2月 13日 (2013 - 02 - 13) 说明书的第91段至第98段, 图9-11</td> <td>1-6, 9-14</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104494387 A (江苏大学) 2015年 4月 8日 (2015 - 04 - 08) 全文</td> <td>1-14</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 5018606 A (LORD CORP) 1991年 5月 28日 (1991 - 05 - 28) 全文</td> <td>1-14</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 5161653 A (HARE SR NICHOLAS S) 1992年 11月 10日 (1992 - 11 - 10) 全文</td> <td>1-14</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>EP 0382171 A1 (TOKAI RUBBER IND LTD) 1990年 8月 16日 (1990 - 08 - 16) 全文</td> <td>1-14</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	X	CN 102933868 A (剑桥企业有限公司 等) 2013年 2月 13日 (2013 - 02 - 13) 说明书的第91段至第98段, 图9-11	7, 8	A	CN 102933868 A (剑桥企业有限公司 等) 2013年 2月 13日 (2013 - 02 - 13) 说明书的第91段至第98段, 图9-11	1-6, 9-14	A	CN 104494387 A (江苏大学) 2015年 4月 8日 (2015 - 04 - 08) 全文	1-14	A	US 5018606 A (LORD CORP) 1991年 5月 28日 (1991 - 05 - 28) 全文	1-14	A	US 5161653 A (HARE SR NICHOLAS S) 1992年 11月 10日 (1992 - 11 - 10) 全文	1-14	A	EP 0382171 A1 (TOKAI RUBBER IND LTD) 1990年 8月 16日 (1990 - 08 - 16) 全文	1-14
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																					
X	CN 102933868 A (剑桥企业有限公司 等) 2013年 2月 13日 (2013 - 02 - 13) 说明书的第91段至第98段, 图9-11	7, 8																					
A	CN 102933868 A (剑桥企业有限公司 等) 2013年 2月 13日 (2013 - 02 - 13) 说明书的第91段至第98段, 图9-11	1-6, 9-14																					
A	CN 104494387 A (江苏大学) 2015年 4月 8日 (2015 - 04 - 08) 全文	1-14																					
A	US 5018606 A (LORD CORP) 1991年 5月 28日 (1991 - 05 - 28) 全文	1-14																					
A	US 5161653 A (HARE SR NICHOLAS S) 1992年 11月 10日 (1992 - 11 - 10) 全文	1-14																					
A	EP 0382171 A1 (TOKAI RUBBER IND LTD) 1990年 8月 16日 (1990 - 08 - 16) 全文	1-14																					
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																							
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																							
国际检索实际完成的日期 2016年 8月 23日		国际检索报告邮寄日期 2016年 9月 14日																					
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		授权官员 牛犇 电话号码 (86-10)62085802																					

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2016/089855

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	102933868	A	2013年 2月 13日	WO	2011095787	A9	2011年 11月 3日
				EP	2531744	A1	2012年 12月 12日
				CN	102933868	B	2015年 9月 16日
				US	2013037362	A1	2013年 2月 14日
				JP	5747045	B2	2015年 7月 8日
				JP	2013519050	A	2013年 5月 23日
				WO	2011095787	A1	2011年 8月 11日
				US	2015167773	A1	2015年 6月 18日
CN	104494387	A	2015年 4月 8日	无			
US	5018606	A	1991年 5月 28日	无			
US	5161653	A	1992年 11月 10日	无			
EP	0382171	A1	1990年 8月 16日	US	5000299	A	1991年 3月 19日
				EP	0382171	B1	1994年 8月 3日
				DE	69011148	D1	1994年 9月 8日