(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 103644238 A
(43)申请公布日 2014.03.19

(21)申请号 201310683316.0
(22)申请日 2009.06.02
(30)优先权数据
61/058,203 2008.06.02 US
(62)分案原申请数据
200980130231.1 2009.06.02
(71)申请人 洛德公司
地址 美国北卡罗来纳州
(72)发明人 J·大卫·卡尔森 马克·R·乔利
道格拉斯·E·艾弗斯
(74)专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理有限公司 11112
代理人 麦善勇 张天舒
(51)Int.Cl.
F16F 9/19(2006.01)
F16F 9/36(2006.01)
F16F 9/32(2006.01)
F16F 9/53(2006.01)
F16F 9/43(2006.01)

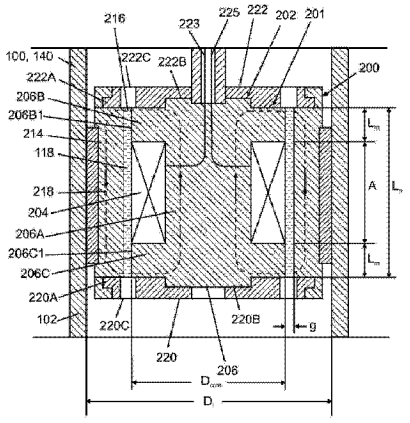
权利要求书2页 说明书15页 附图20页

(54)发明名称

具有增大的开启屈服强度的磁流变流体阻尼器

(57)摘要

一种具有增大的开启屈服强度的磁流变流体阻尼器。本发明公开一种磁流变流体阀，包括磁场发生器，具有至少一个电磁线圈(204)以及极长度为L_m的至少一个磁极。本磁流变流体阀进一步包括邻近电磁线圈的至少一个流动通道(118)。该至少一个流动通道的间隙宽度为g，其中，比率L_m/g大于或等于15。



CN 103644238 A

1. 一种磁流变流体阀，包括：

磁场发生器，具有至少一个电磁线圈以及极长度为 L_m 的至少一个磁极；以及

邻近所述电磁线圈的至少一个流动通道，所述至少一个流动通道的间隙宽度为 g，其中，比率 L_m/g 大于或等于 20。

2. 根据权利要求 1 所述的磁流变流体阀，进一步包括环绕所述磁场发生器的通量环，并且其中，所述至少一个流动通道限定在所述通量环与所述磁场发生器之间。

3. 根据权利要求 1 所述的磁流变流体阀，其中，所述间隙宽度 g 沿着所述至少一个流动通道的流动间隙长度不变。

4. 根据权利要求 1 所述的磁流变流体阀，其中，所述至少一个流动通道的形状是环形的。

5. 根据权利要求 2 所述的磁流变流体阀，进一步包括限定在所述磁场发生器与所述通量环之间的至少一个额外的流动通道，所述至少一个额外的流动通道的间隙宽度为 g_1，其中，比率 L_m/g_1 大于或等于 20。

6. 根据权利要求 5 所述的磁流变流体阀，进一步包括设置在所述磁场发生器与所述通量环之间的分流器，所述分流器在所述磁场发生器与所述通量环之间限定所述至少一个流动通道和所述至少一个额外的流动通道。

7. 根据权利要求 6 所述的磁流变流体阀，其中，所述至少一个分流器的径向厚度等于或小于所述通量环的径向厚度的 1/2。

8. 根据权利要求 6 所述的磁流变流体阀，其中，所述至少一个分流器在第一磁可渗透部与第二磁可渗透部之间包括无磁性部。

9. 根据权利要求 8 所述的磁流变流体阀，其中，所述磁场发生器具有至少两个隔开的磁极，并且其中，所述无磁性部的轴向长度小于所述至少两个隔开的磁极之间的极间隔与所述至少一个流动通道和所述至少一个额外的流动通道的间隙宽度 g 和 g_1 的平均值的两倍之间的差值。

10. 根据权利要求 6 所述的磁流变流体阀，其中，所述至少一个分流器在其中部中设置有凹槽，并且进一步包括设置在所述凹槽中的无磁性材料。

11. 根据权利要求 10 所述的磁流变流体阀，其中，所述磁场发生器具有至少两个隔开的磁极，并且其中，所述凹槽的轴向长度小于所述至少两个磁极之间的极间隔与所述至少一个流动通道和所述至少一个额外的流动通道的间隙宽度 g 和 g_1 的平均值的两倍之间的差值。

12. 根据权利要求 1 所述的磁流变流体阀，其中，磁场发生器进一步包括磁可渗透磁芯，所述磁可渗透磁芯具有同心间隔布置的内磁芯部和外磁芯部，并且其中，所述电磁线圈包含在所述外磁芯部中。

13. 根据权利要求 12 所述的磁流变流体阀，进一步包括限定在所述内磁芯部与所述外磁芯部之间的至少一个额外的流动通道，所述至少一个额外的流动通道的间隙宽度为 g_1，其中，比率 L_m/g_1 大于或等于 20。

14. 根据权利要求 13 所述的磁流变流体阀，其中，所述至少一个额外的流动通道与所述至少一个流动通道是同心的。

15. 根据权利要求 1 所述的磁流变流体阀，其中，所述电磁线圈偏离所述磁场发生器的

邻近所述至少一个流动通道的表面。

16. 根据权利要求 2 所述的磁流变流体阀，其中，所述磁场发生器接合至所述通量环。

17. 根据权利要求 1 所述的磁流变流体阀，其中，所述磁场发生器包括一堆板，每块所述板都由磁可渗透材料制成，并且其中，所述电磁线圈设置在形成于至少一块所述板中的凹槽中。

18. 根据权利要求 17 所述的磁流变流体阀，其中，所述至少一个流动通道由形成在所述板中的多个狭缝提供。

19. 一种磁流变流体阻尼器，包括：

阻尼器壳体，具有用于容纳磁流变流体的内腔；以及

活塞组件，设置在所述阻尼器壳体内，所述活塞组件包括磁流变流体阀，所述磁流变流体阀包括：磁场发生器，具有至少一个电磁线圈以及极长度为 L_m 的至少一个磁极；以及至少一个流动通道，邻近所述至少一个电磁线圈，所述至少一个流动通道的间隙宽度为 g，并且比率 L_m/g 大于或等于 20。

20. 根据权利要求 19 所述的磁流变流体阻尼器，进一步包括限定在所述阻尼器壳体内的储存器。

21. 根据权利要求 19 所述的磁流变流体阻尼器，进一步包括位于所述阻尼器壳体外的储存器以及提供该外储存器与所述阻尼器壳体的内部之间的连通的管道。

22. 根据权利要求 19 所述的磁流变流体阻尼器，进一步包括接合至所述活塞的活塞杆。

23. 根据权利要求 22 所述的磁流变流体阻尼器，进一步包括设置在所述阻尼器壳体内的活塞杆导向件，所述活塞杆导向件中具有用于接收所述活塞杆的通道。

24. 根据权利要求 23 所述的磁流变流体阻尼器，其中，所述活塞杆导向件包括活塞杆轴承组件，以接合所述活塞杆并支持所述活塞杆的往复运动。

25. 根据权利要求 23 所述的磁流变流体阻尼器，其中，所述活塞杆导向件包括储存器。

26. 根据权利要求 23 所述的磁流变流体阻尼器，其中，所述活塞杆导向件设置有室并包括设置在所述室中以用于将粒子从来自所述阻尼器壳体的内腔并容纳在所述室中的磁流变流体滤出的过滤器。

具有增大的开启屈服强度的磁流变流体阻尼器

[0001] 本申请是申请号为 200980130231.1、申请日为 2009 年 6 月 2 日、发明名称为“具有增大的开启屈服强度的磁流变流体阻尼器”的专利申请的分案申请。

[0002] 交叉参考

[0003] 本申请要求 2008 年 6 月 2 日提交的临时申请 No.61/058203 的权益，其公开内容通过引证结合于此。

技术领域

[0004] 本发明总体上涉及可控流体阀及装置的领域。更具体地，本发明涉及一种可控磁流变流体阻尼器装置。

背景技术

[0005] 磁流变(MR)流体阻尼器装置典型地包括装有 MR 流体的气缸以及布置成在该气缸内做往复运动的活塞组件。活塞组件在气缸内限定两个室，并包括用于控制 MR 流体在这两个室之间的流动的 MR 流体阀装置。MR 流体阀装置典型地包括通向两个室中的 MR 流体的流动通道以及用于向该流动通道中的 MR 流体施加磁场的磁场发生器。当流动通道中的 MR 流体暴露于施加的磁场时，MR 流体的表观粘度增大，导致穿过活塞组件的压差增大，也被认为是阻尼力的增大。压差或阻尼力随着磁场的强度增大而增大。MR 流体阻尼器装置被认为是当向流动通道中的 MR 流体施加磁场时处于开启状态 (on-state，或接通状态)，并且当不向流动通道中的 MR 流体施加磁场时处于关闭状态 (off-state，或断开状态)。

[0006] 需要一种在处于关闭状态时呈现低的阻尼力同时在处于开启状态时实现更高的阻尼力的 MR 流体阻尼器装置，当阻尼器装置在高阻尼器速度下工作时尤其如此。

发明内容

[0007] 在一个实施方式中，本发明包括一种磁流变流体阀。本磁流变流体阀优选地包括磁场发生器，该磁场发生器具有至少一个电磁线圈以及极长度 (pole length) 为 L_m 的至少一个磁极。本磁流变流体阀优选地包括邻近电磁线圈的至少一个流动通道，该至少一个流动通道的间隙宽度为 g，并且比率 L_m/g 优选地大于或等于 15。

[0008] 在另一实施方式中，本发明包括一种磁流变流体阻尼器。本磁流变流体阻尼器优选地包括阻尼器壳体，该阻尼器壳体具有用于容纳磁流变流体的内腔。本磁流变流体阻尼器优选地包括将阻尼器壳体内腔分成第一阻尼器壳体内腔室和第二阻尼器壳体内腔室的活塞组件。该活塞组件优选地包括磁流变流体阀，该磁流变流体阀具有：磁场发生器，具有至少第一磁极，该至少第一磁极的极长度为 L_m；以及至少第一流动通道，邻近磁场发生器，该至少第一流动通道的间隙宽度为 g，其中，比率 L_m/g 优选地大于或等于 15。阻尼器壳体内腔优选地设置有磁流变流体磁铁粒子总体积百分数低于 30% 的磁流变阻尼器流体，其中，磁流变流体磁铁粒子总体积百分数低于 30% 的磁流变阻尼器流体在 L_m/g 的优选比率下可控地流过至少第一流动通道，以控制活塞组件相对于阻尼器壳体的运动。

[0009] 在另一实施方式中，本发明包括一种磁流变流体阻尼器。本磁流变流体阻尼器优选地包括阻尼器壳体，该阻尼器壳体具有用于容纳磁流变流体的内腔。本磁流变流体阻尼器优选地包括放置在阻尼器壳体内的活塞组件。该活塞组件优选地包括磁流变流体阀，该磁流变流体阀包括：磁场发生器，具有至少一个电磁线圈以及极长度为 L_m 的至少一个磁极；以及至少一个第一流动通道，邻近至少一个电磁线圈，该至少一个流动通道的间隙宽度为 g，并且比率 L_m/g 优选地大于或等于 15。

[0010] 在另一实施方式中，本发明包括一种制造磁流变流体阻尼器的方法。本制造磁流变流体阻尼器的方法优选地包括提供具有用于容纳磁流变流体的内腔的阻尼器壳体。本制造磁流变流体阻尼器的方法优选地包括提供用于将阻尼器壳体内腔分成第一阻尼器壳体内腔室和第二阻尼器壳体内腔室的活塞组件。该活塞组件优选地包括磁流变阀，该磁流变阀具有：磁场发生器，具有至少第一磁极，该至少第一磁极的极长度为 L_m；以及至少第一流动通道，邻近磁场发生器，该至少第一流动通道的间隙宽度为 g，其中，比率 L_m/g 优选地大于或等于 15。本制造磁流变流体阻尼器的方法优选地包括提供磁流变流体的磁铁粒子总体积百分数低于 30% 的磁流变阻尼器流体。本制造磁流变流体阻尼器的方法优选地包括将活塞组件和磁流变流体阻尼器流体放置在阻尼器壳体中，其中，磁流变流体的磁铁粒子总体积百分数低于 30% 的磁流变阻尼器流体在 L_m/g 的优选比率下可控地流过至少第一流动通道，以控制活塞组件相对于阻尼器壳体的运动。

[0011] 应理解，上述概要和以下详细描述都是本发明的示例，并且旨在提供用于理解如所要求保护的本发明的性质和特性的概述或构架。

附图说明

[0012] 下面所描述的附图示出了本发明的各种典型实施方式，而不应被看作是对本发明的范围的限制，因为本发明可允许具有其他效果相当的实施方式。附图提供了对本发明的进一步理解，并结合到本说明书中且构成本说明书的一部分。无需改变图片的尺寸，并且为了清楚和简明，图片中的某些特征和某些视图的尺寸或图表可放大示出。

[0013] 图 1 是以流动模式工作且包括内储存器的磁流变流体阻尼器装置的横截面。

[0014] 图 2A 是以流动模式工作且包括外储存器的磁流变流体阻尼器装置的横截面。

[0015] 图 2B 是沿着包括活塞杆导向件的磁流变流体阻尼器装置的一部分的图 2A 的线 2B 的放大图。

[0016] 图 2C 是包括具有内储存器的活塞杆导向件的磁流变流体阻尼器装置的一段的横截面。

[0017] 图 3 是包括具有磁流变流体阀的活塞组件的磁流变流体阻尼器装置的一段的横截面。

[0018] 图 4 是包括带有磁流变流体阀的活塞组件的磁流变流体阻尼器装置的一段的横截面，该磁流变流体阀具有单个流动通道。

[0019] 图 5 是沿着包括带有磁流变流体阀的活塞组件的磁流变流体阻尼器装置一部分的图 2A 的线 5 的放大图，该磁流变流体阀具有多个流动通道。

[0020] 图 6 是具有磁流变流体阀的活塞组件的压力与流动速率的图表，其中，三个同心的流动通道在较低的流动速率和较低的压力下工作。

[0021] 图 7 是具有磁流变流体阀的活塞组件的压力与流动速率的图表，其中，三个同心的流动通道在比图 6 的流动速率大的流动速率下工作。

[0022] 图 8 是具有磁流变流体阀的活塞组件的压力与流动速率的图表，其中，三个同心的流动通道在比图 7 的流动速率大的流动速率下工作。

[0023] 图 9 是对于具有较大 L_m/g 的具有磁流变流体阀的活塞组件的屈服应力与磁场强度的图表。

[0024] 图 10 是用于测量磁流变流体阀中的屈服强度的流动模式流变计的透视图。

[0025] 图 11 是为磁流变流体阀中的磁流变流体的铁粒子体积分数的函数的屈服应力的图表，其中，L_m/g 为 25 并且 L_m/g 为 50。

[0026] 图 12 是为对磁流变流体阀中铁粒子体积分数施加的磁场的函数的屈服应力的图表，其中，磁流变流体阀中装有的磁流变流体的体积在 15% 至 40% 的范围内，并且 L_m/g 为 25。

[0027] 图 13 是关于本发明的实施方式和现有的磁流变流体阻尼器装置的屈服增强区域图。

[0028] 图 14 是用于双通道磁流变流体阀的测量到的和模型预测的性能数据，其中，L_m/g 为 23.7。

[0029] 图 15 是用于磁流变流体阀的三件式分流器的横截面图。

[0030] 图 16 是用于磁流变流体阀的一件式分流器的横截面图。

[0031] 图 17 描绘了在剪切模式下工作的磁流变流体阻尼器装置。

[0032] 图 18A 是沿着线 18A-18A 的图 18C 的横截面。

[0033] 图 18B 是 18A 的横截面的透视图。

[0034] 图 18C 是具有磁流变流体阀的活塞组件的俯视图，其中，两个流动通道之间布置有电磁线圈。

[0035] 图 19A 是包括活塞组件的磁流变流体阻尼器装置的一段的俯视图，该活塞组件由堆叠的磁渗透板制成。

[0036] 图 19B 是沿着线 19B-19B 的图 19A 的横截面。

[0037] 图 20A 是包括具有磁流变流体阀的活塞组件的磁流变流体阻尼器装置的一段的横截面，该磁流变流体阀具有用于合并来自多个通道的流体的室。

[0038] 图 20B 是包括具有磁流变流体阀的活塞组件的磁流变流体阻尼器装置的一段的横截面，该磁流变流体阀具有用于合并来自多个通道的流体的室。

[0039] 图 21A 是在流动模式下工作并包括具有双线圈的活塞组件的磁流变流体阻尼器装置的一段的横截面。

[0040] 图 21B 是部分地在剪切模式下工作并包括具有双线圈的活塞组件的磁流变流体阻尼器装置的一段的横截面。

具体实施方式

[0041] 现在将参照如附图中所示的几个优选实施方式对本发明进行详细说明。在说明这些优选实施方式时，为了提供对本发明的彻底理解，阐述了大量具体细节。然而，对本领域技术人员而言显而易见的是，缺少一些或全部这些具体细节，本发明仍可以实施。在其他情况下，没有详细说明众所周知的特征和 / 或处理步骤，从而使得不会不必要地混淆本发明。

另外，使用相似或相同的参考标记来表示共有或相似的元件。

[0042] 图 1 示意性地绘出了在流体模式下操作的磁流变（MR）液体阻尼器装置 100。MR 液体阻尼器装置 100 包括阻尼器壳体 102。阻尼器壳体 102 一般为柱状外形并且具有封闭的第一远端 104 和设置有孔 108 的第二远端 106。阻尼器壳体 102 设置有其中布置有活塞组件 200 的内腔 110。活塞组件 200 将内腔 110 细分为第一室 114 和第二室 116。第一室 114 和第二室 116 中的每个都可以含有 MR 流体 118。活塞组件 200 沿着阻尼器壳体 102 的纵轴往复运动并且在流体室 114 和流体室 116 中产生相应的压差。上述压差可以由于施加于活塞杆 124 与阻尼器壳体 102 之间的外部刺激力而存在。可以在活塞组件 200 上安装一个或更多由无摩擦金属制成的耐磨带 120 以支撑活塞组件 200 在内腔 110 内的往复运动。耐磨带 120 接合阻尼器壳体 102 的内壁并且也可以提供活塞组件 200 与阻尼器壳体 102 之间的流体密封。活塞组件 200 包括用于响应于来自 MR 液体阻尼器装置 100 的外部的刺激控制室 114 与室 116 之间的 MR 流体 118 的流动的 MR 流体阀。可以通过活塞杆 124 接收这样的刺激，活塞杆 124 设置有与活塞组件 200 连接的一端 126 和用于连接需要控制或运动阻尼的例如车辆座椅或底盘的结构（未图示）的另一端 128。活塞杆 124 穿过孔 108 延伸并且能够相对于阻尼器壳体 102 轴向地滑动。在孔 108 与阻尼器壳体 102 之间可以设置有密封件 130 以控制流体从内腔 110 泄漏。

[0043] MR 液体阻尼器装置 100 还可以包括阻尼器壳体 102 的内腔 110 内的储存器 132。可替换的，如下面将要说明的，可以将该储存器置于阻尼器壳体 102 外部或与活塞杆导承（或活塞杆导向件）成为一体。储存器 132 可以用作使容纳在阻尼器壳体 102 内的 MR 流体 118 中的瞬压最小化，从而使阻尼器壳体 102 内气穴现象（cavitation）或负压的风险最小化。在图 1 所示的实施方式中，储存器 132 被设为内腔 110 内的充气室 132 并且与 MR 流体室 114 相邻。在充气室 132 与 MR 流体室 114 之间可以设置有浮动活塞 134。浮动活塞 134 可以根据室 114 与室 132 间的压力差在内腔 110 内轴向往复移动。在浮动活塞 134 上安装有密封元件 136 以在浮动活塞 134 与阻尼器壳体 102 间进行密封，从而防止室 114 和室 132 中的流体混合。在可替代的实施方式中，可以使用隔板或其他适合的分隔件代替浮动活塞 134。充气室 132 可以通过注入阀 138 充入气体。充注气体可以是例如氮气的惰性气体。在可替代的实施方式中，可以在 MR 液体阻尼器 100 的内腔 110 内使用例如囊式储存器的其它形式的储存器。

[0044] 图 2A 示出了储存器 133 优选地置于阻尼器壳体 102 的外部的 MR 液体阻尼器装置 100 的优选实施方式。在本优选实施方式中，外部阻尼器底座安装式储存器 133 包括流体室 135 和流体室 137 以及设置于流体室 135 和流体室 137 之间的浮动活塞 134。浮动活塞 134 可以装有密封元件 141 以提供浮动活塞 134 与储存器 133 的内壁之间的密封，从而将流体室 135 和流体室 137 彼此隔离。外部阻尼器底座安装式储存器 133 内的流体室 135 与阻尼器壳体 102 内部的 MR 流体室 114 通过阻尼器底座常规流动管道 139 连接。外部阻尼器底座安装式储存器 133 优选为通过阻尼器端的底座 131、通过为 MR 流体提供通过阻尼器端底座 131 的弯曲的常规变向流动通道的阻尼器底座常规流动导管 139 而安装，该 MR 流体通过阻尼器底座常规流动管道 139 从阻尼器壳体 102 朝外流动进入外部阻尼器底座安装式储存器 133，随后从外部阻尼器底座安装式储存器 133 朝内流回阻尼器壳体 102 内部。储存器 133 的室 137 优选为是充气室。外部阻尼器底座安装式储存器的浮动活塞 134 优选为在

储存器 133 内以与活塞组件 200 和活塞杆 124 的运动方向相反的方向轴向往复移动。在图 2A 中，阻尼器壳体 102 的远端 104 安装于连接至活塞杆 124 的连接元件 129 内。连接元件 129 能够用于将活塞杆 124 与如前面提到的需要控制或运动阻尼的结构相连接。在优选实施方式中，阻尼器壳体 102 不包括储存器，其内部没有储存器，而是阻尼器装置优选地包括外部储存器，优选外部阻尼器底座安装式储存器。

[0045] 图 2A 示出了具有活塞杆导承 142 的优选实施方式的 MR 流体阻尼器装置 100 的优选实施方式。图 2B 是活塞杆导承 142 的优选实施方式的放大图。在图 2B 中，活塞杆导承 142 固定于阻尼器壳体 102 的远端 104 处，阻尼器壳体 102 安装有这样的活塞杆导承 142：该活塞杆导承 142 包含用于容纳活塞杆 124 的通道 127。活塞杆导承 142 包括以任何适合的方法固定于阻尼器壳体 102 的导向体 143。在图 2B 中所示的实施方式中，固定体 143 通过螺纹连接 143 固定于阻尼器壳体 102 的内壁，并且在固定体 143 的外表面上设置有密封件 145 以在固定体 143 与阻尼器壳体 102 的内壁间进行密封。固定体 143 包括内部装有过滤器 149 的环形室 146。过滤器 149 设置有内部装有轴承 150 的袋形腔从而使得轴承 150 位于过滤器 149 与活塞杆 124 之间，从而接合并支撑活塞杆 124 的往复运动。过滤器 149 通过端板 151 保持在环形室 146 中，该端板具有室 116 中的 MR 流体能够到达过滤器 149 所经过的流体流动端口。在过滤器 149 与活塞杆 124 之间设置有杆密封件 152 以在过滤器 149 与活塞杆 124 之间进行密封。过滤器 149 过滤并滤出从流体室 116 进入环形室 146 的 MR 流体 118 中的磁化粒子。过滤器 149 优选由多孔、无磁性、耐腐蚀的金属制成。在优选实施方式中，过滤器 149 具有 250mm 以下的细孔尺寸并且由不锈钢制成。优选地，过滤器 149 包括：纵向沿活塞杆 124 轴向延伸的烧结不锈钢轴向延伸过滤器元件、容纳密封件 152 的密封腔，以及用于容纳轴承 150 的轴承腔。固定体 143 包括其中装有第二外侧杆密封件 153 的第二外侧腔室。杆密封件 153 提供固定体 143 与活塞杆 124 间位于过滤器 149 上方的外侧位置处的的密封。固定体 143 还包括其中装有擦拭器 154 的另一外侧第三腔室。随着活塞杆 124 移进移出孔 108，擦拭器将活塞杆 124 擦拭干净。杆密封件 152、153 和擦拭器 154 优选地由例如弹性材料的密封材料制成。

[0046] 在如图 2C 中所示的不同的实施方式，活塞杆导承 173 的导向体 170 变形为包括外部腔室 155。外部腔室 155 上装有隔板 157 并且当活塞杆导承 173 固定于阻尼器壳体 102 的远端的合适的位置处时邻近阻尼器壳体 102 的内壁布置隔板 157。隔板 157 和外部腔室 155 限定了作为内部储存器 159 的气体体积。可以通过阻尼器壳体 102 的壁上的汽门(未图示)向储存器 159 充入例如氮气的惰性气体。隔板 157 通过位于阻尼器壳体 102 的内壁与活塞杆导承 173 的外部间的空隙 169 与室 116 内的流体接触。隔板 157 根据室 116 中的瞬压受压或膨胀。设置有储存器 159 的活塞杆导承 173 提供了邻近 MR 流体阻尼器装置的内部的活塞杆入口的内部储存器。

[0047] 图 3 示意性地绘出了可以包含在 MR 流体阻尼器装置中的典型活塞组件 200 的横截面。活塞组件 200 具有普通圆柱形状。设在活塞组件 200 中的 MR 流体阀 201 包括磁场发生器 202。一般来说，术语“磁场发生器”可以被理解为意指设置有用于产生在其开启状态下强度控制可变的可控磁场的一个或更多电磁(EM)线圈以及邻近 EM 线圈的磁极的任何结构或结构组件。“磁极”是载有磁通量的结构。在图 3 的实施方式中，磁场发生器 202 包括围绕在由例如低碳钢或其它磁渗透铁磁材料的磁渗透材料制成的磁芯 206 周围的 EM 线圈

(例如,磁导线)。总的来说,决定磁芯 206 中和活塞组件 200 的其它构件中的磁渗透材料的特性及其变化的一些因素为磁导率、饱和度、矫磁力以及顽磁(或剩磁)。更高的磁导率和饱和度是期望的,同时更低的矫磁力和顽磁是期望的。在 MR 流体阻尼器中使用磁渗透材料的情况下,磁渗透材料的相对磁导率优选为远大于容纳于阻尼器内的 MR 流体的相对磁导率。优选地,磁渗透材料的相对磁导率至少大于 MR 流体的磁导率的 100 倍,优选为至少 200 倍,更优选为至少 1000 倍。

[0048] 磁芯 206 具有中心部 206A 和位于中心部 206A 的相对两端的呈现为凸缘的极部(或极片)206B、206C。极部 206B、206C 中的每一者设置有极长度为 L_m 的磁极。将极部 206B 与极部 206C 之间的间隔指定为极间隔 A。在一些替代实施方式中,磁极可能不是与磁芯 206 形成一体的,而是通过其他位于磁芯 206 上方和下方的磁渗透结构进行设置。中心部 206A 可以为柱形。EM 线圈 204 围绕中心部 206A 缠绕 N 圈。EM 线圈 204 可以缠绕在布置于中心部 206A 中的凹槽内的绕线轴上。EM 线圈 204 被设置在极部 206B 与极部 206C 之间。磁芯 206 可以包括通道(未图示),它使得外部导线 223、225 可以连接至 EM 线圈 204。EM 线圈 204 可以被设置在中心部 206A 上使得其与极部 206B、极部 206C 的外表面 206B1、206C1 齐平。可以使用例如环氧树脂等的非磁性材料来确保 EM 线圈 204 位于中心部 206A 上的合适位置。也可以用非磁性材料填充 EM 线圈 204 间的任何空间,从而防止流体进入 EM 线圈 204 之间。可替代地,如图 4 中所示,EM 线圈 204 可以不用分别与极部 206B、极部 206C 的外表面 206B、206C 齐平(而是可以相对凹入)。可以靠近 EM 线圈 204 设置垫片 212,从而产生磁间断将通过极部 206B、206C 提供的磁极分隔开。垫片 212 可以由例如铝或塑料等的非磁性材料或具有非常低的磁导率的材料制成。

[0049] 回到图 3,设置在活塞组件 200 内的 MR 流体阀 201 还包括环绕磁场发生器 202 的通量环 214。通量环 214 的横截面为典型地圆形,但也可以使用例如正方形或六边形等的其他横截面形状。通量环 214 由例如关于磁芯 206 的上文中所述的磁渗透材料制成。在优选实施方式中,通量环 214 与磁场发生器 202 同心且与磁场发生器 202 径向间隔布置。MR 流体阀 201 还包括限定在磁场发生器 202 与通量环 214 之间的流动通道 216。流动通道 216 可以为环形且与磁场发生器 202 同心。在图 3 中所示的示例中,通量环 214 的长度与磁场发生器 202 的长度(Lp)基本相同。例如使用端板 220、端板 222 使通量环 214 与磁场发生器 202 连接。端板 220、端板 222 包括分别与通量环 214 中的凹槽接合的凸出部 220A、凸出部 222A。端板 220、端板 222 还包括分别与磁芯 206 上的突脊接合的凹槽 220B、凹槽 222B。优选地,端板 220、端板 222 包括与流动通道 216 相对齐的孔 220C、222C。优选地,位于孔 220C、222C 处的尖锐边远离流动通道 216 以避免在流动通道 216 的远端处产生流动干扰。使用端板 220、222 将磁场发生器 202 连接至通量环 214 的替代方式是在通量环 214 的远端与磁芯 206 间形成连接肋条(未图示)。

[0050] 当在 MR 流体阻尼器 100、140 中设置有活塞组件 200 时,MR 流体阻尼器中的 MR 流体 118 充满流动通道 216。所述 MR 流体为微米级可磁化颗粒的非胶质悬浮液,优选为铁粒子。通过电线 223、225 向 EM 线圈 214 提供电流以使 EM 线圈 204 通电并产生穿过流动通道 216 中的 MR 流体施加的磁场。磁通量 218 优选地在通过磁芯 206,穿过流动通道 216 的路径中移动,优选为通过通量环 214,穿过流动通道 216 并通过磁芯 206。磁通量 218(用虚线和箭头示出)优选为与极部 206B、206C 垂直。当向流动通道 216 施加磁场时,流动通道 216

中的MR流体的表观粘度增大，提供可控磁场开启状态。通过改变开启的磁场的强度可以控制流动通道216中的MR流体的屈服强度。MR流体阻尼器(图1中的100或图2中的140)在流动模式中工作，这意味着限定流动通道216的表面相对于垂直的磁场和流动通道216中的轴向流动保持静止不动。优选地，极部206B、206C的表面和通量环214的朝向流动通道216的表面是光滑的以使惯性及过渡效应最小化。

[0051] 流动通道216具有沿磁通量218穿过流动通道216流动的方向测量的间隙宽度g。优选地，流动通道216的间隙宽度g沿着流动通道216的流动间隙长度不变或基本不变。如稍后将要说明的，当L_m/g较大时，MR流体阻尼器可获得增强的开启状态屈服强度。这里的较大是指L_m/g大于或等于15。更加优选地，L_m/g大于或等于20。最优选地，L_m/g大于或等于25。在其它的优选实施方式中，L_m/g在从20至50的范围内。对于图3中所绘的活塞组件几何体来说，通过增大L_m或减小g使L_m/g更大。然而，增大L_m导致了不希望的活塞组件的总长以及在磁芯206和通量环204中的磁饱和。为了避免磁饱和，必须增加磁芯206的直径D_{core}和阻尼器壳体102的厚度t_{wall}。这会导致大的阻尼器。减小g会迅速导致不能接受的高的关闭状态力。

[0052] 通过使用N个具有间隙宽度g_i的流动通道(i的范围从1至N，且N>1)，是使L_m/g变大而又不显著增大MR流体阻尼器的尺寸的优选方式。在此种情况下，各流动通道i的L_m/g都较大。对于0.5mm的间隙宽度和25的L_m/g值，L_m约为12.5mm。对于包括具有分别都为0.5mm的间隙宽度g_1、g_2的两条流动通道的系统，总共1.0mm的总间隙宽度对MR流体室之间的流体流动来说是可用的。对于包括一条流体通道的系统，为了获得1mm的间隙宽度和25的L_m/g值，L_m必须为25mm，即为包括两条流动通道的系统所需的L_m的两倍。这个例子说明了通过使用多个流动通道能够获得具有增强的开启状态屈服强度的紧凑型阻尼器。如前所讨论的，增强的开启状态屈服强度是通过使L_m/g变大而获得的。这里的大，指的是L_m/g大于或等于15。更优选地，L_m/g为大于或等于20。最优选地，L_m/g大于或等于25。在其它优选实施方式中，L_m/g的范围从20至50。

[0053] 图5示出了包括多个流动通道的活塞组件200的优选实施方式。为了形成优选的多个流动通道，在磁场发生器202与通量环214之间设置有流量分流器230从而限定位于磁场发生器202与通量环214之间的两个流动通道232、234。端板220、222可以包括用于将流量分流器230连接至通量环214和磁场发生器202的磁芯206的零件。在优选实施方式中，分流器230为环状并与磁场发生器202和通量环214同心。这就导致了与磁场发生器202和通量环214同心的环形流动通道232、234。如果需要多于两个的流动通道，附加的分流器能够被设置在磁场发生器202与通量环214之间。一般来说，限定N个流动通道需要N-1个分流器，这里N>0。流动通道232具有间隙宽度g_1，流动通道234具有间隙宽度g_2。一般来说，形成在磁场发生器202与圆柱体204之间的各流动通道可以具有间隙宽度g_i，这里i的范围为从1至N，N是流动通道的数量。流动通道可以具有相同的或不同的间隙宽度。为了增强开启状态屈服强度，L_m/g_i较大，如上所述，这里i的范围从1至N，N是流动通道的数量。应该注意的是，L_m/g_i是基于各流动通道计算的。

[0054] 如果活塞组件200包括多个具有相同间隙宽度$g_i=g$的环形流动通道，并且在流动通道中的磁场相等，当布置在MR流体阻尼器内时活塞组件200上的压差将近似为：

[0055] $$P=\frac{12\cdot\eta\cdot Q\cdot L_p}{w\cdot g^3}+\frac{6\cdot c\cdot\tau_{MR}(H)\cdot L_m}{g}+\frac{k\cdot Q^2\cdot\rho}{w^2\cdot g^2} \quad (1)$$

[0056] 这里：

[0057] η:MR 流体粘度

[0058] Q:MR 流体体积流率（或体积流量）（与阻尼器速度乘以活塞组件直径的平方成比例）

[0059] L_p: 活塞组件长度

[0060] g: 流动通道的间隙宽度

[0061] w:MR 流体阀的横向宽度并且名义上等于$\pi\sum_{i=1}^{N}D_i$，这里 D_i 等于第 i 个间隙的平均直径

[0062] $\tau_{MR}(H)$: 在磁场 H 处的 MR 流体屈服应力

[0063] L_m: 电磁体的极长度

[0064] $2*L_m$: 电磁体的有效极长度

[0065] c: 范围在 2 到 3 之间的动态流动系数

[0066] k: 范围在 0 到 1.5 之间的动态流动系数

[0067] 在方程(1)中的常数“c”将取决于流动通道内的具体流动情况。如果在流动通道中的流率为零，则 c 可以为 2。在高流量、高粘度以及非常狭窄的间隙 g 的情况下，则系数 c 的值取 3。常数“K”主要取决于流动通道内的雷诺数(Reynolds number)，即，紊流度。对于非常高的雷诺数，k 大约为 1.0。对于低雷诺数层流，k 在关闭状态下大约为 0.68。当 MR 流体阻尼器处于具有较大诱导屈服强度的开启状态下时，k 大约为 0.5。

[0068] 在方程(1)中，第一项是与流体粘度和体积流量成比例的闭合状态粘性项，第二项是由于处于开启状态的磁场诱导屈服强度而增加的压力，而第三项是取决于流体密度以及体积流量的平方的惯性项。粘性项与 wg^3 的倒数成比例。第二项是与 g 的倒数成比例的磁流变项。惯性项与 w^2g^2 的倒数成比例。在高阻尼器速度时，与压力有二次方关系的惯性项由于大因子而能够变得相当于甚至超过关闭状态粘性项。这意味着如果惯性项在关闭状态下未最小化，则压差(或阻尼力)在关闭状态下会相当大。在本发明中，在不损失开启状态下的阻尼力的情况下通过使得 L_m/g 较大并在电磁体与通量环之间提供多个流动通道来使惯性项在关闭状态下最小化，其中每个流动通道具有小的间隙宽度。间隙宽度可形成得尽可能的小，典型的大约为 0.5mm，以实现较大的 L_m/g。

[0069] 除了使 L_m/g 较大，还可使 D_{piston}/g 较大。D_{piston} 是活塞组件的直径。使 D_{piston}/g 为大比率的重要性与流动沟道中的流体速度以及当处于高流体速度时惯性项(方程(1)中的第三项)的二次方增长有关。在流体通道中的流体速度与活塞组件的速度乘以活塞组件直径 D_{piston} 除以沟道流动面积 w*g 的平方，其中 w 是如相对于方程(1)所说明的设置在活塞组件中的阀的横向宽度。通过变成多个间隙，w 会增大，于是允许 g 减小或 D_{piston} 增大，而仍保持惯性项较小。减小 g 使开启状态压差增大，并且增大 D_{piston} 使总阻尼力增大，该总阻尼力是压差和活塞面积的乘积。优选地，D_{piston}/g 大于 66。更优选地，D_{piston}/g 大于 80。还更优选地，D_{piston}/g 大于 90。最优选地，D_{piston}/g 大于 120。

[0070] 如果活塞组件 200 中的流动通道不相等和 / 或不同流动通道中的磁场诱导的屈服强度不相等，则将按照下面一组方程来说明活塞组件上的压力：

[0071] $$P_i = \min\left|\left\{\frac{12\cdot\eta\cdot Q\cdot L_p}{w_i\cdot g_i^3}+\frac{6\cdot c\cdot\tau_{MR}(H_i)\cdot L_m}{g_i}+\frac{k_i\cdot Q_i^2\cdot\rho}{w_i^2\cdot g_i^2}\right\},P_{k\neq i}\right| \qquad (2)$$

[0072] $P_{piston} = P_1 = P_2 = \cdots = P_i$ (3)

[0073] 方程（2）中说明的情况远比方程（1）中说明的情况复杂的多，由于不同流动通道中的流动速率会是不同的。在一些情况下，根据计算出的 D_{piston}，一些间隙中可能没有任何流动。方程（2）本身是一组 N 个方程，其中 N 是同心的流动通道的个数，并且下标 i 和 k 在 1 到 N 的范围内。作为一个实例，对于 i=1，方程 2 被解释成意味着由于流动通道 1 所导致的压差将会是大括号中的第一项最小值或其它流动通道，即，K=2，3，…，N 之一中的压差。注意在所有情况下，每个间隙中的压差最终必须是相同的并且等于如由方程 (3) 所指出的活塞组件上的压差。

[0074] 参照图 6- 图 8 可更好地理解以上的这组方程。图 6 示出了三个同心的流动通道处于较低的流动速率及较低的压力下的情况。三条曲线是如由方程（2）的大括号部分所给出的三个流动通道中的每个的理论压力与流动速率的关系曲线。在这种情况下，最小的压降由虚线 A 指出。在这种情况下，唯一的具有非零流动速率的流动通道是通道 3。通道 1 和通道 2 的曲线都大于此，从而所有通道中的总压由 A 给出。图 7 示出了当总流动速率增大从而使得如虚线 B 给出的通道 2 和通道 3 中都有流动时的情形。通道 1 中仍没有流动。通道 2 中的流动速率是 Q_2，并且通道 3 中的流动速率是 Q_3。Q_2 与 Q_3 是不同的。图 8 示出了当总流量增大从而使得在所有三个通道中都有流动时的情形，Q_1、Q_2 和 Q_3 都是不同的。在这种情况下，压力由虚线 C 给出。

[0075] 图 9 是为磁场强度的函数的屈服应力的图表。该图表中示出了测量到的屈服应力和期望的屈服应力。在该实例中，L_m/g 是 25，并且 MR 流体的铁体积含量为 22%。该图表示出了测量到的屈服应力比期望的屈服应力大了多于 2 倍，表明可通过使 L_m/g 较大来实现增大的屈服应力现象。使用流动模式流变计来进行测量。图 10 示出了包括其上缠绕有 EM 线圈（未示出）的塑料线轴 302 的流变计 300。塑料线轴 302 介于由钢制成的极片（pole piece）306、308 之间。极片 306、308 通过由不锈钢制成的无磁性间隔件 310 隔开。无磁性间隔件 310 包括流动通道（未示出）。入口和出口管 312、314 以与无磁性间隔件 310 中的流动通道对齐的方式接合至无磁性间隔件 310 的任一端。流动通道具有间隙宽度为 g 的矩形横截面。极片 306、308 的极长度为 L_m。为了进行测量，将流变计 300 设置在金属圆柱体（未示出）中。流变计 300 和金属圆柱体设置在以指定速率向下推动柱塞的英斯特朗试验机（Instron test machine）（未示出）中，从而迫使 MR 流体通过间隔件 310 中的流动通道。测压元件测量由此在柱塞上产生的力。根据此力，计算由流变计产生的压力。计算出的压力用于确定 MR 流体由于施加的磁场所产生的屈服强度。

[0076] 图 11 和图 12 示出了通过使 L_m/g 较大来实现增大的屈服强度现象的几个更多的实例。图 11 示出了在磁场强度为 100kA/m 且 L_m/g 为 25 和 50 时 MR 流体的屈服应力与铁粒子体积分数的关系曲线。图 11 示出了屈服应力随着铁粒子体积分数减小而增大。图 11 还示出了屈服强度随着 L_m/g 增大而增大。图 11 示出了对于 MR 流体的各种铁粒子体积分数在

L_m/g 为 25 时屈服应力与施加的磁场的关系曲线。图 12 也示出了无论施加的磁场是多大，屈服应力随着铁粒子体积分数减小而增大。从图 11 和图 12 可以推断出，当 L_m/g 较大时出现的屈服增加，如上所述，可通过使用可磁化粒子（优选地为铁粒子）的体积分数较低的 MR 流体来进一步提高。

[0077] 优选地，MR 流体含有＜ 30Vol.％的磁性铁粒子，优选地≤ 26Vol.％的磁性铁粒子，优选地＜ 25Vol.％的磁性铁粒子，优选地＜ 23Vol.％的磁性铁粒子，优选地＜ 21Vol.％的磁性铁粒子，优选地≤ 19Vol.％的磁性铁粒子，且优选地≤ 16Vol.％的磁性铁粒子。优选地，MR 流体含有大约 26Vol.％（(26±1)Vol.％）的磁性铁粒子。优选地，MR 流体含有大约 15Vol.％（(15±3)Vol.％）的磁性铁粒子。优选地，MR 流体的磁性铁粒子体积百分数在大约十至二十的范围内（按照总体积百分数）。

[0078] 优选地，MR 流体包含≤ 19Vol.％的磁性铁粒子（按照总体积百分数）和≥ 60Vol.％的载体流体（carrier fluid）（按照总体积百分数），优选地≥ 64Vol.％的载体流体，≥ 66Vol.％的载体流体，≥ 69Vol.％的载体流体，并优选地大约 71Vol.％（(71±3)Vol.％）的载体流体，优选地为油载体流体，优选地为烃油载体流体。优选地载体流体包括聚 α 烯烃。

[0079] 优选地，磁性铁粒子包含铁。优选地，磁性铁粒子包含羰基铁粒子。在可替代的优选实施方式中，磁性铁粒子包含水雾化铁粒子。优选地，磁性铁粒子的密度在 7 至 8.2g/ml 的范围内，优选地在 7.5 至 8.2g/ml 的范围内，并优选地密度大约为 7.86g/ml（7.86±.30g/ml）。

[0080] 优选地，除磁性铁粒子和载体流体之外，MR 流体还包含添加剂。优选地，MR 流体包含抗磨损添加剂。优选地，MR 流体包含至少一种抗磨损添加剂，该抗磨损添加剂提高了 MR 流体装置的使用期限和耐磨特性，并阻止与 MR 流体的工作相关的磨损和磁性铁粒子对 MR 流体装置的构件的磨蚀和磨擦。优选地，MR 流体抗磨损添加剂包含钼，优选地为有机钼。优选地，MR 流体包含抗氧化添加剂。优选地，MR 流体包含至少一种抗氧化添加剂，该抗氧化添加剂阻止 MR 流体和与 MR 流体的工作相关的 MR 流体装置的氧化和磁性铁粒子对 MR 流体装置的构件的磨蚀和磨擦。优选地，MR 流体抗氧化添加剂包含磷抗氧化添加剂，优选地为无灰二硫代膦酸酯抗氧化添加剂。优选地，MR 流体包含防沉降添加剂。优选地，MR 流体包含至少一种防沉降添加剂，该防沉降添加剂有助于磁性铁粒子悬浮在载体流体中，以阻止粒子的沉降，并有助于粒子保持悬浮状态。优选地，MR 流体防沉降添加剂包含粘土，优选地为有机粘土，优选地为有机粘土胶凝剂，优选地通过活化剂激活，优选地为碳酸丙烯酯。优选地，MR 流体包含 MR 流体密封膨胀调节添加剂，该 MR 流体密封膨胀调节添加剂调节暴露于流体的 MR 流体装置中的密封件，并优选地使密封件膨胀，并阻止流体从 MR 流体装置泄露。优选地，MR 流体装置密封膨胀调节添加剂包含癸二酸盐，优选地为癸二酸二辛酯。

[0081] 优选地，磁性铁粒子分散在载体流体中，优选地磁性铁粒子混合到载体流体中。对于除磁性铁粒子和载体流体之外的添加剂，这些添加剂优选地混合到载体流体中。在优选的实施方式中，MR 流体通过回转式搅拌机旋转地混合，优选地通过进行周期性地混合以在载体流体中混合并分散磁性铁粒子和添加剂的旋转分散（rotor stator）混合。

[0082] 优选地，通过由基于体积百分数测量的组分制作并提供 MR 流体来提供磁性铁粒子总体积＜ 30Vol.％的 MR 流体。优选地，MR 流体的磁性铁粒子总体积百分数低于 30％。优

选地，各组 MR 流体的不同磁性铁粒子总体积百分数都低于 30%，以提供磁性铁粒子总体积百分数低于 30% 的可选的一组 MR 流体来填充阻尼器装置及其活塞的多个环形流动通道。优选地，至少提供磁性铁粒子总体积百分数低于 30% 的第一 MR 流体和磁性铁粒子总体积百分数低于 30% 的第二 MR 流体以供选择并填充阻尼器装置，以便为交通工具提供至少两种不同的阻尼器特性。在优选的实施方式中，本发明包括提供至少 V 种不同的磁性铁粒子总体积百分数低于 30% 的 MR 流体，并且 V ＞ 1，从所述至少 V 种不同的磁性铁粒子总体积百分数低于 30% 的 MR 流体组中选出一种磁性铁粒子总体积百分数低于 30% 的 MR 流体来为比率 L_m/g 大于或等于 15 的至少一个流动通道提供优选的交通工具阻尼器特性。在优选的实施方式中，选出的磁性铁粒子总体积百分数低于 30% 的第一和第二 MR 流体是 15Vol.％磁性铁粒子 MR 流体和 26Vol.％磁性铁粒子 MR 流体，诸如选择用于具有图 5 中的优选的多个环形流动通道的图 2A 中的优选阻尼器。优选的 15Vol.％磁性铁粒子 MR 流体由密度为 7.86g/ml 的 15Vol.％羰基铁粒子、密度为 .92g/ml 的 10Vol.％癸二酸二辛酯、密度为 1.60g/ml 的 1.65Vol.％有机粘土胶凝剂、密度为 1.189g/ml 的 .48Vol.％碳酸丙烯、密度为 1.06g/ml 的 .70Vol.％无灰二硫代膦酸酯抗氧化、密度为 1.04g/ml 的 .87Vol.％有机钼合成物、以及密度为 .81g/ml 的 71.30Vol.％聚 α 烯烃烃油载体流体形成。烃油载体流体大约为百分之八十的初始混合物由有机粘土胶凝剂和碳酸丙烯以及有机钼合成物的一半制成，在旋转分散混合器中混合该初始混合物，接着混合羰基铁粒子，再接着添加并混合剩余成分。所得到的磁性铁粒子＜ 30Vol.％（优选地磁性铁粒子水平＜ 15Vol.％）的 MR 流体优选地密度大约为 1.88g/ml，零摄氏度粘度大约为 144cP，二十五摄氏度粘度大约为 45cP。类似地，磁性铁粒子总体积百分数为 26Vol.％的 MR 流体由 26Vol.％羰基铁粒子制成。类似地，磁性铁粒子总体积百分数为 22Vol.％的 MR 流体由 22Vol.％羰基铁粒子制成。

[0083] 优选地，MR 流体磁性铁粒子的铁粒子体积分数在 0.1 至 0.45 的范围内，优选地从 0.1 到 0.4。优选地，MR 流体磁性铁粒子的铁粒子体积分数低于 0.3，且优选地低于 0.2。

[0084] 图 13 是限定根据本发明的优选实施方式的屈服增强区域的图。水平轴是 L_m/g 比率，而竖直轴给出了 $L_m/g/\Phi$，其中 Φ 是铁粒子体积分数。根据本发明的优选实施方式的 MR 流体阻尼器落在大框 311 内。表 1 所示的现有 MR 流体阻尼器的 L_m、g 和 Φ 性质落在小框 312 内。表 1 中列出（并且落在图 13 中的小框 312 内）的所有阻尼器的 L_m/g 都小于或等于 13，并且 $L_m/g/\Phi$ 小于 50。对于小框中的阀，没有观察到屈服强度的大量增强。根据本发明的 MR 流体阀落在较大的框内。这些流体阀的 L_m/g 大于 15，并且 $L_m/g/\Phi$ 大于 50。

[0085] 表 1

[0086]

阻尼器 ID	L_m(mm)	g(mm)	L_m/g	Φ	$L_m/g/\Phi$
A	24	2.0	12	.40	27
B	16	1.5	10.7	.40	24
C	6.5	0.7-1.3	5-9.3	.22-.26	19-42
D	6	0.5	12	.28	42

E	13	1.0	13	.32-.35	37-41
F	20	2	10	.32	31
G	～ 17	3	5.7	.35	16
H	10	2	5	.32	16
I	20	1.5	13	.32	41
J	17	3	5.7	.35	16.2
K	12	1.25	9.6	.26	37

[0087] 图 14 示出了对于外径为 76mm 双通道阻尼器所测量到的性能数据。该阻尼器填充有含有按体积为 15% 的铁粒子的 MR 流体。该阻尼器的均一间隙 g 为 0.5mm，L_m 为 11.85mm，所得到的 L_m/g 为 23.7。对于该阻尼器所测量到的力通过实线和示出的数据点指出。为了获得输入电流为 3amps 所观察到的力，该阻尼器中的流体必须表现出 2.25 的屈服强度增强因子。上虚线 212 是对具有屈服增强因子表现为 2.25 的 15% 的 MR 流体的阻尼器所预见的性能，即，MR 流体的表观屈服强度大于可通过旋转直接剪切流变计（rotary direct shear rheometer）测量到的表观屈服强度的两倍。

[0088] 返回至图 5，由于分流器 230 中的通量损失以及磁场的边缘现象（fringing），最靠近通量环 214 的流动通道 232 中的磁通密度将倾向于小于离通量环 214 较远的流动通道 234 中的磁通密度。因此，最靠近通量环 214 的流动通道 232 中的流体将让步并在离通量环 214 较远的流动通道 234 中的流体前面流动。这种效应可通过使最靠近通量环 214 的流动通道 232 的间隙宽度 g_1 小于离通量环 214 较远的流动通道 234 的间隙宽度 g2 来补偿。

[0089] 分流器 230 优选地在高通量密度下磁饱和，以限制磁通量沿着分流器 230 的轴向长度的流动。例如，如图 15 中所示，分流器 230 包括介于一对磁可渗透部 238 之间且与之相连的无磁性部 236。可替代地，分流器 230 可被看作是具有无磁性部 236 和磁可渗透部 238，其中，无磁性部 236 被嵌入磁可渗透部 238 的中部内，从而使得无磁性部 236 与 EM 线圈（图 5 中的 204）为相对的关系。无磁性部 236 阻止磁通量在这对磁可渗透部 238 之间的流动。可磁渗透部 238 优选地由高渗透性材料制成，诸如高渗透性铁磁材料。在另一实施方式中，如图 5 所示，分流器 230 是由磁可渗透材料（诸如低碳钢）制成的单环，其中，该单环是非常薄的，例如，径向厚度为 1mm 量级。薄的单环的中间区 239 将变成磁饱和，从而限制磁通量的轴向流动。在另一实施方式中，如图 16 所示，分流器 230 可以是由磁可渗透材料（诸如低碳钢）制成的单环 242，并具有变薄的中间部 240。如同在前述实例中，变薄的中间部 240 将快速地变成磁饱和，并限制磁通量在分流器 230 中的轴向流动。变薄的中间部 240 可装填有无磁性材料 244，诸如环氧树脂，以便为分流器 230 提供沿其轴向长度的一致的径向厚度，由此保持一个平滑、均一的流体流动路径。如果单件式分流器 230 由铁磁合金（诸如 HyMu80（80% 镍和 20% 铁））或其他具有非常高的初始渗透性但在相对低的通量密度下饱和的铁 - 镍合金制成，则可实现改进的性能。

[0090] 对于分流器 230 的中间区变薄（如在图 16 中的 240 处所示出的）或者包括无磁性

材料(如在图 15 中的 236 处所示出的)的情况,变薄区或无磁性材料的长度(B)优选地小于极间隔(图 5 中的 A)。优选地,B ＜ A-2g。更优选地,B ＜ A-5g。最优选地,B ＜ A-10g。参数“g”是流通通道的间隙宽度。对于 N 个流动通道,参数“g”可定义为多个流动通道的间隙宽度的平均值。在流动通道(图 5 中的 232、234)的情况下,g 可定义为(g_1+g_2)/2。

[0091] 优选地,分流器 230 的径向厚度是较薄的,以允许紧凑的活塞组件 200 和足够厚的通量环 214 避免磁饱和。例如,分流器 230 的径向厚度可以是 2mm 或更少,并优选地其径向厚度为 1mm 或更少。分流器 230 的径向厚度应远小于通量环 214 的径向厚度。这是为了限制磁通量在分流器 230 中的轴向流动,同时允许磁通量在通量环 214 中的轻松轴向流动。优选地,分流器 230 的厚度等于或小于通量环 214 的厚度的 1/2。更优选地,分流器 230 的厚度等于或小于通量环 214 的厚度的 1/3。最优选地,分流器 230 的厚度等于或小于通量环 214 的厚度的 1/4。

[0092] 已按照 MR 流体阀的流动通道设置在活塞组件 200 及其变型中描述了 MR 流体阻尼器装置。然而,流动通道也可设置在活塞组件 200 及其变型外。图 17 示出了 MR 流体阀的流动通道 304 设置在活塞组件 324 与阻尼器壳体 320 之间的系统的实例。流动通道 304 的间隙宽度为 g。在该实例中,活塞组件 320 包括如前所述的磁场发生器 202。如同在前述实例中,L_m/g 较大。在该实例中,阻尼器壳体 320 用作由磁可渗透材料制成的通量环。总的来说,在工作过程中至少阻尼器壳体 320 的可环绕磁场发生器 202 的部分应由磁可渗透材料制成。磁场发生器 202 在通电时对流动通道 304 中的 MR 流体施加磁场。磁通量 305 在单个连续的路径(磁场发生器 202 的磁芯 206 向上、穿过流动通道 304、阻尼器壳体 302 向下、穿过流动通道 304、并且磁芯 206 向上)上移动。在这种情况下,MR 流体阻尼器装置以剪切模式工作,这意味着限定流动通道 304 的一个或多个表面相对于垂直磁场和流动通道 216 中的轴向流动没有保持静止。在这种情况下,磁场发生器 202 响应于流体室 306、308 中的压差相对于阻尼器壳体 302 轴向地移动。

[0093] 图 18A- 图 18C 示出了用于 MR 流体阻尼器装置的活塞组件 400,该活塞组件具有带有多个环形流动通道的 MR 流体阀以及带有作为分流器的 EM 线圈 405 的磁场发生器 402。如同在前述实例中,活塞组件 200 具有大体为圆柱形的形状。在图 18A- 图 18C 所示的实施方式中,如前所述,磁场发生器 402 与由磁可渗透材料制成的通量环 404 同心。磁场发生器 402 的磁芯 406 具有同心的内磁芯部 408 和外磁芯部 410。外磁芯部 410 包括 EM 线圈 405 以及极件 416、418。极件 416、418 提供的磁极长度为 L_m。内磁芯部 408 与外磁芯部 410 径向地隔开,从而在内磁芯部 408 与外磁芯部 410 之间限定流动通道 412。流动通道 412 的间隙宽度为 g_2,并且如上所述的,L_m/g_2 较大。通量环 404 与磁场发生器 402 之间限定有流动通道 403。流动通道 403 的间隙宽度为 g_1,并且如上所述的,L_m/g_1 较大。间隙宽度 g_1 和 g_2 可以是相同或不同的。可如所期望地通过使用一个或多个分流器在磁场发生器 402 与通量环 404 之间限定额外的流动通道。还可通过使用一个或多个分流器在内磁芯部 408 与外磁芯部 410 之间限定额外的流动通道。EM 线圈 405 可设置在外壳 414 中,该外壳由无磁性材料制成。EM 线圈 405 可设置在外壳 414 的支撑在外磁芯部 410 中的线圈部 424 中、且介于极件 416、418 之间。外壳 414 包括支撑在内磁芯部 408 中的毂部 422。线圈部 424 和毂部 422 可通过肋部 426 相连。肋部 426 可包括允许将电线 420 插入毂部 422 中并连接至线圈部 424 中的 EM 线圈 405 的线管。可使用具有适当连接特性的端板 428、430 来将内和外磁

芯部 408、410 接合至通量环 404。端板 428、430 包括连接至 403、412 的狭缝 429、431。

[0094] 图 19A 和图 19B 示出了用于 MR 流体阻尼器装置的由堆叠的板制成的活塞组件 450。活塞组件 450 包括由如上所述的可磁渗透材料制成的一堆板(place)452。使用例如水刀(water jet)沿外圆形路径 456 在每个板 452 中切出多个狭缝 454。还使用例如水刀沿内圆形路径 458 在每个板 452 中切出多个狭缝 455。内和外圆形路径 456、458 是同心的。在可替代实施方式中,根据 MR 流体阀中期望的流动通道的个数,可沿一条圆形路径或沿三条以上的圆形路径切出多个狭缝。每条圆形路径代表一个流动通道。沿圆形路径 456,狭缝 454 由桥状件 460 隔开。并且,沿圆形路径 458,狭缝 455 由桥状件 461 隔开。板 452 的被限制在圆形路径 456、458 之间的部分 457 用作分流器(splitter)。该分流器为了横向刚度可相对较厚。狭缝 454、455 提供 MR 流体阀的流动通道。图 19B 示出了中间板 452 包括用于安装 EM 线圈 465 的腔体以及用于接合活塞杆 124 的表面。中间板之间(并邻近 EM 线圈 465)的间隙 459 可装填有无磁性材料,诸如环氧树脂。板 452 通过螺栓 463 保持在一起。一个以上的板 452 可配备有耐磨带 467,以支持活塞组件 450 在阻尼器壳体 102 内的往复运动。图 19A 和图 19B 中的活塞组件优选地提供了具有多个环形流动通道活塞组件的 MR 流体阻尼器。

[0095] 图 20A 示出了具有带有磁场发生器 502 的 MR 流体阀的活塞组件 500,该磁场发生器包括 EM 线圈 503。活塞组件 500 包括环绕磁场发生器 502 的通量体 504。活塞杆 124 接合至磁场发生器 502。活塞组件 500 设置在阻尼器壳体 102 内。分流器 508 设置在通量体 504 与磁场发生器 502 之间的环形间隙 505 内,以在该间隙中形成同心的环形流动通道 510 和 512。分流器 508 可使用一个以上的大头钉 514 保持在通量体 504 与磁场发生器 502 之间的适当位置。分流器 508 没有在间隙 505 的整个长度上延伸,从而在来自流动通道 510 和 512 的流体合并到其中的间隙 505 中形成室 520。通量体 504 的底座 515 包括与合并室 516 连通的狭缝或孔 518。通量体 504 可配备有耐磨带 520,以支持活塞组件 500 在阻尼器壳体 102 内的往复运动。在图 20A 中,分流器 508 恰好停在 EM 线圈 503 的顶部上方。图 20B 示出了在 EM 线圈 503 的顶部下方延伸的分流器 522 可用于形成环形流动通道 510 和 512。这可减小合并室 516 的尺寸。在图 20A 和图 20B 中,可使用额外的分流器而在磁场发生器 502 与通量体 504 之间形成两个以上的环形流动通道。

[0096] 图 21A 示出了具有带有磁场发生器 532 的 MR 流体阀的活塞组件 530,该磁场发生器包括两个 EM 线圈 534 和 536。活塞杆 124 接合至磁场发生器 532。活塞组件 530 包括环绕磁场发生器 532 和磁极件 540 和 542 的通量体 538。磁场发生器 532 与通量环 538 之间的间隙中形成有流动通道 544。磁场发生器 532 中形成有流动通道 546。流动通道 546 可以是使用例如水刀在板中切出的多个狭缝。流动通道 544、546 是同心的。磁极件 540 和 542 包括分别通向流动通道 544、546 的孔 548、550。活塞组件 530 设置在阻尼器壳体 102 中。通量体 538 可配备有耐磨带 554,以支持活塞组件 530 在阻尼器壳体 102 内的往复运动。

[0097] 图 21B 示出了具有带有磁场发生器 562 的 MR 流体阀的活塞组件 560,该磁场发生器具有由通过螺栓 569 保持在一起的一堆板 570 制成的磁芯 563。磁场发生器 562 接合至活塞杆 124。板 570 由磁可渗透材料制成。EM 线圈 564 和 568 设置在中间板 570a、570b 中的腔体内。板 570 之间(并邻近 EM 线圈 564 和 568)的凹槽 571 可装填有无磁性材料,诸如环氧树脂。板 570 的位于 EM 线圈 564 和 568 上方和下方的部分作为磁极。板 570 具有

限定流动通道 574 的狭缝 572。活塞组件 560 设置在阻尼器壳体 578 中。活塞组件 560 的外径小于阻尼器壳体 578 的内径，从而在阻尼器壳体 578 的内壁与活塞组件 560 的外壁之间形成流动通道 576。因此，图 21B 的实施方式中的 MR 流体阻尼器装置部分地以剪切模式工作且部分地以流动模式工作。

[0098] 尽管以相对于有限个数的实施方式描述了本发明，但本领域技术人员利用本公开应理解能够想出其他实施方式，这并不违背如在此所公开的本发明的范围。因此，本发明的范围应仅受所附权利要求限制。

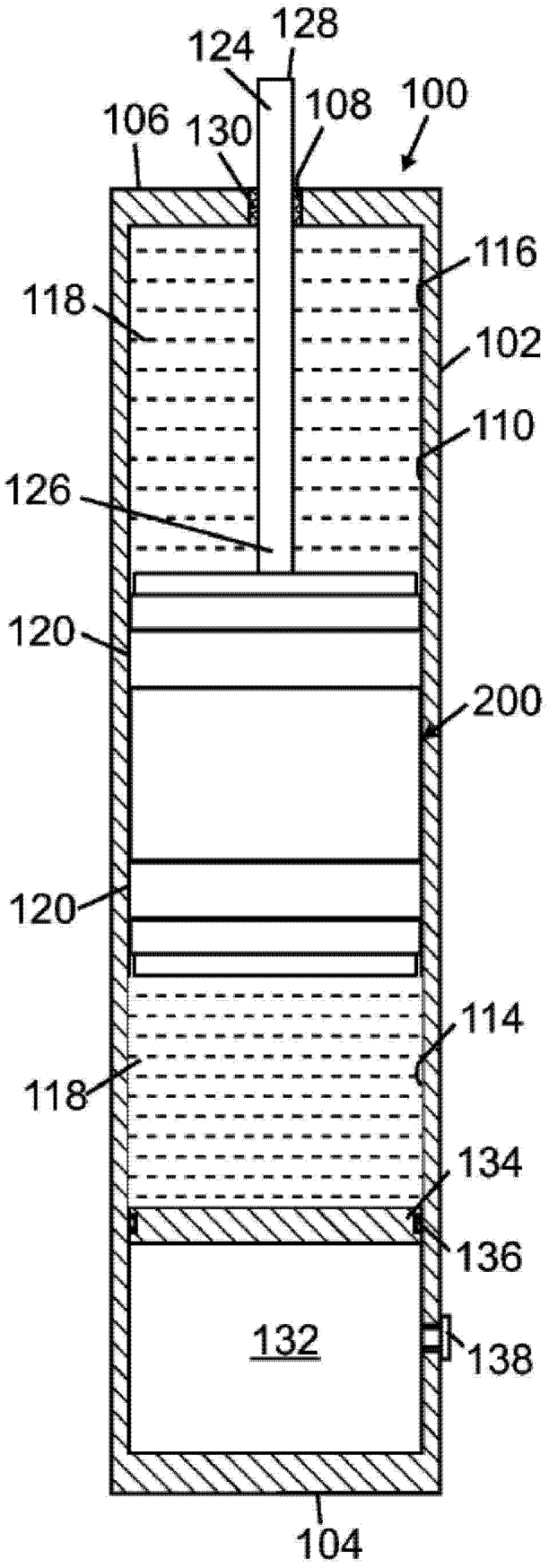

128
124
108
100
106
130
116
118
102
110
126
120
200
120
114
118
134
136
132
138
104

图 1

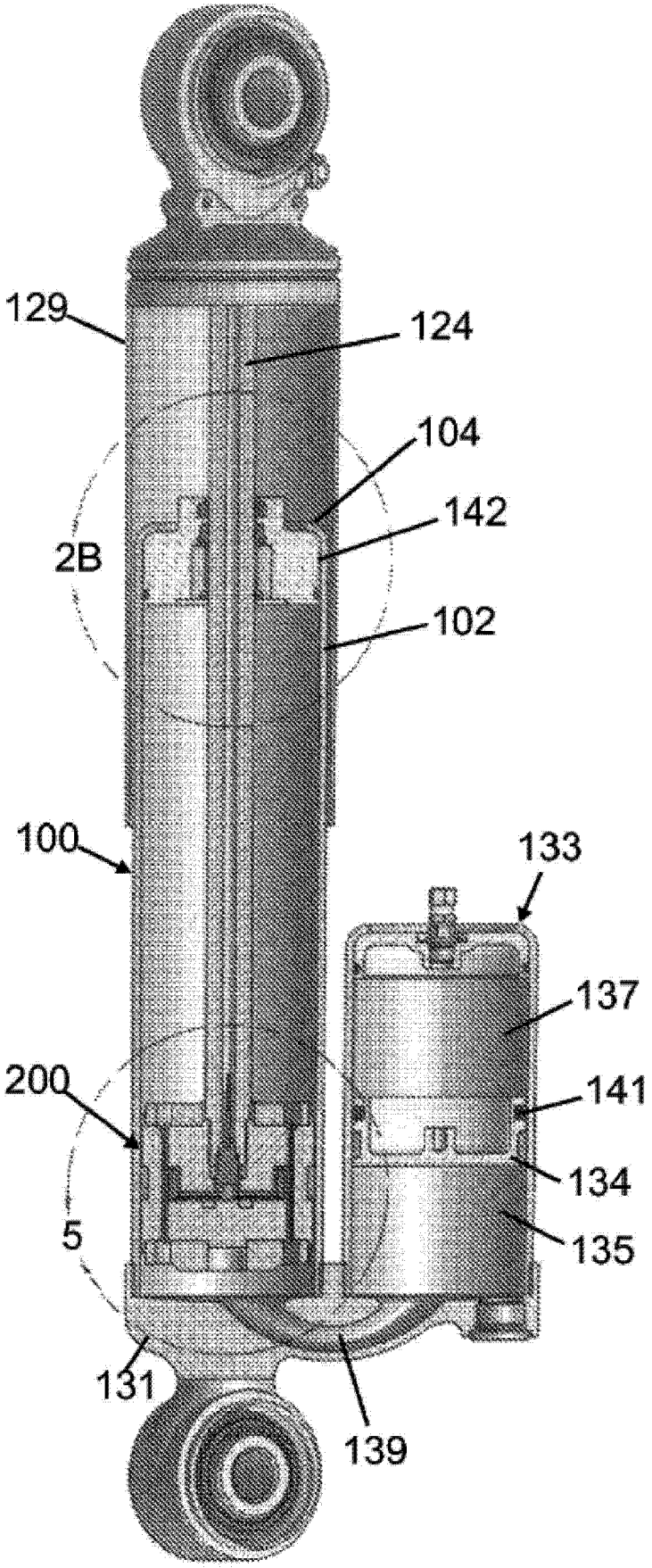
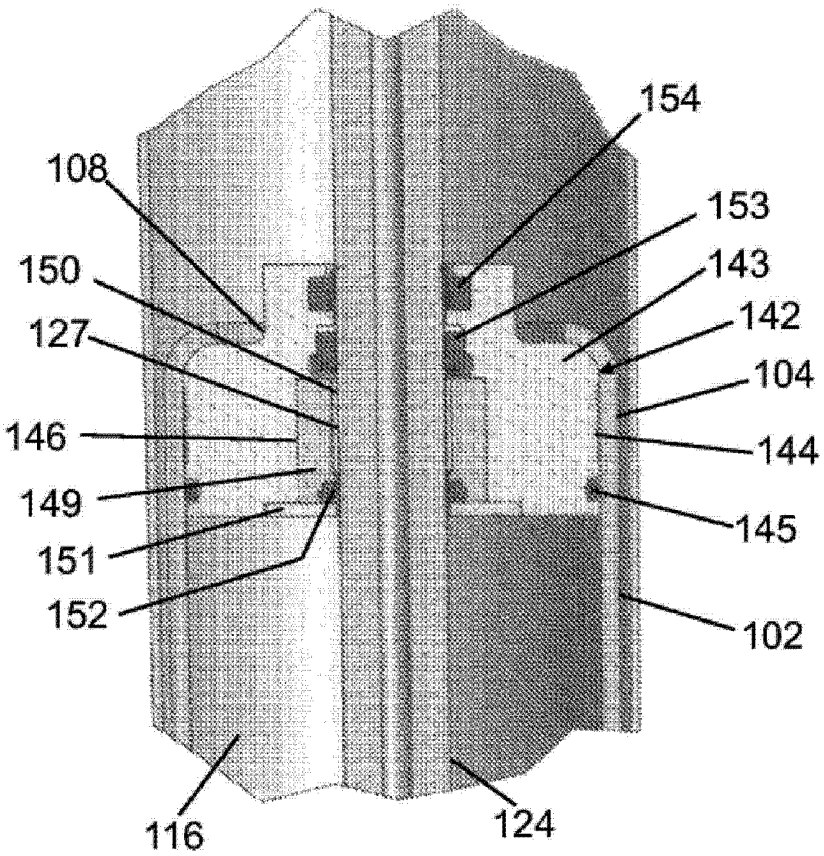


图 2A


154
108
153
150
143
127
142
104
146
144
149
145
151
152
102
116
124

隆 2B

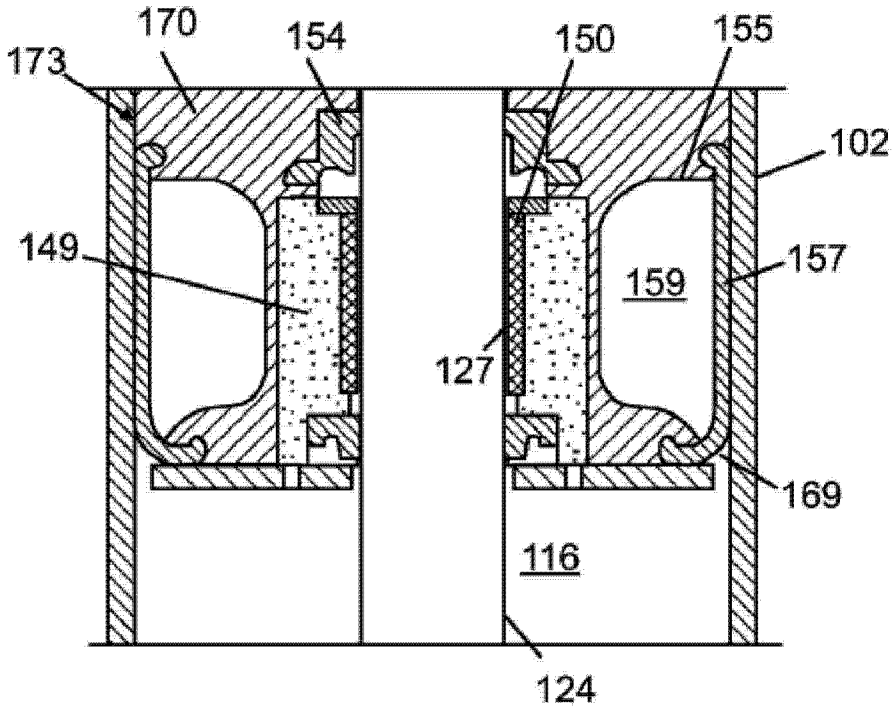

170
154
150
155
173
102
149
157
159
127
169
116
124

图 2C

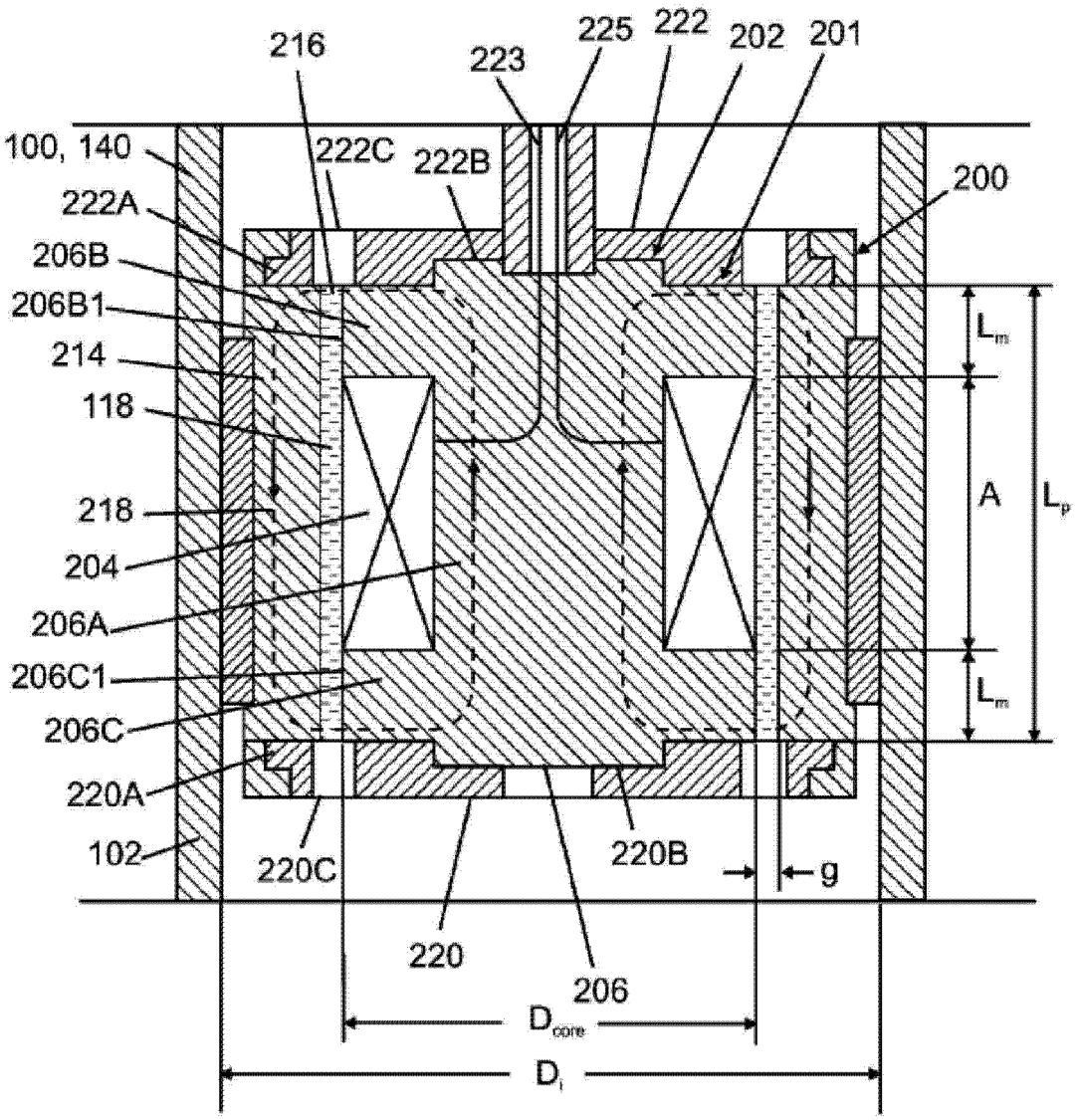

216
223
225
222
202
201
100, 140
222C
222B
200
222A
206B
206B1
214
118
218
204
206A
206C1
206C
220A
102
220C
220B
g
220
206
D_{core}
D_i
L_m
A
L_p
L_m

图 3

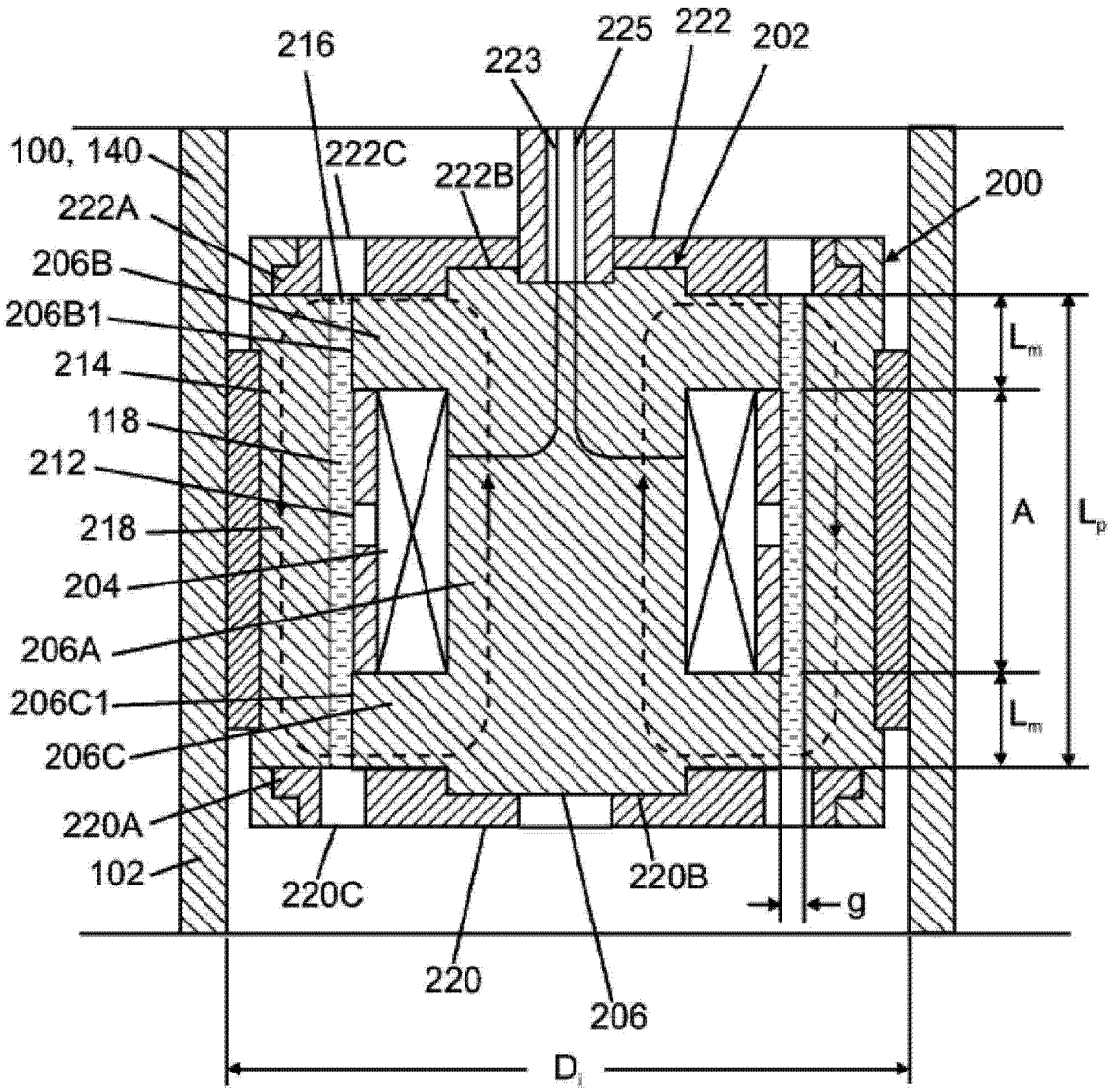

216
223
225
222
202
100, 140
222C
222B
200
222A
206B
206B1
214
118
212
218
204
206A
206C1
206C
220A
102
220C
220B
g
220
206
D_i
L_m
A
L_p
L_m

图 4

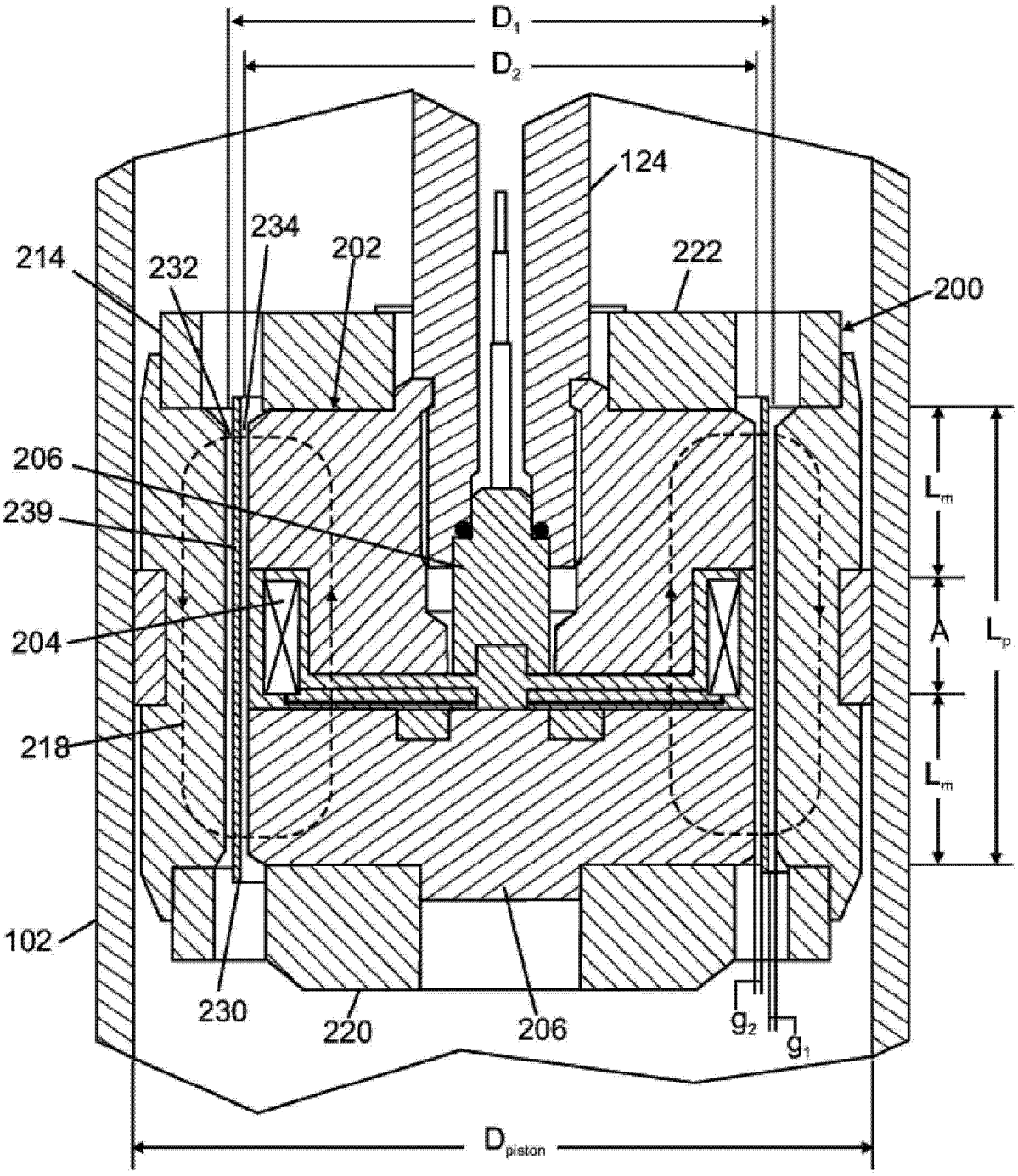

D1
D2
124
234
202
214
232
222
200
206
239
204
218
102
230
220
206
g2
g1
Lm
A
Lp
Lm
Dpiston

图 5

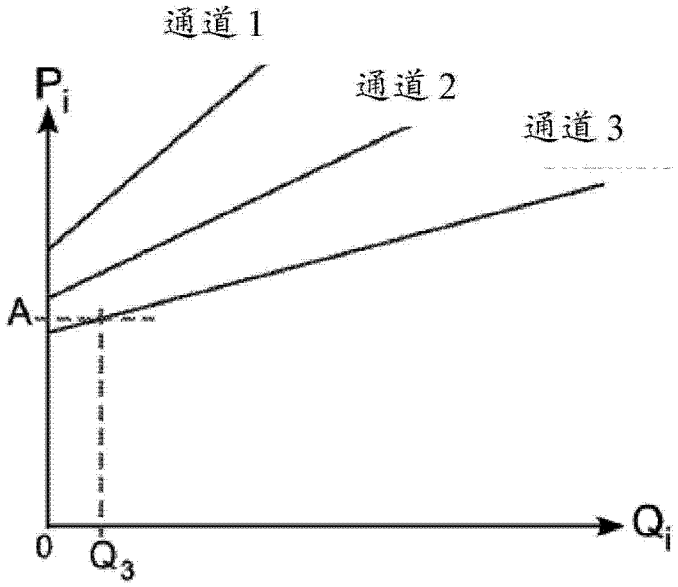


图 6

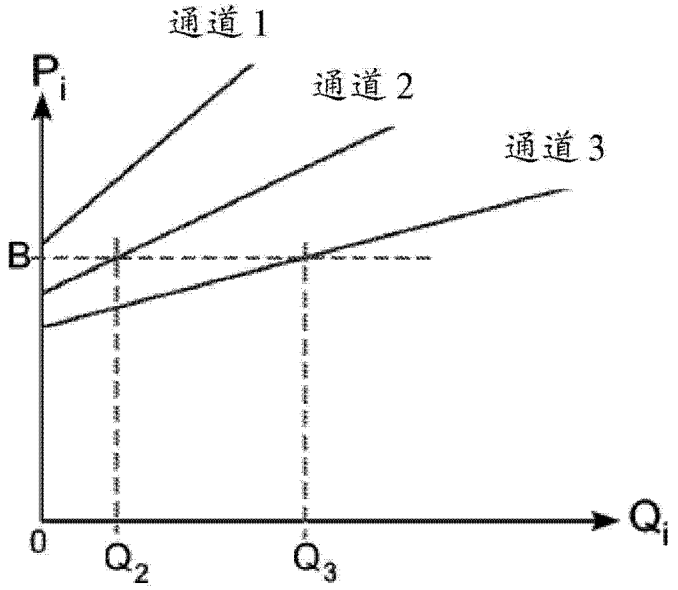


图 7

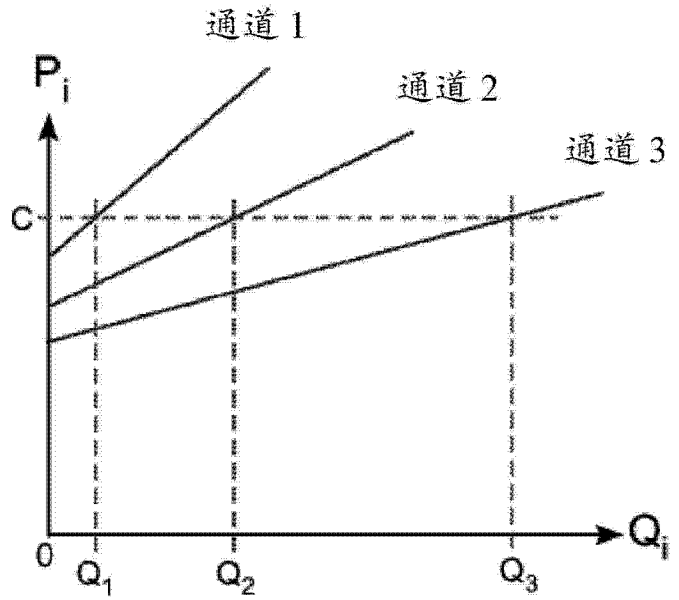

通道 1
通道 2
通道 3
P_i
C
0
Q_1
Q_2
Q_3
Q_i

图 8

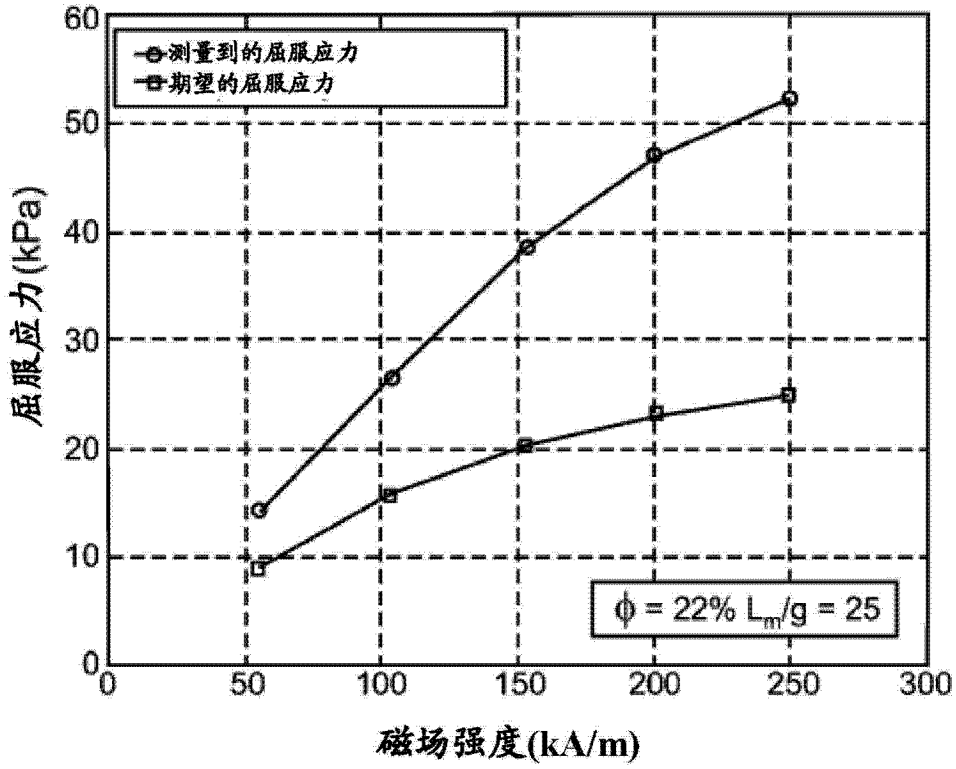

测量到的屈服应力
期望的屈服应力
屈服应力(kPa)
磁场强度(kA/m)
ϕ = 22% L_m/g = 25
0
10
20
30
40
50
60
0
50
100
150
200
250
300

图 9

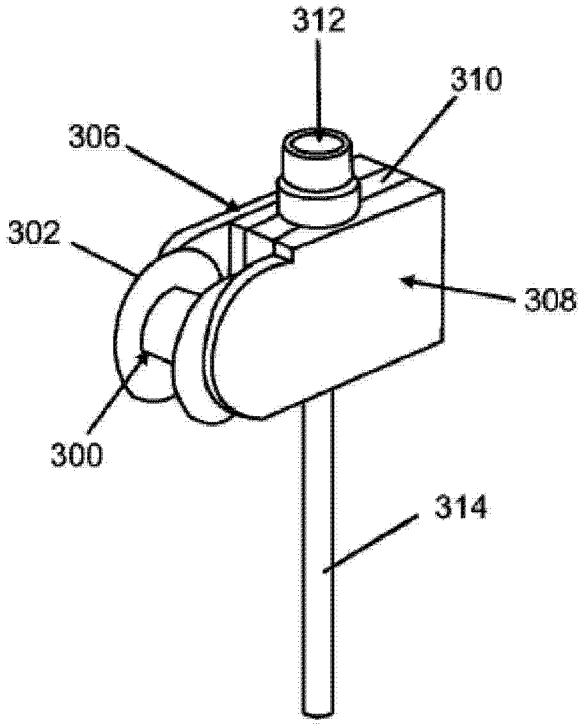

312
310
306
302
308
300
314

图 10

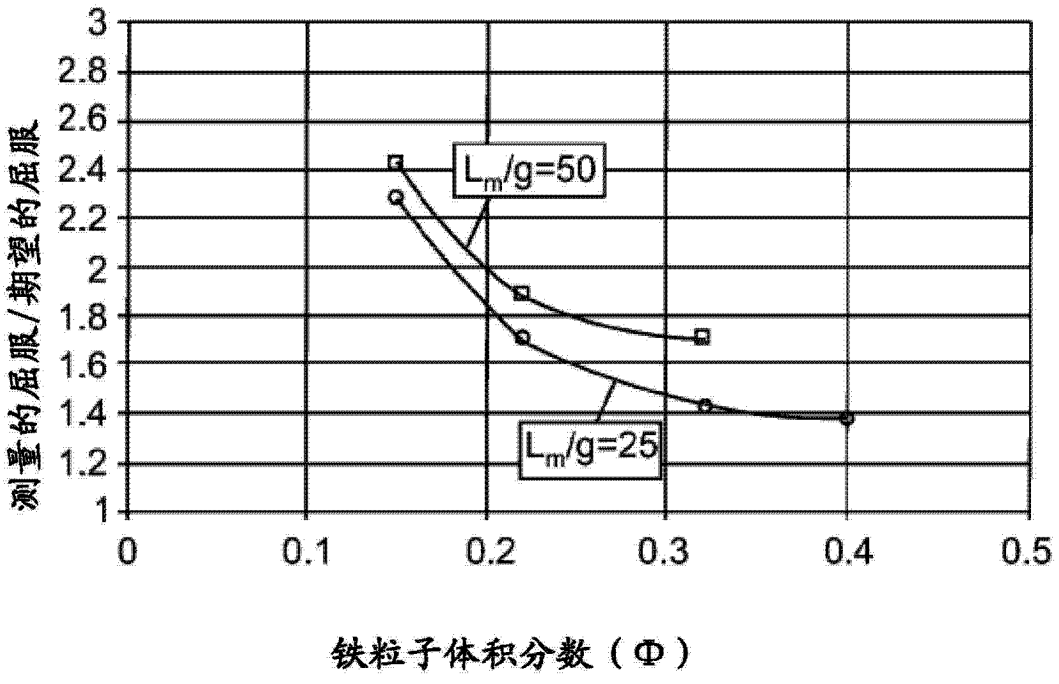

测量的屈服/期望的屈服
3
2.8
2.6
2.4
2.2
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
Lm/g=50
Lm/g=25
铁粒子体积分数（Φ）

图 11

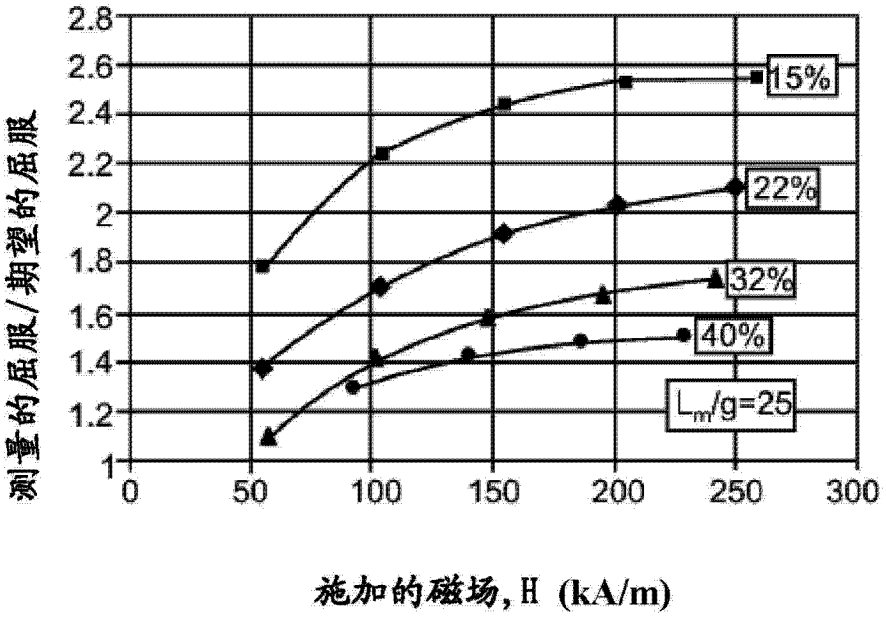

测量的屈服/期望的屈服
2.8
2.6
2.4
2.2
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0
50
100
150
200
250
300
15%
22%
32%
40%
Lm/g=25
施加的磁场, H (kA/m)

图 12

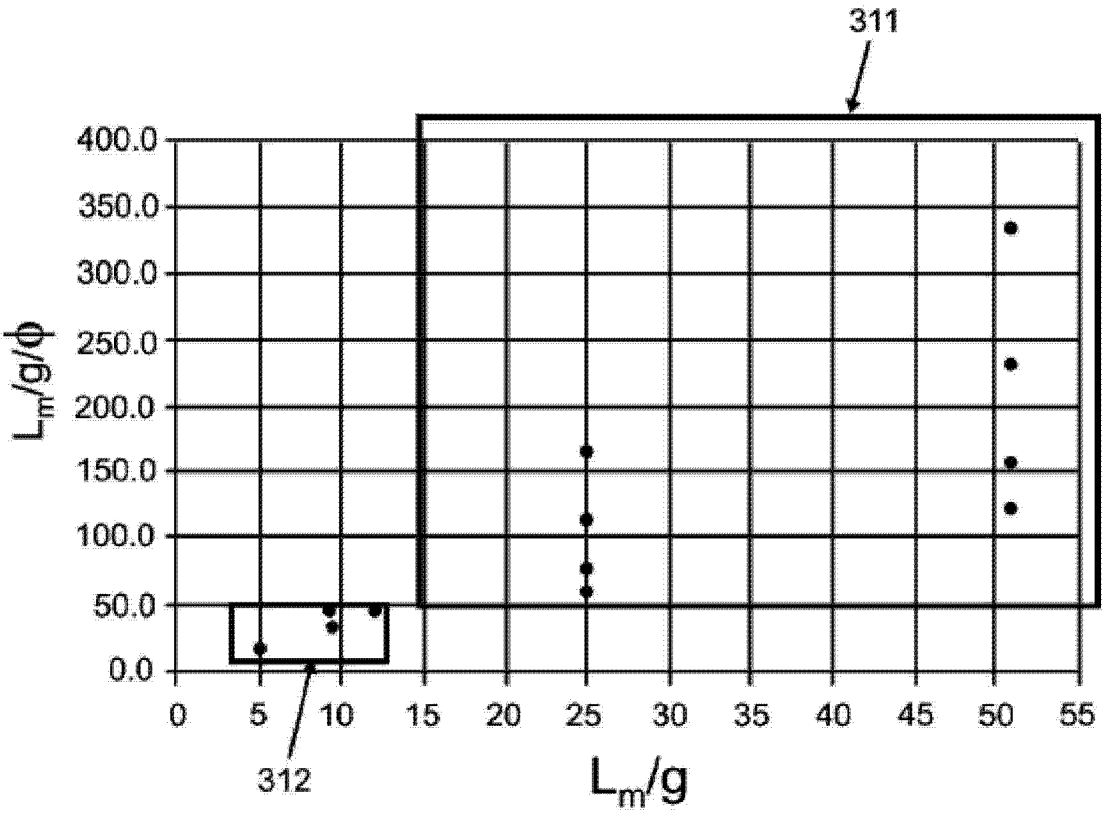

311
400.0
350.0
300.0
250.0
200.0
150.0
100.0
50.0
0.0
Lm/g/ϕ
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
312
Lm/g

图 13

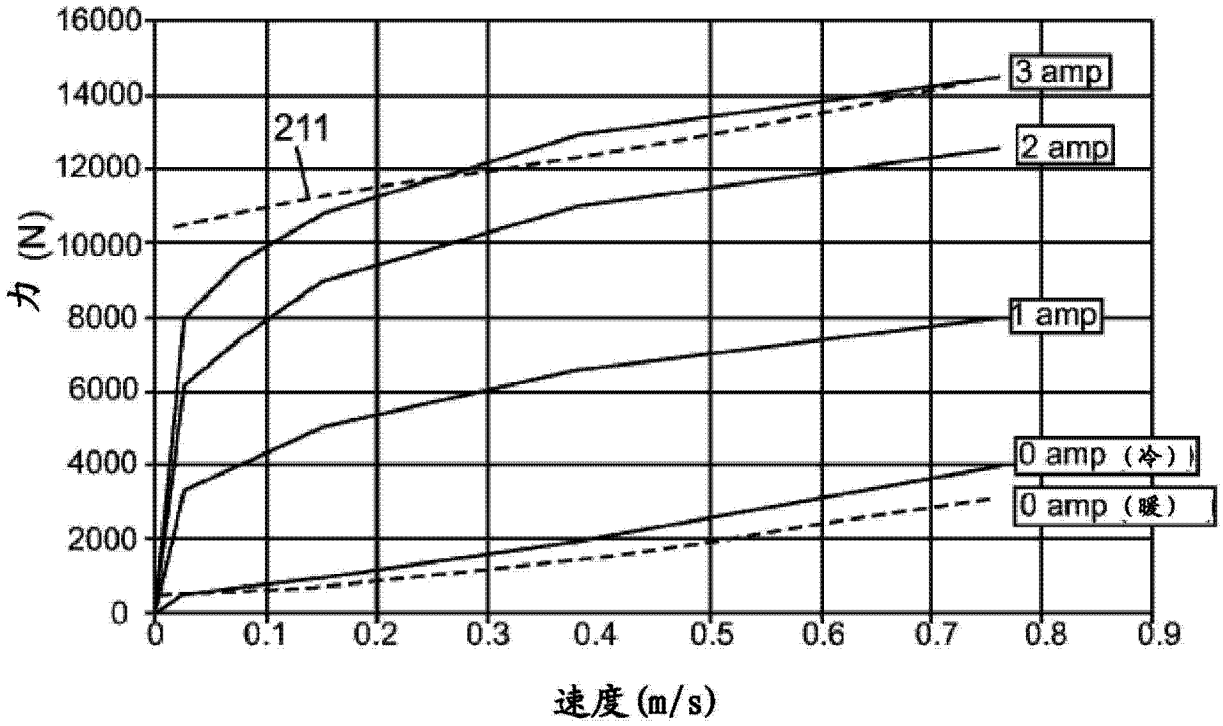

16000
14000
12000
10000
8000
6000
4000
2000
0
力 (N)
211
3 amp
2 amp
1 amp
0 amp（冷）
0 amp（暖）
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
速度(m/s)

图 14

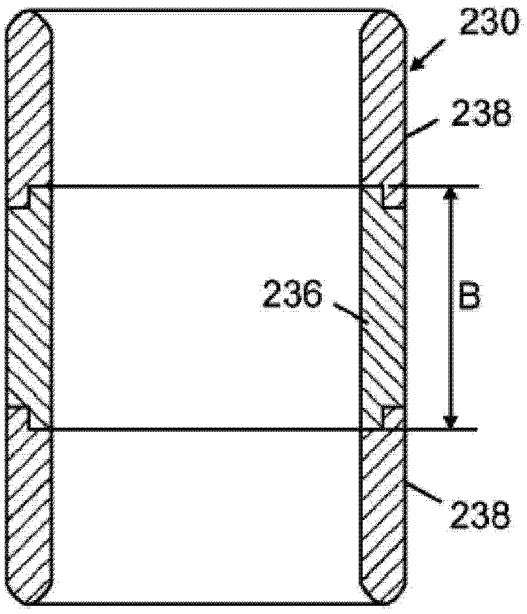

230
238
236
B
238

图 15

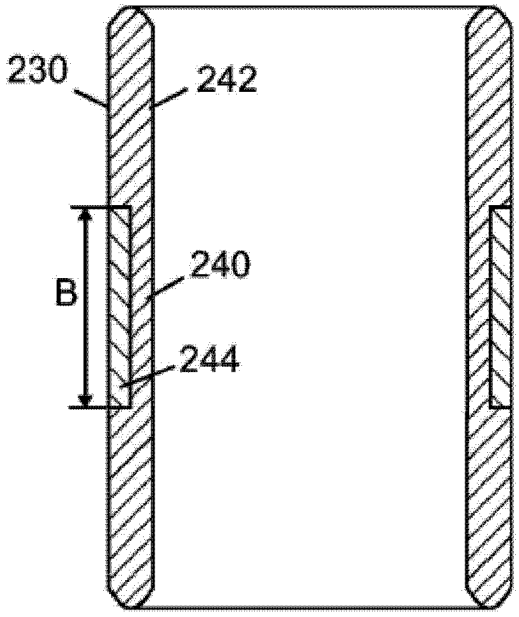

230
242
B
240
244

图 16

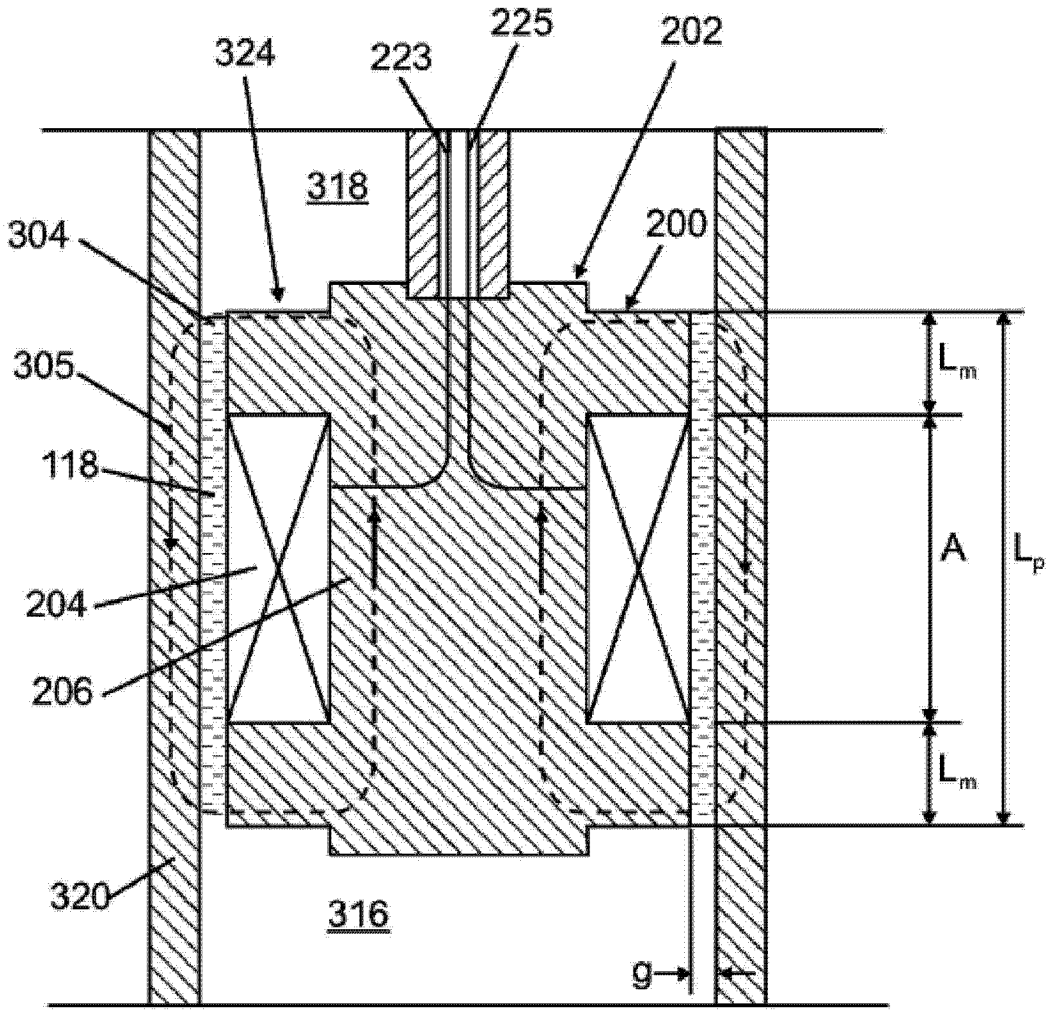


图 17

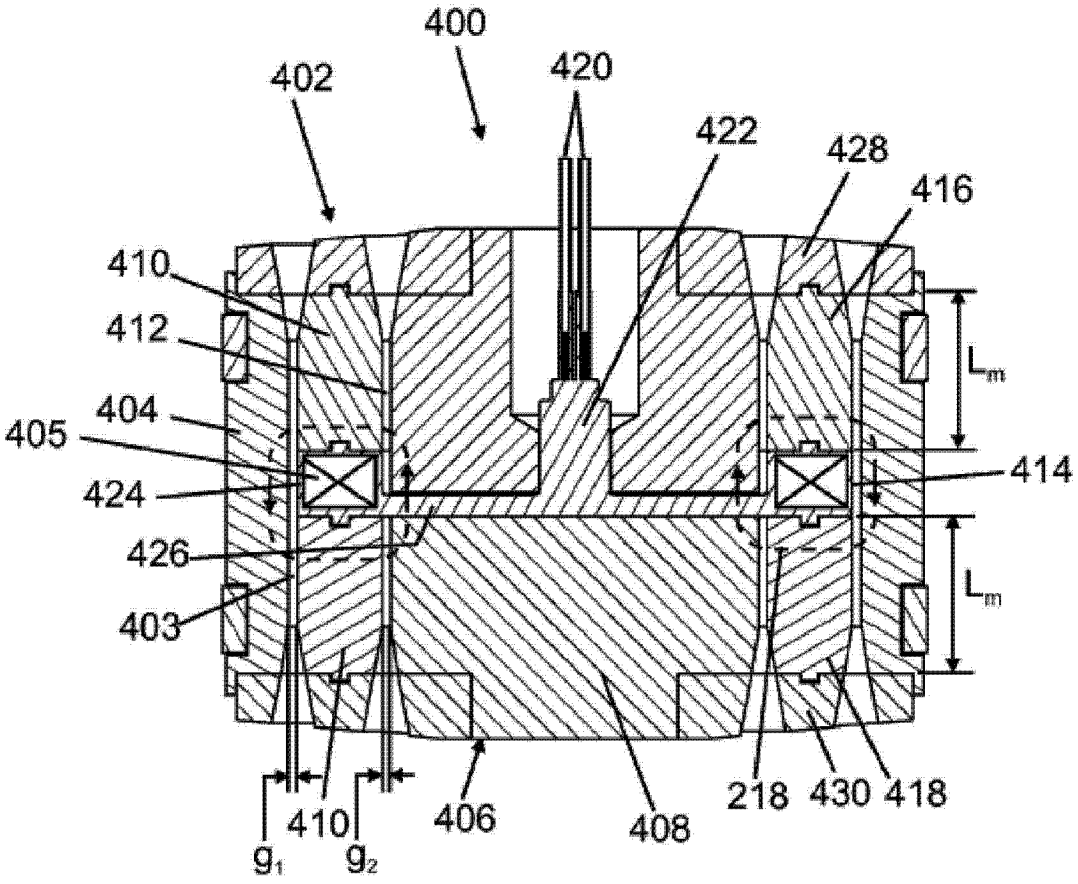

400
402
420
422
428
416
410
412
404
405
424
426
403
414
L_m
L_m
218
430
418
406
408
410
g_1
g_2

图 18A

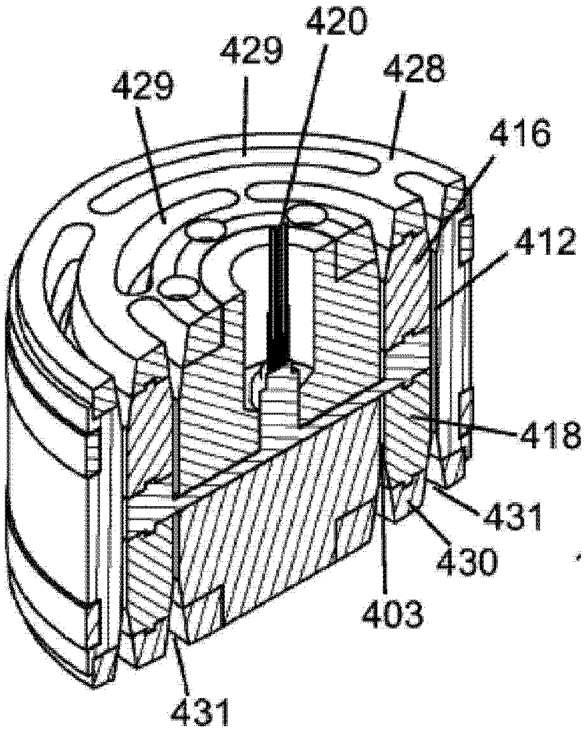

420
429
429
428
416
412
418
431
430
403
431

图 18B

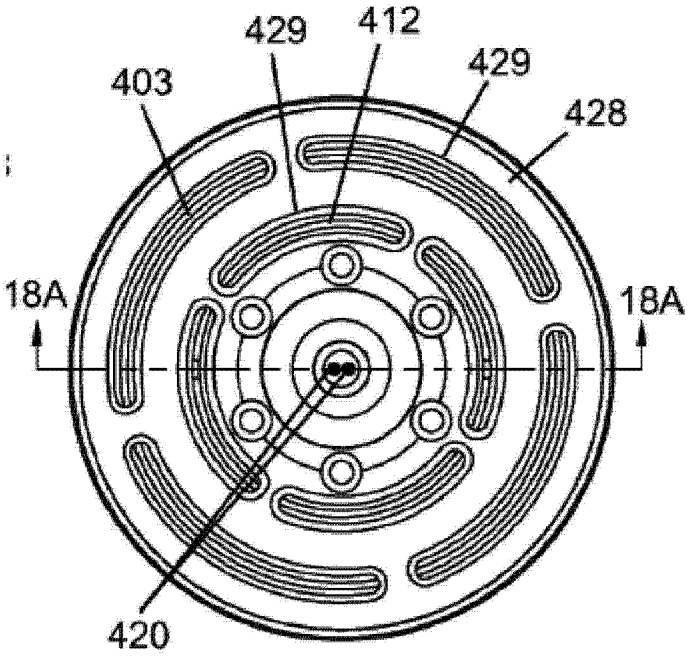

429
412
403
429
428
18A
18A
420

图 18C

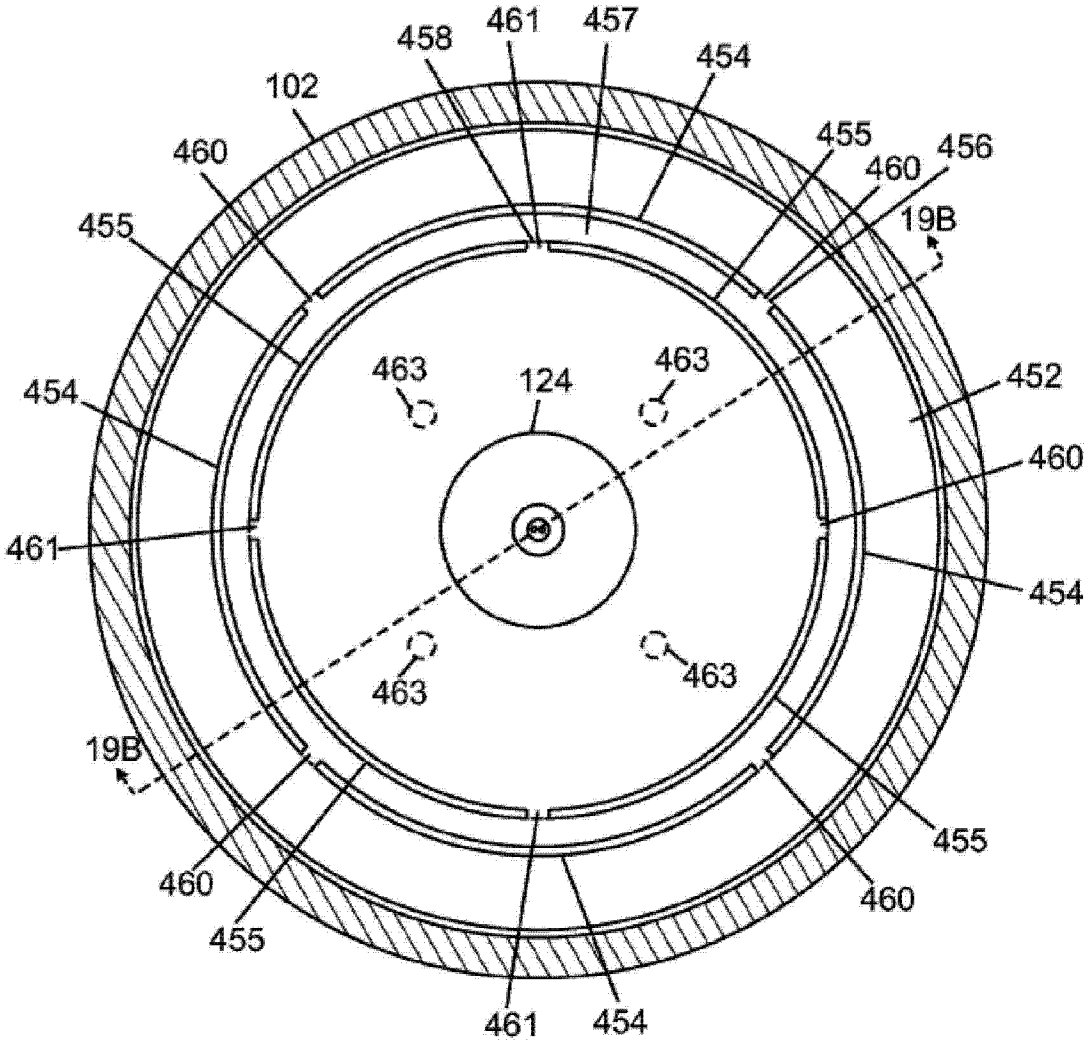

458
461
457
454
102
455
460
456
460
19B
455
463
124
463
452
454
460
461
454
463
463
19B
455
460
460
455
461
454

图 19A

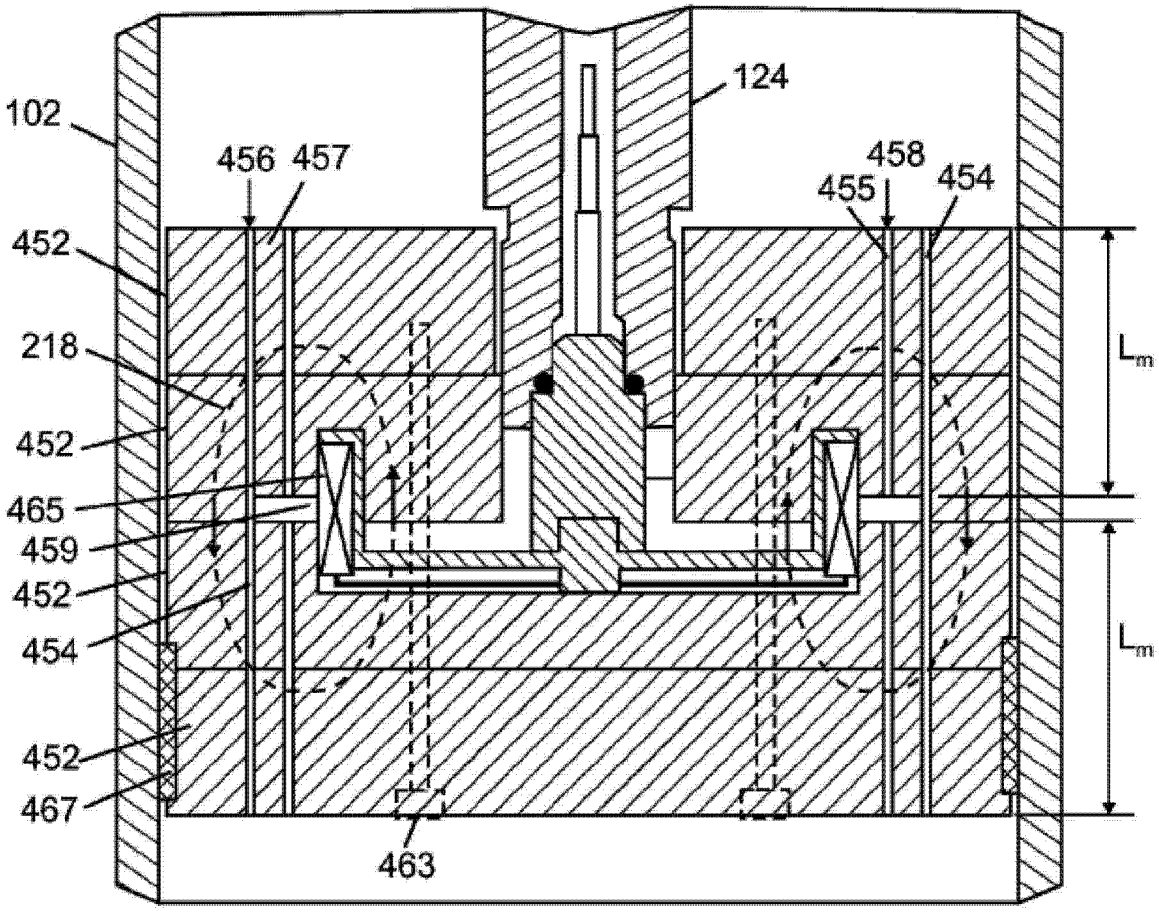

102
124
456
457
458
455
454
452
218
452
465
459
452
454
452
467
463
L_m
L_m

图 19B

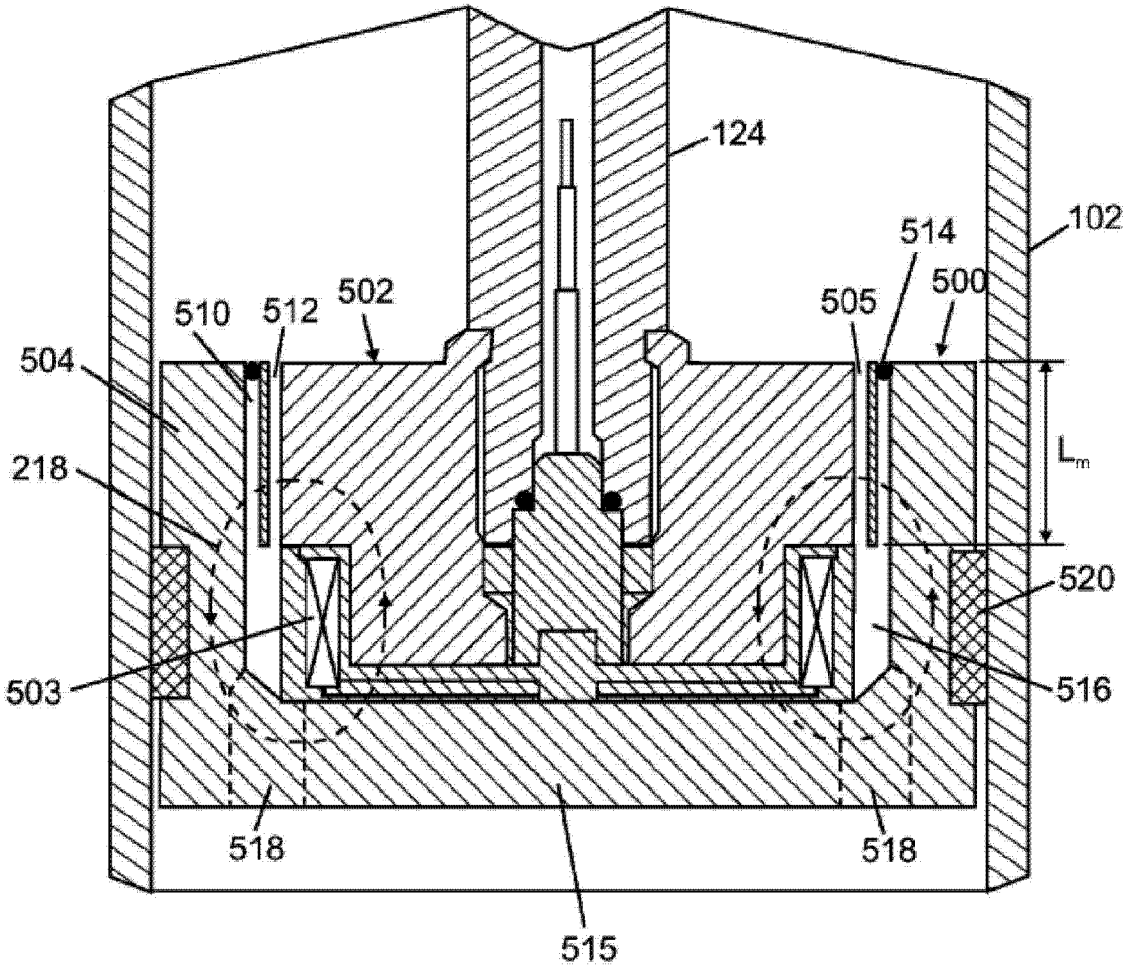

124
102
514
500
505
510
512
502
504
218
L_m
520
503
516
518
518
515

图 20A

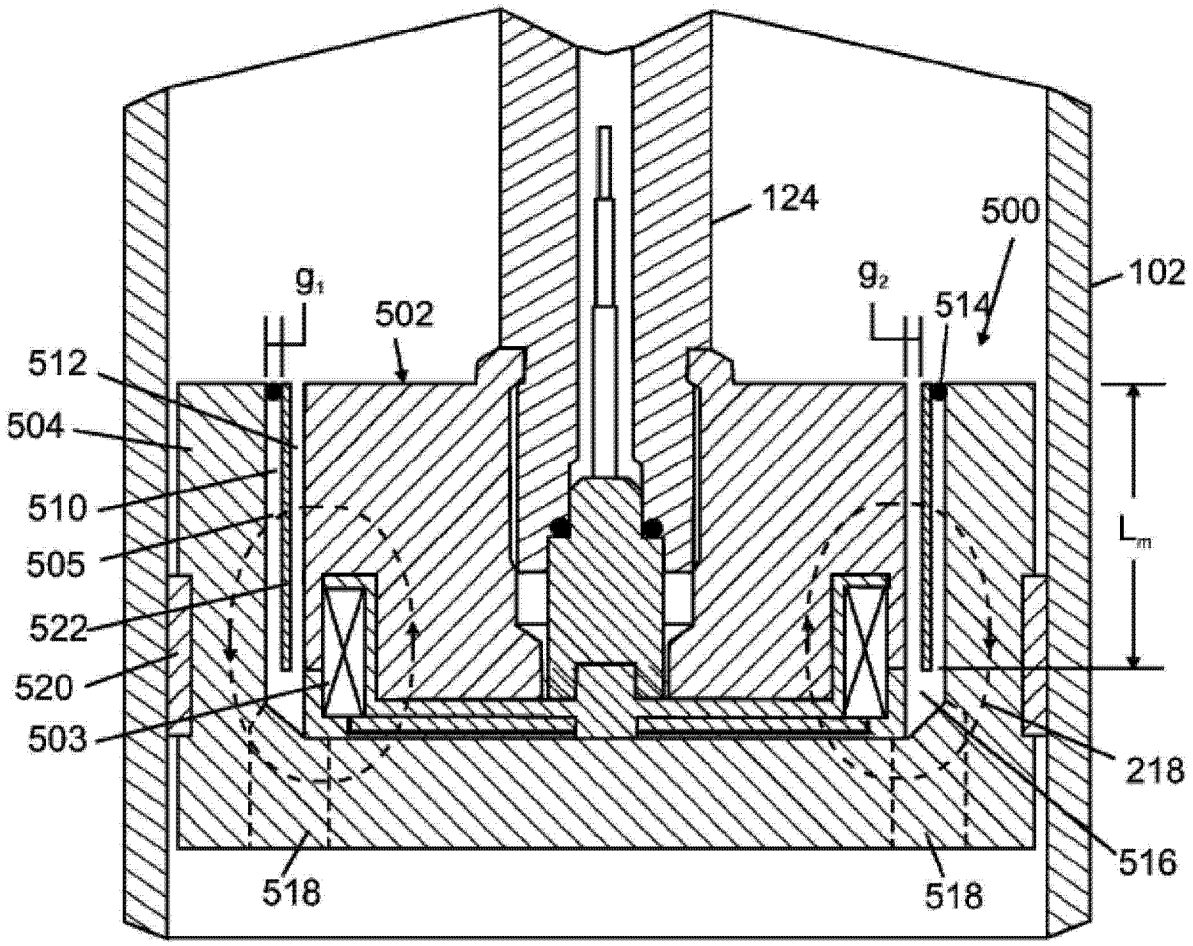

124
500
102
g_1
502
g_2
514
512
504
510
505
522
520
503
L_m
218
516
518
518

图 20B

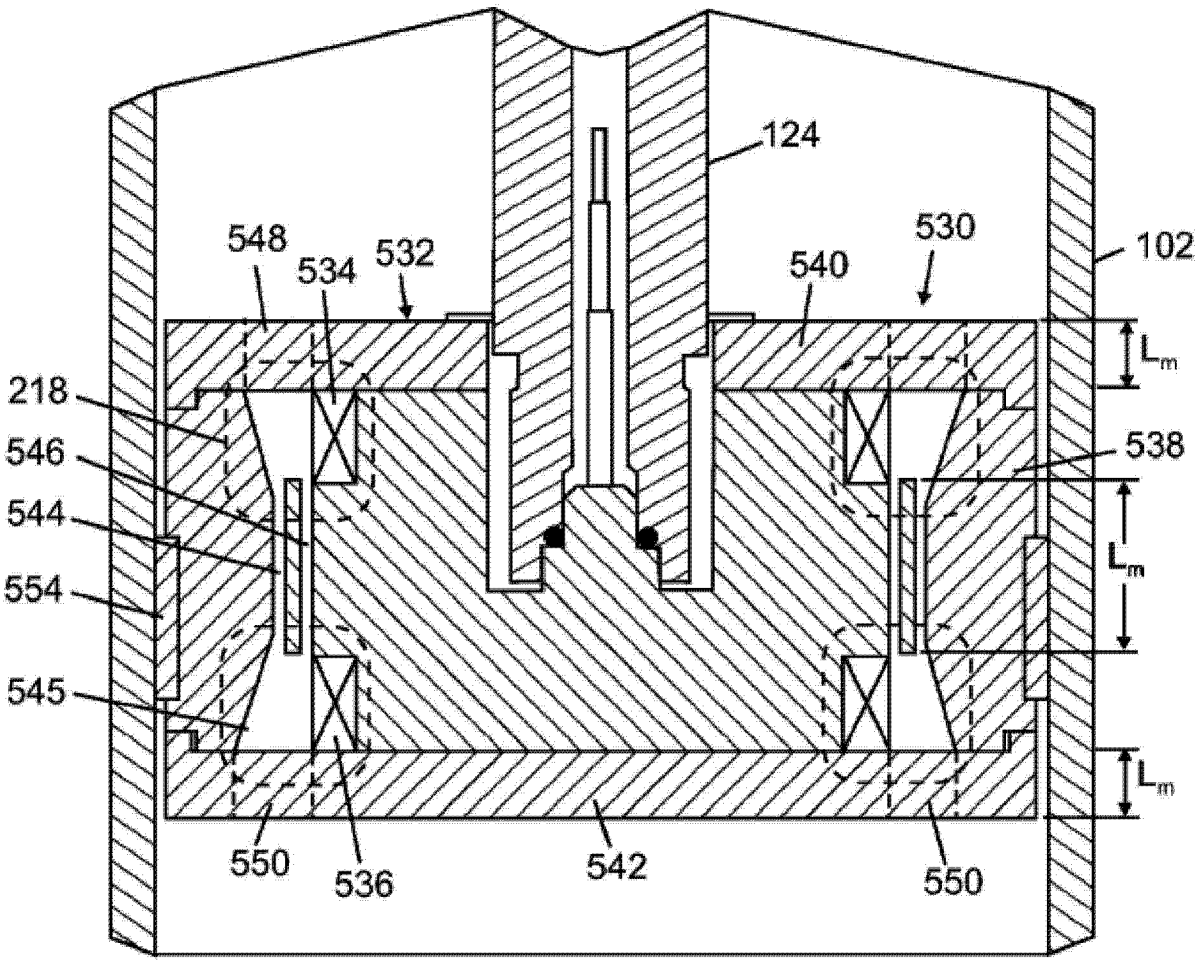

124
548
534
532
530
540
102
218
546
544
554
545
538
L_m
L_m
L_m
550
536
542
550

图 21A

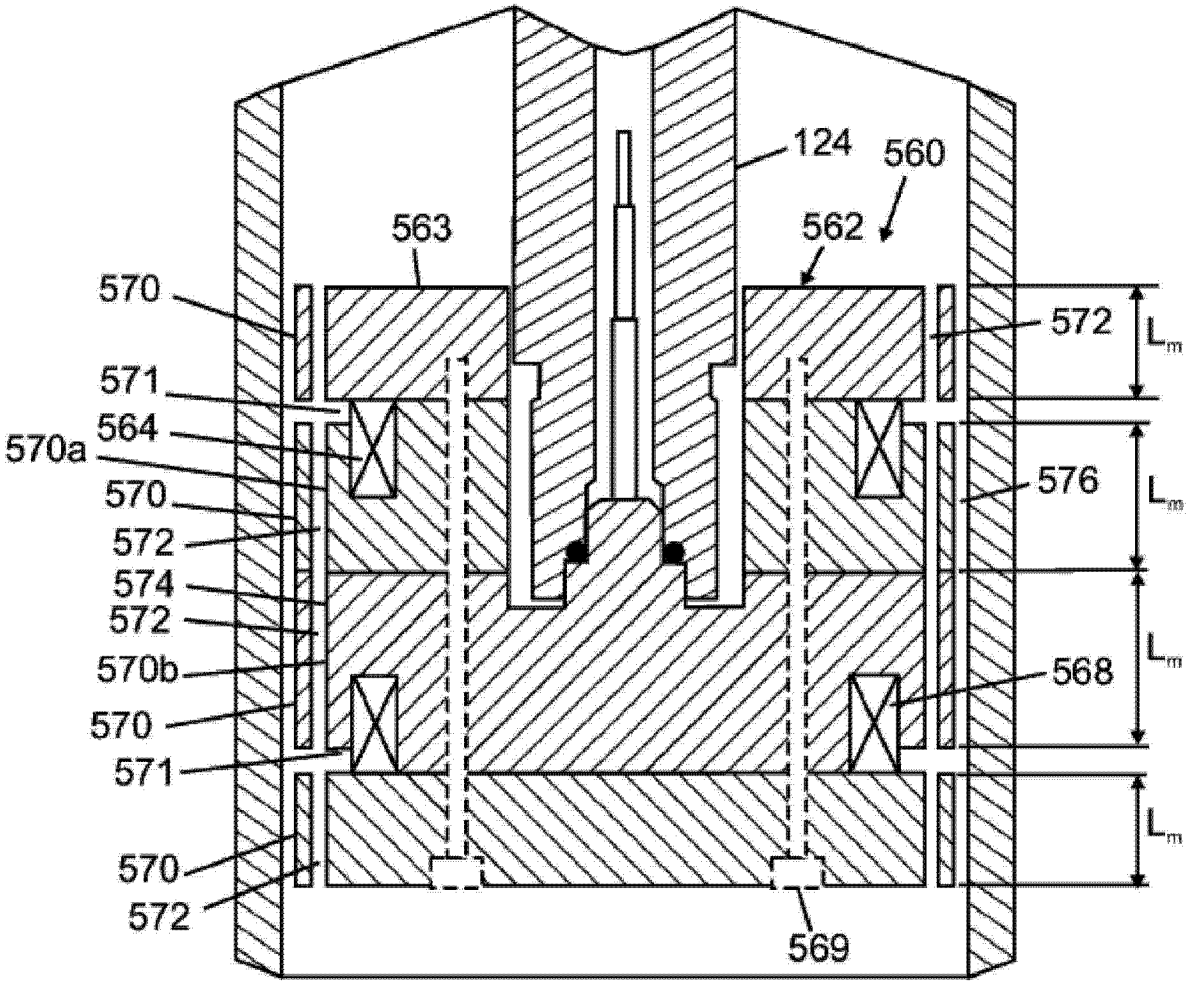

124
560
563
562
570
572
571
564
570a
576
570
572
574
572
570b
568
570
571
570
572
569
Lm
Lm
Lm
Lm

图 21B