

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

A61F 2/68 (2006.01)

F16F 9/53 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 01805955.4

[45] 授权公告日 2006 年 1 月 25 日

[11] 授权公告号 CN 1237949C

[22] 申请日 2001.1.22 [21] 申请号 01805955.4

[30] 优先权

[32] 2000.1.20 [33] US [31] 60/177,108

[86] 国际申请 PCT/US2001/002115 2001.1.22

[87] 国际公布 WO2001/054630 英 2001.8.2

[85] 进入国家阶段日期 2002.9.2

[71] 专利权人 麻省理工学院

地址 美国马萨诸塞州

[72] 发明人 布鲁斯·W·德芬鲍 休·M·埃尔

吉尔·A·帕诺特

米切尔·B·威蒂格

审查员 郑其蔚

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公
司

代理人 刘晓峰

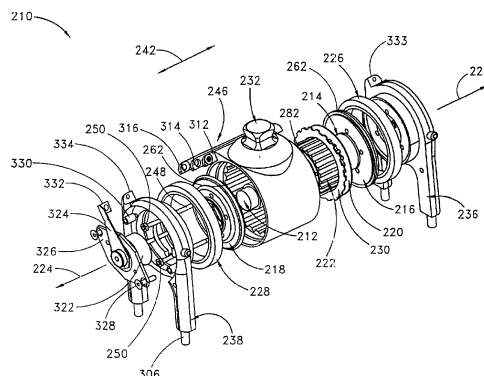
权利要求书 4 页 说明书 38 页 附图 22 页

[54] 发明名称

电子控制的假肢膝关节

[57] 摘要

本发明涉及可变扭矩的磁流变驱动的假肢膝(110, 210), 应用一些交错配置的转子(120, 220)和定子(130, 230)来剪切驻留在它们之间的磁流变流体。优点在于: 因工作在“剪切模式”下, 将不会产生或可忽略流体压力和压力变化。此外, 多重 MR 流体间隙或流通界面可在低速下产生较大的扭矩和提供较宽的动态扭矩范围, 无须附加传动机构, 从而增加了本发明的适用性。在本发明的一个实施例中, 转子(120, 220)和定子(130, 230)之间的间隙可以闭合以形成摩擦阻尼成分, 从而提供了一种包括粘性阻尼和摩擦阻尼的“混合”制动系统。



- 1、一种电子控制的假肢膝，包括：
- 5 一些可绕所述假肢膝纵轴转动的转子；
一些与所述转子交错配置并与所述转子形成中间间隙的定子；
驻留在所述转子和定子之间的间隙中、可响应外加磁场而产生剪切流变液体；
- 由此，控制所述磁场可改变所述流体的流变学参数，所述转子和定
10 子在膝运动中的相对转动可对所述流体产生剪切作用，从而对假肢膝的
转动产生了变膝扭矩。
- 2、如权利要求 1 所述假肢膝，其中所述定子可绕所述假肢膝的纵轴
进行转动。
- 3、如权利要求 1 所述假肢膝，其中至少一个所述转子和定子可在所
15 述假肢膝纵轴的侧向进行移动，从而可使相邻转子和定子机械接触和产
生扭矩中的摩擦阻尼部分。
- 4、如权利要求 1 所述假肢膝，其中所述转子和定子由软磁材料制作。
- 5、如权利要求 1 所述假肢膝，其中所述转子和定子为环型薄片。
- 6、如权利要求 5 所述假肢膝，其中所述转子和定子的厚度为 0.2 毫
20 米。
- 7、如权利要求 1 所述假肢膝，其中所述一些转子包括 100 或更少的
转子，所述一些定子包括 100 或更少的定子。
- 8、如权利要求 7 所述假肢膝，其中所述一些转子包括 40 个转子，
所述一些定子包括 41 个定子。
- 25 9、如权利要求 1 所述假肢膝，其中所述转子和定子间的所述间隙的
尺寸为 10-100 微米。
- 10、如权利要求 9 所述假肢膝，其中所述转子和定子间的间隙尺寸
为 40 微米。
- 11、如权利要求 1 所述假肢膝，其中所述转子和定子为圆筒形管。
- 30 12、如权利要求 1 所述假肢膝，其中所述转子和定子采用兰退火碳

钢或硅钢进行制作。

13、如权利要求 1 所述假肢膝，其中所述流体包括磁控介质。

14、如权利要求 1 所述假肢膝，其中所述流体为可响应所述磁场的变化而产生粘性变化的磁流变流体。

5 15、如权利要求 1 所述假肢膝，进一步包括一个可产生通过所述转子、所述定子和所述流体的所述磁场的磁铁。

16、如权利要求 1 所述假肢膝，进一步包括一个机械上同侧板相连并形成所述磁场磁回路的中心芯体。

10 17、如权利要求 16 所述假肢膝，其中所述芯体和侧板采用具有高饱和和磁通的铁钴合金制作。

18、如权利要求 16 所述假肢膝，其中至少一个所述侧板相对于所述假肢膝的纵轴可做侧向移动。

19、如权利要求 1 所述假肢膝，进一步包括：

15 可形成磁回路的一个软磁材料制作的中心芯体和一对软磁材料的侧板；

一个位于所述芯体与所述转子和定子之间的、可响应电信号产生所述磁场以引起所述流体产生可控流变学变化的电磁铁。

20、如权利要求 1 所述假肢膝，进一步包括一个可与所述转子啮合的可转动内键槽。

20 21、如权利要求 20 所述假肢膝，其中所述内键槽包括一些纵向的齿槽，每个所述转子包括一些可与所述内键槽纵向齿槽进行啮合的轮齿。

22、如权利要求 20 所述假肢膝，其中所述内键槽由钛合金制作。

23、如权利要求 20 所述假肢膝，进一步包括一对与所述内键槽转动连接的轴承。

25 24、如权利要求 23 所述假肢膝，进一步包括一对分别同相应所述轴承机械相连的安装叉状结构，以便所述假肢膝与假肢胫骨部分的连接。

25、如权利要求 1 所述假肢膝，进一步包括一个可与所述定子啮合的外键槽。

30 26、如权利要求 25 所述假肢膝，其中所述外键槽包括一些纵向的齿槽，每个所述定子包括一些可与所述外键槽纵向齿槽进行啮合的轮齿。

27、如权利要求 25 所述假肢膝，其中所述外键槽由经阳极化处理的铝合金制作。

28、如权利要求 25 所述假肢膝，其中所述外键槽包括一个便于所述假肢膝同残留肢套相连接的锥销。

5 29、如权利要求 1 所述假肢膝，进一步包括一个磁场的外部部分和一对机械相连的侧板，以形成所述磁场的磁回路。

30、如权利要求 1 所述假肢膝，进一步包括一个弯曲缓冲止动系统，以控制所述假肢膝的最大弯曲程度。

10 31、如权利要求 1 所述假肢膝，进一步包括一个伸展缓冲止动系统，以控制所述假肢膝的最大伸展程度。

32、如权利要求 1 所述假肢膝，进一步包括一个伸展助动结构，以便有助于所述假肢膝的伸展运动。

33、如权利要求 1 所述假肢膝，进一步包括一个用于监测和控制所述假肢膝运作的控制器。

15 34、一种假肢器具，包括：

如权利要求 1 所述假肢膝；

一个机械上可与所述假肢膝配合并适合于接受被截肢者残留肢的残留肢套；

一个机械上可同所述假肢膝配合的假肢胫骨部分；和

20 一个机械上可与所述假肢胫骨部分配合的假肢足。

35、一种控制电子假肢膝的方法，所述假肢膝包括一些交错配置的转子和定子以及驻留在转子和定子之间一些间隙中的磁流变流体，所述方法包括以下步骤：

外加一个穿过所述转子、所述定子和所述磁流变流体的磁场；

25 剪切驻留在所述转子和定子间所述间隙中的所述磁流变流体，以产生对所述假肢膝转动的粘性阻尼；和

调节所述磁场使所述磁流变流体的粘性产生迅速和精确的变化，从而产生可变的扭矩，实现对所述假肢膝旋转的控制。

30 36、如权利要求 35 所述方法，进一步包括下述步骤：应用所述磁场使所述转子和定子相互吸引，使相邻转子和定子产生摩擦接触，从而对

所述假肢膝的转动产生摩擦阻尼。

37、如权利要求 36 所述方法，进一步包括调节所述磁场使相邻转子和定子间的吸引力产生变化。

电子控制的假肢膝关节

5

技术领域

一般而言，本发明涉及假肢关节；更具体地说，涉及假肢膝关节的可控制动系统。

10 背景技术

已有技术假肢膝关节通常采用三种变矩制动器：（1）干摩擦制动器，使一种材料表面以变力摩擦另一个表面；（2）粘性扭矩制动器，应用经可变尺寸的喷口或节流板喷出的液压流体；和（3）磁流变（MR）制动器或缓冲器，应用经由固定的喷口或节流板喷出的含有细小悬浮铁粒的
15 MR 流体，其黏度可随着外加磁场产生变化。假肢中采用的上述现有技术都有不足之处。

尽管干摩擦制动器可提供不同的扭距范围，但对它们难于进行控制。摩擦面材料在长期使用中会受到磨损，从而改变制动器的摩擦特性和降低其对扭矩指令的响应。这将引起制动性能的不稳定，对被截肢者的步
20 态产生负面影响并使使用者产生不舒适感。因此，干摩擦制动器需要经常进行维护及更换配件，从而增加成本和使用费用。

在高负荷情况下，粘性扭矩制动器需要产生较高的压力，从而容易引起液压流体的泄漏和产生其他的危险。制动装置过负荷后将不可能回复到正常状态，即将导致出现不可逆状况。因此，应用这种粘性扭矩制动的假肢可能出现事故性失效，危及使用者的安全。
25

在磁流变制动器中，术语“阀门模式”表示应用与流体流向垂直的可变磁场来控制由喷口流出的 MR 流体，用其代替传统的粘性扭矩制动器中阀门的作用。但当 MR 制动器工作在“阀门模式”下时，它也会造成内部液体压力的升高和引发上述因过高压力而导致的失效，从而使应用
30 者处于一定风险之中。

发明内容

正是为克服现有技术的上述某些缺陷而进行了本项发明，本发明的首要目的是提供一种变矩磁流变驱动的假肢膝，其中应用一些交错配置的转子和定子来剪切位于它们之间间隙中的磁流变流体。通过使制动器工作在“剪切模式”下，将不会产生流体压力和压力的变化或产生的压力和压力变化可忽略不计。此外，多重 MR 流体间隙或流通介面可在低速或站停时产生较大的扭矩而不必采用附加的传动装置，同时可提供的动态扭矩范围也较宽，从而拓宽了本发明的适用性。在本发明的一个最佳实施例中，转子和定子之间的间隙可以闭合形成摩擦扭矩，从而形成一种可综合提供黏度扭矩和摩擦扭矩的“混合式”制动系统。

按本发明的一个最佳实施例，对所提供的磁流变驱动假肢膝的下肢运动可进行迅速和精确的控制。所述假肢膝包括一个芯体和一对侧板，一些交错配置的由易磁化和消磁的软磁材料制作的转子和定子，一个配置在芯体和转子和定子之间的电磁铁，以及一对轴承。芯体和侧板由易磁化和消磁的软磁材料制成并构成磁路。转子和定子的配置使得在它们之间形成有许多间隙。在这些间隙间充有在膝部运动时受到剪切作用的磁流变流体。电磁铁响应电流信号可产生可变磁场，以控制磁流变流体的黏度。轴承与转子和下肢的胫骨部分相连，以将转动的阻尼扭矩由假肢膝传送到胫骨部分。

按本发明的另一实施例，所提供的假肢膝可控磁流变制动器用于阻尼膝关节的转动。所述假肢膝包括一些间隔和交错配置的软磁转子和定子，磁流变流体以及一个磁铁。转子和定子相对于假肢膝的转动轴同心配置。磁流变流体驻留在转子和定子之间的间隙中。磁铁响应外施电压产生可变磁场，所述磁场的磁力线穿过转子、定子和磁流变流体。对转子和定子间磁流变流体的剪切可产生准确控制假肢膝转动的可变扭矩输出。

按本发明的又一个实施例，所提供的电子控制的假肢膝可产生较宽范围的动态扭矩。所述假肢膝包括一些转子和定子，以及可响应外施磁场产生流变的流体。转子由铁磁材料制成，它们相对于假肢膝的纵向转轴可进行转动并在横向可以移动。定子也由铁磁材料制成，定子与转子交

替间隔配置，从而在它们之间形成间隙。定子相对于假肢膝的转动轴可横向移动。所述流体驻留在转子和定子之间的间隙中。在假肢膝转动的过程中，磁场的驱动将产生对膝转动的可变阻尼扭矩。

按本发明的再一个实施例，为被截肢者提供了一种可转动的假肢膝。

5 所述假肢膝包括一个可转动的内键槽，一些与内键槽相互啮合的转子，一些与转子交错配置的定子，一个与定子相互啮合的外键槽，以及驻留在转子和定子间一些密封间隙中的磁控介质。所述磁控介质响应外施磁场可产生可控的松密度变化，从而使剪切磁控介质的转子转动受到准确控制，从而使假肢膝的转动阻尼受到可变控制，这样就可使被截肢者的

10 步态更为自然。

按本发明的一个实施例，为假肢膝提供了可变扭矩的磁流变制动器。所述制动器包括一个芯体，一个与芯体第一端相连的第一侧板，一个与芯体第二端部相连的第二侧板，以及位于第一和第二侧板间的可转动和可横向移动的叶片。所述制动器进一步包括驻留在叶片与侧板之间一对

15 狭隙中的磁流变流体，以及一个可产生磁路通过芯体、第一侧板、第二侧板、叶片和磁流变流体的磁场的磁铁。所述狭隙的尺寸应尽量小，使叶片与侧板之间在磁场为零时没有摩擦接触，从而使假肢膝可灵活摆动并可提供较宽的动态阻尼范围。

按本发明的另一实施例，为假肢膝提供了一种可控的转动阻尼器。所述

20 阻尼器包括一些交错配置的内侧转片和外侧转片，一些磁流变流体膜，一对侧板和一个电磁铁。内侧转片和外侧转片相对于假肢膝的纵轴同心配置。磁流变流体膜驻留在内侧转片和外侧转片间的一些间隙之中。所述一对侧板将内侧转子和外侧转子夹在中间，至少有一个侧板沿假肢膝的纵轴是可以移动的。所述电磁铁可建立一个通过内侧转子、外侧转子、

25 磁流变流体和侧板的磁场。内侧转子与外侧转子间的相对转动和至少一个侧板的横向运动将产生控制假肢膝转动的可变阻尼扭矩。

按本发明的再一个实施例，提供了迅速和准确控制假肢膝转动的方法。所述假肢膝包括一些交错配置的由易磁化和消磁的软磁材料制成的转子和定子，以及驻留在所述转子和定子之间一些间隙中的磁流变流体。

30 所述方法包括建立一个磁场使转子和定子间具有相互吸引力，使相邻转

子和定子形成摩擦接触，从而对假肢膝的转动产生摩擦阻尼。在转子和定子间隙中的磁流变流体受到剪切作用，从而产生对假肢膝转动的黏度阻尼。对磁场进行调节可迅速和准确地改变磁流变流体的黏度及相邻转子和定子间的吸引力。这样就提供了可以控制假肢膝屈曲和伸展的可变转动扭矩。

为概述本发明及其相对于现有技术的优点，以上说明了本发明的一些特点和目标。当然，应当理解，本发明的某一个具体实施例不一定能够体现本发明的所有特色和优点。因此，具有本领域专门知识和技能的人们可以以某种方式来实施本发明，使本发明所述的某一或某些特色和优点得以实现或突出，而不一定同时强调实现本发明的其他目标和优点。

上述实施例均在本发明的范围之内。以下将结合附图详述本发明的最佳实施例，熟悉本领域的人们由此会更明晰本发明的上述及其它可能的实施状况，但本发明并不仅仅局限于在此公开的具体实施例。

附图说明

以上对本发明的性质、特色和优点进行了概述，以下结合附图的详述将使熟悉本领域技术的人们更清楚地了解本发明的最佳实施例及其可能进行的修改。附图包括：

图 1 为正常人步行周期的示意图，表明下肢在站立相和摆动相中的各种位置和姿态；

图 2 为具有本发明一个最佳实施例所述特色和优点的、包括电子控制假肢膝的下肢假肢的结构图；

图 3 结构简图表明本发明假肢膝一个最佳实施例的总体结构；

图 4 为一详细的部件分解透视图，表明具有本发明一个最佳实施例所述特色和优点的、磁流变驱动的假肢膝结构；

图 5 为图 4 假肢膝的剖视图；

图 6 为具有本发明一个最佳实施例所述特色和优点的图 4 中芯体的透视图；

图 7 为图 6 芯体的侧视图；

图 8 为为图 6 芯体的端部视图；

图 9 为具有本发明一个最佳实施例所述特色和优点的图 4 中芯体侧板的前视图；

图 10 为图 9 芯体侧板的后视图；

图 11 为沿图 9 中 11-11 线的截面剖视图；

5 图 12 为图 11 中 12-12 部分的局部放大视图；

图 13 为具有本发明一个最佳实施例所述特色和优点的芯体与侧板组装后的前视图；

图 14 为沿图 13 中 14-14 线的截面剖视图；

10 图 15 为具有本发明一个最佳实施例所述特色和优点的图 4 中内键槽的端面视图；

图 16 为沿图 15 中 16-16 线的截面剖视图；

图 17 为图 16 中 17-17 部分的局部放大视图；

图 18 为具有本发明一个最佳实施例所述特色和优点的图 4 中一个转子的前视图；

15 图 19 为图 18 转子的侧视图；

图 20 为具有本发明一个最佳实施例所述特色和优点的图 4 中一个定子的前视图；

图 21 为图 20 定子的侧视图；

20 图 22 为具有本发明一个最佳实施例所述特色和优点的图 4 中外键槽的透视图；

图 23 为图 22 外键槽的端部视图；

图 24 为图 22 外键槽的俯视图；

图 25 为沿图 23 中 25-25 线的截面剖视图；

图 26 为具有本发明一个最佳实施例所述特色和优点的芯体透视图；

25 图 27 为图 26 芯体的侧视图；

图 28 为图 26 芯体的端部视图；

图 29 为具有本发明一个最佳实施例所述特色和优点的芯体侧板的透视图；

图 30 为图 29 芯体侧板的前视图；

30 图 31 为图 29 芯体侧板的后视图；

- 图 32 为沿图 31 中 32-32 线的截面剖视图；
图 33 为图 32 中 33 部分的局部放大视图；
图 34 为具有本发明一个最佳实施例所述特色和优点的第二芯体侧板的透视图；
- 5 图 35 为图 34 芯体侧板的后视图；
图 36 为沿图 35 中 36-36 线的截面剖视图；
图 37 为具有本发明一个最佳实施例所述特色和优点的磁铁线圈的透视图；
图 38 为图 37 磁铁线圈的端部视图；
- 10 图 39 为沿图 38 中 39-39 线的截面剖视图；
图 40 为具有本发明一个最佳实施例所述特色和优点的内键槽的透视图；
图 41 为图 40 内键槽的端部视图；
图 42 为图 40 内键槽的侧视图；
- 15 图 43 为图 41 中 43-43 部分的局部放大视图；
图 44 为图 42 中 44-44 部分的局部放大视图；
图 45 为具有本发明一个最佳实施例所述特色和优点的一个转子的前视图；
图 46 为图 45 转子的侧视图；
- 20 图 47 为图 45 中 47-47 部分的局部放大视图；
图 48 为具有本发明一个最佳实施例所述特色和优点的一个定子的透视图；
图 49 为图 48 定子的侧视图；
图 50 为图 48 中 50-50 部分的局部放大视图； 以及
- 25 图 51 为本发明磁流变驱动假肢膝另一个最佳实施例的结构剖视图，其中磁路通过假肢膝的外部。

具体实施方式

- 了解正常人的行走/跑动过程是设计和开发有效的下肢假肢的基础，
30 以便能借助假肢实现人体的可控运动。正常人的行走步态可被描述为导

致人体重心不断向前移动的下肢和躯体的一系列有节奏的交替运动。

如图 1 所示，由一个下肢 10 的脚踵触地到所述下肢 10 脚踵的下一次触地之间发生的一系列运动构成了一个典型的步行周期。下肢 10 包括脚部 12 和通过膝或膝关节 18 相连的大腿 16 和小腿 14。在一个步行周期中，下肢要经历一个站立相 20 和一个摆动相 22。

站立相 20 始于脚踵触地 24，即脚踵接触地板或支撑地面，同时站立相膝关节开始产生轻微弯曲。膝关节的弯曲有益于吸收冲击和使人体重心在站立相基本保持垂直。

紧接着脚踵触地 24 之后的是全足放平阶段 26，此时脚底开始保持与地面的接触。站立相膝关节在经历其最大弯曲后再次伸展，直至达到站立相中期 28 时的最大伸展程度，此时，人体体重刚好转到支撑下肢的垂直方向并有以脚为轴继续向前转动的趋势。

在脚踝之上人体继续向前转动时，脚踵在脚踵离地阶段 30 中开始离开地面。此后，人体在腓肠肌的推力作用下被推动向前（蹬离期）。这种推动力一直保持到全脚离开地面的脚趾离地阶段 32。

在站立相后期，支撑腿的膝关节开始弯曲，以便腿脚离开地面进入摆动相阶段。在文献中一般将其称为“膝关节屈曲”。此时另一脚开始触地，人体处于“双腿支撑模式”，即体重由两条腿进行支撑。

在脚趾离地期 32，随着髁关节的弯曲和膝关节在膝关节屈曲过程中弯曲到一定角度，脚部离开地面，膝关节进一步弯曲进入摆动相。在摆动中期 34 达到最大弯曲后，膝关节开始伸展，进入摆动加速期。在膝关节达到完全伸展后，又进入下一个脚踵触地期 24，脚部再次触地，进入下一个步行周期。

一般而言，直立态为解剖位，因此，屈曲为人体某一部位离开伸展态或站立相或解剖位的运动。这样，膝关节的弯曲是一种膝屈曲。而伸展是下肢向解剖位的运动，因此，膝关节的伸展是一种在“伸直”方向上的膝关节运动。

在平面上的典型步行行进中，最大屈曲角 α_F 约为 70-80 度角，最大伸展角 α_E 接近 180 度。也就是说在平地步行中，正常人膝关节要转动 70-80 度角，由站立相初期和中期的完全伸展位转到脚趾离地之后的屈

曲 70-80 度角。在其它状态下，例如在取坐位时，最大屈曲角 α_f 约为 140-150 度。

系统概述

5

图 2 为按本发明一个实施例的假肢 100 的结构图，所述假肢 100 包括电子控制的转动膝关节，具有本发明的特色和优点。如以下将要详细描述，所述转动假肢膝包括一个变矩磁流变制动系统 110，可在被截肢者进行步行或运动时提供适当阻力以模拟天然膝关节的体位和运动。仿真膝 110 的一端在机械上 10 与一个残留肢套 102 相连，所述残留肢套 102 用于同被截肢者的残留肢或股骨 104 进行配合；仿真膝 110 的另一端在机械上与一个悬杆或胫骨部件 106 相连，后者再与假肢足或仿真足 108 相连。

本发明假肢膝关节 110 的优点在于可使被截肢者适应各种环境，在较广泛的环境条件下进行舒适和安全的运动，例如进行行走、跑动、坐下等动作，或适应环境条件的变化进行一些更为激烈和精巧的动作-如提起手提箱和走下斜坡等。

在下肢承重时，仿真膝关节 110 可提供站立相控制，减少发生弯折的可能性。同时，假肢膝 110 还可提供空中摆动控制，使膝关节在脚踵触地的瞬间或之前平稳和自然地达到完全伸展状态。此外，通过适当调节 20 阻尼扭矩的范围和幅度，假肢膝 110 可适用于具有不同体重、身高和活动要求的广泛患者。

本发明仿真膝 110 最好用于膝上 (A/N) 被截肢者。或者，考虑到实现本发明的一个或多个优点和提供一种具有自然感受和安全的假肢，本发明仿真膝 110 在期望和需要时也可用于在膝关节处进行截肢的膝部 25 (K/D) 被截肢者。

图 3 为一个简化的结构图，表明按本发明一个实施例的转动假肢膝或磁流变 (MR) 制动系统 110。所述假肢膝 110 包括一个被电磁铁或磁铁线圈 114 包围的芯体 112，它在机械上与一对侧板 116 和 118 相连。通过 30 控制流过电磁铁 114 的电流，可以产生可变磁场。芯体 112 及侧板 116

和 118 最好采用铁磁类材料制造，采用具有高饱和磁通密度的易磁化和消磁的软磁材料进行制造则更好。

5 假肢膝 110 进一步包括一些与内键槽 122 相连的内侧叶片 120。内键槽 122 环绕或包围电磁铁 114 并在机械上与侧板 116 和 118 相连。内侧叶片 120 最好相对于转动制动轴 124 做同心配置。内键槽 122 最好可绕膝关节转动轴 124 进行转动，从而使内侧叶片或转子 120 及侧板 116 和 118 也可绕其转动。内键槽 122 的转动相应于小腿（膝下部分）的转动或运动。

10 假肢膝 110 还包括一些与外键槽 132 相连的外侧叶片 130。外键槽 132 环绕或包围内键槽 122。外侧叶片 130 最好相对于转动制动轴 124 同心配置。外键槽 132 最好可绕膝关节转动轴 124 转动，从而使外侧叶片或定子 130 也可绕其进行转动。外键槽 132 的转动相应于大腿（膝上部分）的转动或运动。外键槽或外罩 132 包括有便于假肢膝关节 110 与适当残留肢套互相连接的结构。外键槽 132 及定子 130 最好相对于残留肢或残留肢套是不可转动的或非可转与其相连。

20 一些转子 120 和定子 130 交错配置，它们之间的间隙充有磁流变流体 134，即磁流变流体 134 驻留在内键槽 122 和外键槽 132 之间形成的通路或腔槽中。在一个最佳实施例中，位于相邻转子 120 和定子 130 之间的磁流变流体 134 构成相邻转子 120 和定子 130 间的液膜。处于侧板 116 和 118 及相邻定子 130 之间的磁流变流体切变也可起到对膝关节转动进行阻尼的作用。

25 在膝关节转动时，转子 120 和定子 130 一些间隙中的磁流变流体受到剪切和出现切变，从而产生阻尼扭矩以控制肢体的转动。叶片 120 和 130 最好由铁磁材料制作，用具有高饱和磁通的易磁化和消磁的软磁材料制作则更好，因其具有更大的机械上的适用性。

30 膝关节 110 进一步包括一对分别与相应侧板 116 和 118 相连的滚珠轴承 126 和 128，滚珠轴承 126 和 128 进一步与相应的侧板或安装支架 136 和 138 相连。这样，在内键槽 122 与安装支架 136 和 138 之间就建立起了转动连接。安装支架 136 和 138 与外键槽 132 共同构成膝关节 110 的主要外壳。侧板或安装支架 136 和 138 最好包括有便于假肢膝关节同悬

杆或胫骨互相连接的结构，其具体说明如下。

芯体 112 和电磁铁 114 也最好能随着内键槽 122、转子 120、侧板 116 和 118 以及安装支架 136 和 138 的转动而转动。定子 130 随着外键槽 132 的转动而转动。

- 5 转子 120 固定在内键槽 122 上并可随其一起转动，定子 130 固定在外键槽 132 上并可随其一起转动。在膝关节转动或行进的不同阶段，转子 120 可能绕膝关节转动轴 124 转动而定子 130 相对静止，或者定子 130 转动而转子 120 静止，或者二者都进行转动或均相对静止。在此使用“转子”和“定子”这两个术语是为了区分内侧叶片 120 和外侧叶片 130，
10 虽然它们都是可能转动的，也是为了说明在转子 120 和定子 130 之间可产生相对转动（在相邻转子 120 和定子 130 之间的间隙将产生磁流变流体的切变）。因此，也可将叶片 120 称之为“内侧转子”，将叶片 130 称之为“外侧转子”。

- 为激励磁铁 114 以产生磁场，需要在膝关节 110 中配置磁通回路 140。
15 在一个最佳实施例中，磁场 140 依次通过芯体 112，通过侧板 118 向外辐射，侧向通过交错配置的转子 120 和定子 130 及磁流变流体 134，然后通过侧板 116 向内敛聚。通常将穿过芯体 112 及侧板 116 和 118 的这部分磁场 140 定义为磁通回路，而将穿过转子 120、定子 130 和磁流变流体 134 的磁场定义为有效磁场或功能磁场。

- 20 依据外施磁场强度的变化，磁流变流体 134 将产生流变学或黏度变化。这种流体黏度的变化又进一步决定了所产生的切变力/应力、扭矩或转动阻尼的大小，从而决定了假肢膝所提供的阻尼程度。这样，通过控制磁场强度就可控制假肢的运动，例如控制摆动相和站立相期间的屈曲和伸展程度，从而使被截肢者能够更自然和安全地行动。

- 25 在一个最佳实施例中，转子 120 和定子 130 在侧向 142 的方向上可进行移动，相邻转子 120 和定子 130 在磁场的作用下可产生彼此间的接触摩擦，摩擦力取决于磁场强度，这样可形成磁流变与摩擦阻尼相“混合”的制动系统。在另外一个实施例中，转子 120 和定子 130 相对内键槽 122 和外键槽 132 的侧向位置是固定的，在这种情况下，制动靠的是磁流变
30 或黏度的作用。或者，在期望和需要时可使一些转子 120 和定子 130 侧

向固定而使另一些转子 120 和定子 130 可侧向移动，以实现本发明的一个或多个特色与优点和提供具有自然感和安全的假肢。在一个实施例中，侧板 116 和 118 也可侧向移动，由于同相邻定子 130 的接触摩擦而起到摩擦阻尼的作用。

- 5 通过采用剪切模式进行工作，本发明磁流变假肢膝内不会产生流体压力或产生的压力可忽略不计。这样，可以消除或减少出现液体泄漏和假肢膝损坏的可能性，从而提高器具的安全性。

如最佳实施例所述，本发明所提供的多重切变面或流通介面具有扭矩倍增器的作用，可使黏度扭矩逐步增加到预期的最大值，而无须采用额
10 外的变速传动或辅助部件。例如，如果两个流通介面可产生的最大阻尼扭矩为 1 牛顿/米，那么 40 个介面将产生 40 牛顿/米的黏度阻尼扭矩。与此比较，如果采用 40: 1 的变速传动部件来增加黏度扭矩，则不仅会使系统的惯量增加近 1600 倍，而且系统的重量、尺寸和复杂性也将大大增加。

- 15 本发明实施例假肢膝中提供的多重切变面或介面还可用于产生较宽的动态扭矩范围，从而可为患者提供更为自然和安全的假肢器具。同时 本发明实施例所示磁流变假肢膝还可提供迅速和精确的反应，从而使患者可进行更自然和安全的行动。

20 磁流变驱动的假肢膝

图 4 和图 5 表明一个具有本发明一个实施例所述特色和优点的可控转动假肢膝关节 210。假肢膝 210 可产生所需的相对于假肢膝转轴 224 的耗散力或阻尼扭矩。

- 25 可进行电子控制的假肢膝 210 包括：一个在机械上与一对可转动侧板 216 和 218 相连的芯体 212，电磁铁 214，一些同可转内键槽 222 机械相连的转子 220，一些同可转外键槽 232 机械相连的定子 230，以及一对用于向一对侧板或叉状结构 236 和 238 进行转动传动的滚珠轴承 226 和 228。所述转动是绕假肢膝转轴 224 进行的。

- 30 所述的一些转子 220 和 230 交错配置，相邻的转子 220 和定子 230 之

间的间隙或狭隙间驻留有磁流变流体的润滑膜，即驻留在内键槽 222 和外键槽 232 之间形成的腔槽中。通过剪切处于相邻转子 220 和定子 230 之间多个间隙或流通介面中的磁流变流体，本实施例提供了一种具有较宽动态扭矩范围的可控和可靠的假肢膝关节。

- 5 在假肢膝 210 中，采用端部具有螺纹的螺杆 248 和螺帽 250 使假肢膝的部件相互连接，这样既可便于组装和拆卸又能减少所用的连接件。或者在期望和需要时，考虑实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点以及能够保证部件间的有效连接，也可采用螺栓、销钉、楔榫、夹紧螺钉等其它各种形式的连接件。

10

芯体及与其配合的侧板（磁通回路）

- 15 芯体 212 及侧板 216 和 218 最好由具有高饱和磁通密度和高导磁率的易磁化和消磁的软磁材料制作。这样，当电磁铁被激励产生磁场时，在假肢膝 210 内可建立起磁通回路。在一个最佳实施例中，磁场在纵向（平行于转轴 224）穿过芯体 212，以辐射状通过侧板 218，侧向（平行于侧向 242）通过交错配置的转子 220 和定子 230 及磁流变（MR）流体，以辐射状通过侧板 216。

- 20 电磁铁 214 的取向或定位及流过它的电流方向决定了磁场的极性，并从而决定了磁场通过侧板 218 或 216 是向外辐射还是向内敛聚。磁场通过芯体 212 及侧板 216 和 218 的部分一般被定义为磁回路，而磁场通过转子 220、定子 230 以及在它们之间驻留的 MR 流体的部分通常被定义为有效磁场或功能磁场。

- 25 图 6-8 表明假肢膝 210 芯体 212 的一个实施例。芯体 212 最好为圆柱形，它包括两个圆柱体 252 和 254，圆柱体 252 的直径大于圆柱体 254 的直径。圆柱体 252 的尺寸和结构使其能够同侧板 216 的腔槽紧密配合，圆柱体 254 的尺寸和结构使其能够同侧板 218 的腔槽紧密配合。这样，芯体 212 就可随侧板 216 和 218 的转动而转动。在其它的最佳实施例中，在期望和需要时，芯体 212 也可采用其它有效的形状和尺寸，只要能够
30 提供结构紧凑、重量小和可靠耐用的假肢膝和实现本发明文件所述的一

个或多个特色和优点。

芯体 212 最好用具有高饱和磁通密度、高导磁率和低矫顽磁力的材料进行制造。这样，有利于使假肢膝或制动器结构紧凑、重量小和坚固可靠。在一个最佳实施例中，芯体 212 为一个综合整体。在另一个最佳实
5 施例中，芯体 212 由薄片迭层构成，以减少涡流损失。

芯体 212 最好由具有高饱和磁通密度的铁钴合金制作。在一个最佳实施例中，芯体 212 由高饱和磁通铁钴合金 ASTM A-801-1 型合金制造，其中钴约占 50%。例如，芯体 212 也可采用 Principal Metals 的 Hiperc Alloy 50、Permendur Vtm 或 Vanadium Pemendur 等材料进行制作，也可
10 采用德国 Hanau Vacuumschmelze 的 Vacoflux 50 进行制造。在另一个实施例中，采用低钴合金制造芯体 212，例如采用德国 Hanau Vacuumschmelze 的 Vacoflux 17，其中的钴含量约为 17%。在其它最佳实施例中，当期望或需要时，芯体 212 也可采用其它的具有高饱和磁通、高导磁率和低矫顽磁力的材料进行制造，只要能够使所提供的假肢膝结
15 构紧凑、重量轻和坚固可靠以及能够实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

在一个最佳实施例中，芯体 212 制造材料的饱和磁通密度约为 2.2T（特斯拉）。需要材料具有如此之高的饱和磁通密度，因为它可使所设计的产品重量轻和结构紧凑。例如，如果采用具有较低饱和磁通密度的材
20 料，为达到同样的最大扭矩和最大的动态扭矩范围，就必须加大芯体 212 在外施磁场穿过方向上的截面面积。在其它最佳实施例中，在期望和需要时，也可采用饱和磁通密度较高或较低的材料，只要能够使所提供的假肢膝结构紧凑、重量轻和坚固可靠以及能够实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

为获得良好的磁学性能，芯体 212 在机械加工后最好在氢气气氛中进行热处理。在其它的最佳实施例中，当期望或需要时，芯体 212 也可采用铸造、锻造、模压、层压等方法进行制造，只要能够使所提供的假肢
25 膝结构紧凑、重量轻和坚固可靠以及能够实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

30 在一个最佳实施例中，参阅图 7，芯体 212 的结构尺寸为：长度 L71

约为 3.076 厘米 (1.211 英寸), 长度 L72 约为 0.61 厘米 (0.240 英寸), 直径 D71 约为 1.728 厘米(0.6805 英寸), 直径 D72 约为 1.424 厘米(0.5605 英寸)。在另一个最佳实施例中, 直径 D71 和 D72 约为 1.91 厘米 (0.750 英寸)。在其它的最佳实施例中, 当期望或需要时, 芯体 212 也可采用其
5 它的结构尺寸, 只要能够使所提供的假肢膝结构紧凑、重量轻和坚固可靠以及能够实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

图 9-12 表明假肢膝 210 芯体侧板 216 的一个最佳实施例。侧板 216 最好为圆环形, 中央有一个圆形的腔槽或通孔 256, 用于同芯体圆柱体 252 的自由端进行紧密的配合和连接。这种配合和连接最好通过压配合进行。
10 在期望和需要时, 侧板 216 和腔槽 256 也可采用其它有效的形状和结构。

在一个实施例中, 另一个侧板 218 的形状、结构和尺寸与图 9-12 所示的侧板 216 大体相同, 只是其圆形腔槽的形状和尺寸要与芯体圆柱体 254 进行紧密的配合和连接-最好通过压配合予以实现。因此, 可以理解, 对芯体侧板 216 的详细描述在很大程度上足以体现侧板 218 的相应特征,
15 在此不再赘述以使本公开文件更为简要和清晰。

侧板 216 包括一些等距环形排列的通孔 258, 用于接受端部带螺纹的螺杆或螺帽等连接件, 以便将假肢膝的各种部件组装起来。在一个最佳实施例中, 侧板 216 上有 5 个通孔 258; 在另一个实施例中, 侧板 216 包括有 216 个通孔 258。在期望和需要时, 也可采用其它形式排列的或
20 多或少的通孔 258。

芯体侧板 216 最好包括一个环形槽 260, 用于接受环形密封圈 (垫) 262, 为可转动的侧板 216 和可转动的外键槽 232 的内表面之间提供动态密封, 以防止假肢膝 210 中的 MR 流体泄漏。另一个侧板 218 也有用于接受环形密封圈 (垫) 262 的同样结构 (图 4), 以提供动态密封。在其
25 它一个最佳实施例中, 为在芯体侧板 216 和 218 及外键槽 232 之间提供动态密封, 在外键槽 232 的内面上配置了两个沟槽或法兰。

环形密封圈 (垫) 262 由适当的橡胶类材料-例如采用氟化橡胶、聚四氟乙烯和聚氯丁橡胶等进行制作。在一个最佳实施例中, 环形密封圈 (垫) 262 的内径约为 50 毫米, 宽度约为 1.5 毫米。在其它的最佳实施例中,
30 当期望或需要时, 也可采用其它结构和尺寸的有效动态密封手段, 只要

能够提供可靠的密封和实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

侧板 216 的内面最好有一个环形的凸肩或台阶 264 (图 4), 用于同内键槽 222 的定位配合。侧板 216 的外表面最好有一个环形的凸肩或台阶 266 (图 4), 用于同外侧叉状结构 236 (图 4) 的定位配合。台阶 266 最好包括一个用于通过导线的切口 268。在中央腔槽 256 的周围还开有可
5 通过导线的一些其它孔。芯体侧板 216 的外表面包括一个锥形结构 270, 以便减轻重量、节约材料和为组装留出便利空间。

芯体侧板 216 最好采用具有高饱和磁通密度、高导磁率和低矫顽力的材料制作, 以有利于制造重量轻、结构紧凑和坚固可靠的假肢膝。在一个最佳实施例中, 侧板 216 为一个综合的整体结构; 在另一个最佳实施
10 例中, 侧板 216 为可减少涡流损失的薄片迭合结构。

芯体侧板 216 最好由具有高饱和磁通密度的铁钴合金制作。在一个最佳实施例中, 芯体侧板 216 由高饱和磁通铁钴合金 ASTM A-801-1 型合金制造, 其中钴约占 50%。例如, 芯体侧板 216 也可由 Principal Metals 的
15 Hiperco Alloy 50、Permendur V^m 或 Vanadium Permendur 等材料进行制作, 还可采用德国 Hanau Vacuumschmelze 的 Vacoflux 50 进行制造。在另一个实施例中, 采用低钴合金制造芯体 212, 例如采用德国 Hanau Vacuumschmelze 的 Vacoflux 17, 其中的钴含量约为 17%。在其它最佳实施例中, 当期望或需要时, 芯体侧板 216 也可采用其它的具有高饱和
20 磁通、高导磁率和低矫顽磁力的材料进行制造, 只要能够使所提供的假肢膝结构紧凑、重量轻和坚固可靠和实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

在一个最佳实施例中, 芯体侧板 216 制造材料的饱和磁通密度约为 2.2T (特斯拉)。需要材料具有如此之高的饱和磁通密度, 因为它可使所
25 设计的产品重量轻和结构紧凑。例如, 如果采用具有较低饱和磁通密度的材料, 为达到同样的最大扭矩和最大的动态扭矩范围, 就必须加大芯体侧板 216 在外施磁场穿过方向上的截面面积。在其它最佳实施例中, 在期望和需要时, 也可采用饱和磁通密度较高或较低的材料, 只要能够使所提供的假肢膝结构紧凑、重量轻和坚固可靠以及能够实现本发明文
30 件所述的一个或多个特色和优点。

为获得良好的磁学性能，芯体侧板 216 在机械加工后最好在氢气气氛中进行热处理。在其它的最佳实施例中，当期望或需要时，侧板 216 也可采用铸造、锻造、模压、层压等方法进行制造，只要能够使所提供的假肢膝结构紧凑、重量轻和坚固可靠以及能够实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

在一个最佳实施例中，参阅图 9，芯体侧板 216 的结构尺寸为：主直径 D91 约为 5.240 厘米(2.063 英寸)，端部直径 D92 约为 2.845 厘米(1.120 英寸)，直径 D93 约为 1.727 厘米 (0.680 英寸)，直径 D94 约为 2.82 毫米 (0.111 英寸)。直径 D93 的尺寸应能为芯体圆柱体 252 的自由端与侧板 216 的中央腔槽 256 间提供紧密的压配合。在另一个最佳实施例中，中央腔槽 256 的直径 D93 约为 1.91 厘米 (0.750 英寸)。另一个侧板 218 相应腔槽的直径应能同芯体圆柱体 254 的自由端进行压配合的紧密连接。在其它的最佳实施例中，当期望或需要时，芯体侧板 216 和 218 也可采用其它的结构尺寸，只要能够使所提供的假肢膝结构紧凑、重量轻和坚固可靠以及能够实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

在一个最佳实施例中，参阅图 10，芯体侧板 216 的结构尺寸为：直径 D101 约为 2.43 厘米 (0.958 英寸)，直径 D102 约为 2.29 厘米 (0.900 英寸)，宽度 W101 约为 3.3 毫米 (0.13 英寸)。在其它的最佳实施例中，当期望或需要时，芯体侧板 216 也可采用其它的结构尺寸，只要能够使所提供的假肢膝结构紧凑、重量轻和坚固可靠以及能够实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

在一个最佳实施例中，参阅图 11，芯体侧板 216 的结构尺寸为：直径 D111 约为 5.011 厘米 (1.973 英寸)，直径 D112 约为 4.801 厘米 (1.890 英寸)，直径 D113 约为 2.461 厘米 (0.969 英寸)，直径 D114 约为 3.56 厘米 (1.40 英寸)，宽度 W111 约为 5.59 毫米 (0.220 英寸)，宽度 W112 约为 0.508 毫米 (0.020 英寸)，宽度 W113 约为 1.27 毫米 (0.050 英寸)，角度 θ_{111} 约为 135 度角。在其它的最佳实施例中，当期望或需要时，芯体侧板 216 也可采用其它的结构尺寸，只要能够使所提供的假肢膝结构紧凑、重量轻和坚固可靠以及能够实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

在一个最佳实施例中，参阅图 12，芯体侧板 216 的结构尺寸为：长度 121 约为 1.14 毫米 (0.045 英寸)，宽度 W121 约为 2.79 毫米 (0.110 英寸)，宽度 W122 约为 1.52 毫米 (0.060 英寸)，宽度 W123 约为 0.64 毫米 (0.025 英寸)，宽度 W124 约为 0.97 毫米 (0.038 英寸)，圆角半径 R121 约为 0.254 毫米 (0.010 英寸) 到 0.127 毫米 (0.005 英寸)，圆角半径 R122 约为 3.81 毫米 (0.15 英寸)。在其它的最佳实施例中，当期望或需要时，芯体侧板 216 也可采用其它的结构尺寸，只要能够使所提供的假肢膝结构紧凑、重量轻和坚固可靠以及能够实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

10 芯体侧板 216 和 218 在机械上与相应轴承 226 和 228 相连 (图 4)，可将转动由内键槽 222 (及转子 220) 传到相应的外侧叉状支架 236 和 238，后者在机械上与假肢胫骨相连。轴承可采用现有的各种适用轴承。在一个最佳实施例中，采用了 Torrington Company of Torrington, Connecticut 公司的 AST P/N B544DDXA 滚珠轴承。

15 电磁铁或电磁线圈 214 (图 4) 包围着芯体 212，它在机械上与芯体 212 和/或芯体侧板 216 和 218 相连，因此它将同芯体 212 和/或侧板 216 和 218 一起转动。芯体 212 也包括一个绕有线圈的绕线管或线圈。应对线圈的匝数进行优化。在一个最佳实施例中，线圈的匝数为 340 圈。在其它的最佳实施例中，当期望或需要时，线圈匝数也可采用比上述匝数多一些或少一些，只要能够使性能优化以及可实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

25 电磁铁 214 的线圈导线采用 AWG 30 标准尺寸的电磁铜线绕制。在其它的最佳实施例中，当期望或需要时，也可采用其它型号的导线进行绕制，只要能够优化磁铁性能和能够实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

图 13-14 表明本发明 MR 驱动假肢膝中芯体 212 与侧板 218 制成一体的一个最佳实施例。当期望或需要时，可将两个侧板都与芯体 212 制成一个整体。图 13-14 所示实施例具有上述的一些性质和优点，在此不再赘述以使公开文件清晰和简要，以下仅对其结构特点做一些补充说明。

30 侧板 218 具有一对通孔 272，用于使导线通过。芯体侧板 218 的端

部具有一个便于同另一侧板 216 进行压配合的锥形结构 274。

在一个最佳实施例中，参阅图 13，芯体 212 和芯体侧板 218 的结构尺寸为：主直径 D131 约为 5.240 厘米（2.063 英寸），端面直径 D132 约为 2.845 厘米（1.120 英寸），直径 D133 约为 2.46 厘米（0.969 英寸），直径 D134 约为 2.82 毫米（0.111 英寸），直径 D135 约为 1.78 毫米（0.070 英寸），长度 L131 约为 11.2 毫米（0.440 英寸），长度 L132 约为 0.98 毫米（0.385 英寸）。在其它的最佳实施例中，当期望或需要时，芯体 212 和芯体侧板 218 也可采用其它的结构尺寸，只要能够使所提供的假肢膝结构紧凑、重量轻和坚固可靠以及能够实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

在另一个最佳实施例中，参阅图 14，芯体 212 和芯体侧板 218 的结构尺寸为：直径 D141 约为 4.801 厘米（1.890 英寸），直径 D142 约为 2.461 厘米（0.969 英寸），直径 D143 约为 1.728 厘米（0.6805 英寸），直径 D144 约为 3.56 厘米（1.40 英寸），直径 D145 约为 2.43 厘米（0.958 英寸），直径 D146 约为 2.16 厘米（0.849 英寸），宽度 W141 约为 5.59 毫米（0.220 英寸），宽度 W142 约为 0.508 毫米（0.020 英寸），宽度 W143 约为 1.27 毫米（0.050 英寸），宽度 W144 约为 2.52 厘米（0.991 英寸），角度 θ 141 约为 135 度角，锥形结构 274 的长度约为 0.508 毫米（0.02 英寸），其锥度约为 45 度。在另一个最佳实施例中，直径 D143 约为 1.91 厘米（0.750 英寸）。在其它的最佳实施例中，当期望或需要时，芯体 212 和芯体侧板 218 也可采用其它的结构尺寸，只要能够使所提供的假肢膝结构紧凑、重量轻和坚固可靠以及能够实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

25 内键槽

图 15-17 表明假肢膝 210 内键槽 222 的一个最佳实施例。内键槽 222 最好为圆筒形，中央有一个圆形的腔槽或通孔 276，用于同电磁铁或电磁线圈 276 进行配合（图 4）。或者在期望和需要时，也可采用其它适当形式的内键槽 222 和腔槽或通孔 276。

内键槽 222 最好包括总体排列成圆环形、彼此等距配置的一些纵向通孔 278，用于接受螺杆和螺帽等连接件，以便将侧板 216、218 和内键槽 222 等假肢膝部件连接起来。通孔 278 与芯体侧板 216 和 218 上的相应孔应相互对齐。在另一个最佳实施例中，内键槽 222 包括有三个通孔 278。

5 当期望或需要时，也可采用以其它形式配置的或多或少的通孔 278。

内键槽 222 通常包括一个用于放置环形密封圈（垫）282 的环形沟槽 260（图 4），以便为内键槽 222 与侧板 216 和 218 间提供静态密封和防止 MR 流体从假肢膝 210 中泄漏，因为这些部件在假肢膝转动时会一起转动。在另一个实施例中，在一个或两个侧板 216 和 218 的内面也配置了用于接受环形密封圈的相应沟槽，以提供静态密封。

10

环形圈 282 由合适的橡胶类材料制作，例如采用氟化橡胶、聚四氟乙烯或聚氯丁橡胶等。在一个最佳实施例中，环形圈的内径约为 30.5 毫米（1.201 英寸），宽度约为 0.76 毫米（0.03 英寸）。在其它实施例中，当期望或需要时，也可采用其他形式的静态密封结构，只要能够提供有效的密封以及可以实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

15

内键槽 222 的外表面有一些等间隔配置的沟槽 284，用于同转子 220 的轮齿相互啮合。在一个最佳实施例中，沟槽 284 为半圆形；在另一个实施例中，沟槽 284 为带圆角的矩形或方形。在其它实施例中，当期望或需要时，沟槽 284 也可采用其他的结构和形式，只要能够提供由转子 220 到内键槽 222 的有效传动以及可以实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

20

内键槽 222 由钛或钛合金制作，采用 6Al4V 钛合金进行制作则更好。采用钛或钛合金的好处是可提供近似于零的导磁率，同时在与转子进行啮合和传动时又能提供重量轻、具有相当强度和硬度的接触面。另外一个优点是可减少因感生涡流产生的能量损失，因为钛和钛合金材料具有较高的电阻率。在其它实施例中，当期望或需要时，也可采用其他金属、合金、塑料、陶瓷等材料进行制作，只要能使内键槽 222 具有接近为零的导磁率、能够使所提供的假肢膝重量轻、结构紧凑和坚固耐用、以及可以实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

25

内键槽 222 一般通过机械加工进行制造。在其它实施例中，当期望或

30

需要时，内键槽 222 也可采用铸造、锻造或冲压等方法进行制造，只要能够使所提供的假肢膝重量轻、结构紧凑和坚固耐用以及可以实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

5 在一个最佳实施例中，参阅图 15，内键槽 222 的结构参数为：主直径 D151 约为 3.673 厘米（1.446 英寸），直径 D152 约为 3.119 厘米（1.228 英寸），端头直径 D153 约为 2.845 厘米（1.120 英寸），孔径 D154 约为 2.49 毫米（0.098 英寸），沟槽曲率半径 D155 约为 3.18 毫米（0.125 英寸），角 θ 151 的典型值约为 15 度，角 θ 152 的典型值约为 7.5 度。在其它实施例中，当期望或需要时，内键槽 222 也可采用其他的结构和尺寸，只要能够使所提供的假肢膝重量轻、结构紧凑和坚固耐用，以及可以实现
10 本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

在另一个最佳实施例中，参阅图 16 和图 17，内键槽 222 的结构参数为：主直径 D161 约为 3.632 厘米（1.430 英寸），直径 D162 约为 2.464 厘米（0.970 英寸），长度 L163 约为 1.96 厘米（0.771 英寸），深度 DT171
15 约为 0.51 毫米（0.020 英寸），宽度 W171 约为 1.02 毫米（0.040 英寸），曲率半径 R171 为 0.127-0.254 毫米（0.005-0.010 英寸）。在其它实施例中，当期望或需要时，内键槽 222 也可采用其他的结构和尺寸，只要能够使所提供的假肢膝重量轻、结构紧凑和坚固耐用，以及可以实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

20

转子与定子

图 18-19 表明假肢膝 210 的一个转子或内侧叶片 220 的一个最佳实施例。转子 220 与内键槽 222 一起转动。最好为圆形薄片的转子 220 包括
25 一个具有向内凸出轮齿 288 的中央腔槽或通孔 286，用于同内键槽的沟槽 284 进行啮合（图 15）。当期望或需要时，转子 220 也可采用其它有效的结构形式。

在一个最佳实施例中，轮齿 288 为半圆形；在另一个实施例中，轮齿 288 为有圆角的矩形或方形。在其它实施例中，当期望或需要时，轮齿 288
30 也可采用其他有效的结构形式，只要能够提供由转子 220 到内键槽 222

间的可靠传动以及可以实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

转子 220 用具有适当硬度的软磁材料制作，这样可以减少磨损和提高耐用性。在一个最佳实施例中，转子 220 采用蓝退火硬碳钢进行制作；在另一个实施例中，转子 220 采用无晶粒取向的硅钢（电工钢）进行制作。在其它实施例中，当期望或需要时，转子 220 也可采用其他的软磁材料进行制作，只要能够提供坚固耐用的转子以及可以实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

转子 220 的制造材料应具有适当的导磁率和较低的或接近为零的矫顽力，其饱和磁通密度应大于磁流变流体 134（图 3）的饱和磁通密度。这样，可使设计的电磁铁 214 重量轻、结构紧凑和耗能小。

在一个最佳实施例中，转子 220 通过电火花机床进行制造。这样可使加工精度较高，从而避免或减少引起使用者不适的转子 220 与内键槽 222 之间的齿隙、游移和冲击。在另一个最佳实施例中，转子 220 采用冲压法制作。在其它实施例中，当期望或需要时，转子 220 也可采用其他有效技术进行制造，只要能够为使用者提供自然和安全的步行以及可以实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

在本发明的一个实施例中，转子 220 相对于内键槽 222 侧向固定，即不能在纵轴 224（图 4）的方向上移动。在这一实施例中，通过在轮齿啮合部注入树脂或胶水、激光焊接、热配合、夹紧连接等手段使转子 220 固定在内键槽 222 上。这样，也有助于避免或减少引起使用者不适的转子 220 与内键槽 222 之间的齿隙、游移和冲击。

在一个最佳实施例中，参阅图 18-19，转子 220 的结构参数为：主直径 D181 约为 4.80 厘米(1.890 英寸)，端部直径 D182 约为 3.678 厘米(1.448 英寸)，直径 D183 约为 3.678 厘米（1.448 英寸），轮齿曲率半径 R181 约为 1.57 毫米(0.062 英寸)，角 θ 181 约为 15 度，转子厚度 T191 约为 0.203 毫米（0.008 英寸）。在其它实施例中，当期望或需要时，转子 220 也可采用其他的结构和尺寸，只要能够使所提供的假肢膝重量轻、结构紧凑和坚固耐用，以及可以实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

图 20-21 表明假肢膝 210 的一个定子或外侧叶片 230 的一个最佳实施例。定子 230 与外键槽 232 一起转动。最好为圆形薄片的定子 230 包括

一个用于同内键槽 222 进行非接触配合的中心腔槽或通孔 290 和一些由周边向外凸出、用于同外键槽的沟槽进行啮合的轮齿 292。或者，当期望或需要时，定子 230 也可采用其它有效的结构形式。

5 在一个最佳实施例中，轮齿 292 为半圆形；在另一个实施例中，轮齿 292 为有圆角的矩形或方形。在其它实施例中，当期望或需要时，轮齿 292 也可采用其他有效的结构形式，只要能够提供由定子 230 到外键槽 232 间的可靠传动以及可以实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

10 定子 230 用具有适当硬度的软磁材料制作，这样可以减少磨损和提高耐用性。在一个最佳实施例中，定子 230 采用蓝退火硬碳钢进行制作；在另一个实施例中，定子 230 采用无晶粒取向的硅钢（电工钢）进行制作。在其它实施例中，当期望或需要时，定子 230 也可采用其他的软磁材料进行制作，只要能够提供坚固耐用的定子以及可以实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

15 定子 230 的制造材料应具有适当的导磁率和较低的或接近为零的矫顽力，其饱和磁通密度应大于磁流变流体 134（图 3）的饱和磁通密度。这样，可使设计的电磁铁 214 重量轻、结构紧凑和耗能小。

20 在一个最佳实施例中，定子 230 通过电火花机床进行制造。这样可使加工精度较高，从而避免或减少引起使用者不适的定子 230 与外键槽 232 之间的齿隙、游移和冲击。在另一个最佳实施例中，定子 230 采用冲压法制作。在其它实施例中，当期望或需要时，定子 230 也可采用其他有效技术进行制造，只要能够为使用者提供自然和安全的步行以及可以实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

25 在本发明的一个实施例中，定子 230 相对于外键槽 232 侧向固定，即不能在纵轴 224（图 4）的方向上移动。在这一实施例中，通过在轮齿啮合部注入树脂或胶水、激光焊接、热配合、夹紧连接等手段使定子 230 固定在外键槽 232 上。这样，也有助于避免或减少引起使用者不适的定子 230 与外键槽 232 之间的齿隙、游移和冲击。

30 在一个最佳实施例中，参阅图 20-21，定子 230 的结构参数为：主直径 D201 约为 4.811 厘米（1.894 英寸），端部直径 D202 约为 4.811 厘米（1.894 英寸），直径 D203 约为 3.683 厘米（1.450 英寸），轮齿曲率直径

D204 约为 0.318 毫米 (0.125 英寸), 角 θ 201 约为 15 度, 定子厚度 T211 约为 0.203 毫米 (0.008 英寸)。在其它实施例中, 当期望或需要时, 定子 230 也可采用其他的结构和尺寸, 只要能够使所提供的假肢膝重量轻、结构紧凑和坚固耐用, 以及可以实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

在一个最佳实施例中, 转子 220 和定子 230 可在假肢膝纵轴 224 的侧向 242 (图 4) 方向上进行滑动或移动。这样, 当磁场在垂直于转子和定子叶面的方向上穿过转子 220 和定子 230 时, 将会产生响应外加磁场的 MR 阻尼和摩擦阻尼。摩擦阻尼的产生是相邻转子和定子表面接触和摩擦的结果。摩擦阻尼随磁场强度的增加而增加, 因为被磁化的转子 220 和定子 230 相互吸引, 从而增加了相邻转子 220 和定子 230 之间的正向压力 (在纵轴 224 的方向上)。这样, 本发明假肢膝工作在磁流变 (粘性) 和摩擦阻尼 “混合” 的制动模式下。

在一个实施例中, 转子和定子间的摩擦阻尼在整个假肢膝的阻尼扭矩中占 10% 或 10% 以下。在其它实施例中, 当期望或需要时, 摩擦阻尼在整个假肢膝阻尼扭矩中所占的比例可大于或小于上述比例, 只要能够提供较宽的动态扭矩范围和可以实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

在本发明假肢膝的一个最佳实施例中, 一个或两个侧板 216 和 218 可在假肢膝纵轴 224 的侧向 242 的方向上进行滑动或移动, 从而也可产生摩擦阻尼。每个侧板 216 或 218 所产生的摩擦阻尼扭矩在整个阻尼扭矩中所占的比例约为 20% 或 20% 以下。在其它实施例中, 当期望或需要时, 摩擦阻尼在整个假肢膝阻尼扭矩中所占的比例可大于或小于上述比例, 只要能够提供较宽的动态扭矩范围和可以实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

在一个最佳实施例中, 转子 220 和定子 230 相对于键槽 222 和 232 进行侧向 (在 242 的方向上) 固定, 仅由磁流变流体的粘性发挥制动效应。在磁场强度增加时, 相邻转子和定子表面之间的正向压力仍然保持为零或接近为零, 在假肢膝的整个阻尼扭矩中不包括摩擦阻尼部分。这种结构的优点在于可提高产品的疲劳寿命, 因为由于摩擦残生的磨损得到避

免或减少。

或者，在期望和需要时，使某些转子 220 和定子 230 侧向固定而使另一些转子 220 和定子 230 可做侧向运动，只要能够使所提供的假肢膝自然和安全以及可以实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

5 在一个最佳实施例中，本发明假肢膝 210 中包括交错配置的 40 个转子 220 和 41 个定子 230，从而具有 80 个 MR 流体可以驻留的流通介面或流体间隙。在另一个最佳实施例中，转子 220 的数目为 10-100，定子 230 的数目为 11-101，磁场存在时可产生制动效应的 MR 流体介面数为定子数的两倍。在又一个实施例中，转子 220 的数目为 1-100；在再一个
10 实施例中，定子 230 的数目为 1-100。在其它实施例中，当期望或需要时，也可选择和采用其它数量的转子 220 和定子 230 或流通介面，只要能够提供较宽的动态扭矩和可以实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

在这种情况下，感生应力或粘性扭矩正比于一对转子和定子间的交迭
15 面积乘以 2 倍的转子数（即磁场存在时可产生制动扭矩的 MR 流体相对于转子的流面）。这样，通过选择或预定转子 220 和定子 230 的数目或调节相邻转子 220 和定子 230 之间的配合面或交迭面面积，就可使粘性扭矩或感生应力得到预期的升高或降低。带来的另一个好处是可控制 MR 驱动假肢膝 210 的整体尺寸-其径向尺寸和侧向尺寸。例如，通过适当选
20 择液流介面数和剪切面的交迭面积，在提供同样粘性扭矩的前提下，可将假肢膝在径向上做得更大一些和在侧向上做得更纤细一些。

希望相邻转子 220 和定子 230 间的 MR 流体间隙越小越好，因为饱和整个 MR 流体间隙所需的功率与间隙尺寸强相关。因此，间隙尺寸的减少会使 MR 驱动的制动器 210 的效率提高和功耗减小。

25 MR 流体间隙的选择还要考虑使相邻转子 220 和定子 230 之间在零磁场下不会产生摩擦扭矩，即在没有外加磁场时，在相邻转子和定子间只存在因剪切 MR 流体而产生的粘性扭矩。

这样，在一个最佳实施例中，通过 MR 流体间隙的最小化而降低了饱和 MR 流体所需的功率，同时还提高了假肢膝的动态扭矩范围。在这一
30 实施例中，间隙没有减小到一定程度，相邻转子和定子的表面间在零磁

场下存在正向压力进而存在摩擦。转子和定子间没有摩擦使膝关节可自由摆动，从而可提供较宽的动态范围。在此应提起注意，零磁场下的粘性阻尼并不随着流体间隙的减小而急剧增加，因为 MR 流体具有一种剪切率稀薄化的性质，即其黏度随着剪切率的提高而降低。

5 在一个最佳实施例中，相邻转子 220 和定子 230 间的 MR 流体间隙的尺寸或宽度约为 40 微米或更小；在另一个实施例中，相邻转子 220 和定子 230 间的 MR 流体间隙宽度约为 10-100 微米。在其他实施例中，当期
10 望或需要时，也可使 MR 流体间隙具有其它宽度或尺寸，只要能使所提供的假肢膝具有较高的能源效率和较宽的动态扭矩范围，以及可实现本
发明文件所述的一个或多个特色和优点。

在一个最佳实施例中，本发明假肢膝只包括一个与外键槽相连的定子 230，没有配置转子 220。这样，在定子 230 和芯体侧板 216 和 218 间建立了两个 MR 流体间隙。如上所述，MR 流体间隙越小越好。

按本发明的另一个实施例，由管状的转子和定子取代了叶片形的转子和定子。所述管状转子和定子包括一些同心交错配置的由软磁材料制成的薄壁圆筒管。管间间隙中驻留有假肢膝转动时受到剪切的磁流变流体。激励 MR 流体的磁通向外辐射。磁回路通过软磁材料制成的外罩和中心芯体闭合。这种器件产生的粘性扭矩为各对管状转子和定子所产生粘性
15 扭矩的总合。为减少重量、体积和能耗，在制造成本和磁流变流体剪切
20 强度允许的范围内，管状转子和定子做得越薄越好。最好有一个或多个
管状转子和定子在径向是可以移动的，从而可为假肢膝提供摩擦扭矩成分。

磁流变流体

25

如前所述，磁流变流体中包含悬浮的铁磁材料颗粒。响应外施磁场，这些悬浮的颗粒构成扭矩生成链。依据外施磁场的强度，磁流变（MR）流体产生流变或黏度变化。这样，一定体量流体中产生的黏度变化决定了所产生的扭矩或剪切应力的大小，进而决定了假肢膝 210 提供的阻尼
30 或制动程度。MR 流体的体量黏度一般随外加磁场强度的增加而增加。

通过控制磁场的强度，可迅速和准确地控制假肢的转动，例如控制其在站立相和摆动相的屈曲和伸展，从而为被截肢使用者提供更自然和安全的步态。

在本发明假肢膝的最佳实施例中，可采用市场上可见的任何磁流变流体或磁控介质作为 MR 流体。所述 MR 流体最好具有高磁通量、低磁阻和低黏度，同时要具有较大的磁感剪切应力，从而可为本发明假肢膝提供较宽的动态扭矩范围。

位于转子和定子表面之间的 MR 流体包含载流流体和尺度在微米量级的铁磁材料颗粒。载流流体最好具有剪切率稀薄化性质，即载流流体的黏度随着剪切率的上升而降低。这样，可减少零磁场（即在电磁铁未通电时）下剪切每对转子和定子间 MR 流体所产生的粘性扭矩，从而可提供较宽的工作扭矩范围。适合于采用作为载流流体的材料包括硅油、碳氢化合物油和水基流体等。

15 外键槽和叉状支架

图 22-25 表明假肢膝 210 外键槽 232 的一个最佳实施例。外键槽 232 最好为圆筒形并包括一个用于同定子 230、侧板 216 和 218 以及轴承 226 和 228 配合的中心圆筒形腔槽或通孔 284。当期望或需要时，也可采用其它有效形式的外键槽 230 及其中心腔槽 294。

在腔槽 294 的中央表面有一些等距配置的纵向沟槽 296，用于同定子 230 的相应轮齿相互啮合。在一个最佳实施例中，沟槽 296 为半圆形；在另一个实施例中，沟槽 296 为带有圆角的矩形或方形。在其它实施例中，当期望或需要时，沟槽 296 也可采用其它的形式，只要能使定子 230 与外键槽 232 进行良好的啮合和可实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

外键槽的腔槽 294 在其沟槽 296 的两侧最好有一对环形的凸肩或台阶 298，分别用于同芯体侧板 216 和 218 进行相互配合。在一个最佳实施例中，在腔槽 294 内配置了两个用于接受和放置环形密封圈的环形沟槽，以便在转动的外键槽 232 与可转动的侧板 216 和 218 之间提供动态密封。

外键槽的腔槽 294 进一步包括一对位于其凸肩 298 两端的环形的凸肩或台阶 300, 用于接受相应的轴承 226 和 228 并与其配合。

5 在一个最佳实施例中, 外键槽在其顶端 304 有一个锥销或连接件 302, 以便于假肢膝 210 同被截肢者残肢套的连接。锥销连接件 302 最好在残肢套与外键槽 232 和定子 230 之间提供无转动连接。或者在期望和需要时, 也可采用其它形式的连接件, 只要能为假肢膝与被截肢者的残肢之间提供可靠的连接以及可实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

10 在一个最佳实施例中, 锥销 302 由钛或钛合金制作, 外键槽 232 的其余部分由 7075-T6 铝合金制作。这样, 经阳极化处理的铝合金表面的硬度较高, 可防止外键槽的沟槽 296 的表面磨损, 从而可避免或减少齿隙游移和冲击。在另一个实施例中, 外键槽 232 采用钛或钛合金进行制造; 在又一个实施例中, 外键槽 232 由经阳极化处理的 7075-T6 铝合金进行制造。在其它实施例中, 当期望或需要时, 外键槽 232 也可采用其它金属、合金、塑料、陶瓷等磁疗进行制造, 只要能提供具有足够强度、重量轻、耐用和非磁性的外键槽 232 和可实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

20 外键槽 232 通过机械加工制作。在一个最佳实施例中, 将带螺纹的钛块拧入外键槽 232 顶端 304 带螺纹的腔槽中, 二者固定后用机械加工的方法形成锥销 302。在其它实施例中, 当期望或需要时, 外键槽 232 也可采用铸造、锻造、模压等其它工艺进行制造, 只要能使所提供的假肢膝重量轻、结构紧凑、坚固耐用, 以及可实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

25 在一个最佳实施例中, 参阅图 23, 外键槽 232 的结构参数为: 主直径 D231 约为 5.994 厘米 (2.360 英寸), 直径 D232 约为 4.813 厘米 (1.895 英寸), 直径 D233 约为 4.811 厘米 (1.894 英寸), 沟槽曲率直径 D234 约为 3.20 毫米 (0.126 英寸), 长度 L231 约为 8 毫米 (0.315 英寸), 角 θ 231 约为 33.7 度, 角 θ 232 约为 15 度, 角 θ 233 约为 15 度, 曲率半径 R231 约为 2.40 厘米 (0.945 英寸), 曲率半径 R232 约为 0.762 毫米 (0.030 英寸)。在其它实施例中, 当期望或需要时, 外键槽 232 也可采用其它的

30

结构参数，只要能使所提供的假肢膝重量轻、结构紧凑和坚固耐用，以及可实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

在另一个最佳实施例中，参阅图 24-25，外键槽 232 的结构参数为：直径 D241 约为 4.00 厘米 (1.575 英寸)，直径 D251 约为 5.715 厘米 (2.250 英寸)，直径 D252 约为 5.398 厘米 (2.125 英寸)，长度 L251 约为 7.861 厘米 (3.095 英寸)，长度 L252 约为 1.067 厘米 (0.420 英寸)，宽度 W251 约为 4.171 厘米 (1.642 英寸)，宽度 W252 约为 1.958 厘米 (0.771 英寸)，宽度 W253 约为 6.35 毫米 (0.250 英寸)，宽度 W254 约为 4.72 毫米 (0.186 英寸)，曲率半径 R251 约为 3.05 毫米 (0.120 英寸)。在其它实施例中，
10 当期望或需要时，外键槽 232 也可采用其它的结构参数，只要能使所提供的假肢膝重量轻、结构紧凑和坚固耐用，以及可实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

磁流变驱动的假肢膝 210 的叉状支架 236 和 238 (图 4) 在机械上分别与轴承 226 和 228 相连，可将转动传到假肢的胫骨部分。采用螺纹或其他连接件或紧固件 306 将叉状支架 236 和 238 与被截肢者的假肢胫骨部分连接起来。
15

安装支架 236 和 238 最好采用经阳极化处理的 7075-T6 铝合金进行制作。在其它实施例中，当期望或需要时，安装支架 236 和 238 也可采用其它金属、合金、塑料、陶瓷等材料进行制造，只要能提供具有相当强度、重量轻、坚固耐用和无磁性的叉状安装支架，以及可实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。
20

在一个最佳实施例中，叉状安装支架 236 和 238 通过机械加工进行制造。在其它的实施例中，安装支架 236 和 238 也可采用铸造、锻造、模压等工艺进行制造，只要能使所提供的假肢膝重量轻、结构紧凑和坚固耐用，以及可实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。
25

在一个最佳实施例中，如图 4 所示，假肢膝进一步包括一个弯曲缓冲限动系统或部件 246。通过在物理上限制外侧支架 236 和 238 与外键槽 232 之间的转动，弯曲限动系统可控制允许的最大屈曲角度，从而可控制假肢膝关节的转动。

30 弯曲限动系统 246 (图 4) 包括一些条带型限动结构 312、314 和 316。

限动结构 312 和 314 采用螺钉等固定在外键槽 232 成一定角度的外侧表面 308 上 (图 23), 限动结构 316 通过螺钉等固定在侧面叉状支架成一定角度的外侧表面 333 和 334 上。

5 当假肢膝 210 转动到预定的最大弯曲角度时, 限动结构 316 与 314 相互接触, 从而防止或限制了膝关节的继续转动。限动结构 314 最好采用弹性材料制作, 以提供冲击吸收和缓冲作用。在期望和需要时, 本发明实施例中的假肢膝还可包括冲击吸收式的伸展限动结构。

10 在一个最佳实施例中, 本发明弯曲限动结构允许的最大弯曲角度约为 140 度; 在另一个实施例中, 本发明限动结构允许的最大弯曲角度约为 125-150 度。在其它实施例中, 允许的最大弯曲角度可有所变化, 取决于环境条件、所进行的活动和活动的激烈程度等因素。

15 在一个最佳实施例中, 限动结构 314 由橡胶制作, 限动结构 312 和 316 由钛或钛合金制作。在其它实施例中, 当期望或需要时, 限动结构 312、314 和 316 也可采用其它材料进行制作, 只要能提供具有适当强度、耐用、重量轻和有缓冲作用的弯曲限动以及可实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

20 在一个最佳实施例中, 限动结构 312、314 和 316 的长度约为 6.0 厘米 (2.263 英寸), 宽度约为 5.99 毫米 (0.236 英寸)。在其它实施例中, 当期望或需要时, 限动结构 312、314 和 316 也可采用其它的结构尺寸, 只要能使所提供的假肢膝重量轻、结构紧凑和坚固耐用, 以及可实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

25 在一个最佳实施例中, 假肢膝包括一个转角传感电位器 322 (图 4)。电位器 322 与一个安装板 326 和一个杆件 324 相连。安装板 326 通过螺钉 328 和垫片 330 与叉状安装支架 238 相连。杆件 324 的一端 332 通过适当的螺钉等连接件连接到支架 238 成一定角度的外表面 334。

在本发明的一个最佳实施例中, 假肢膝 210 进一步包括一个有助于大腿伸直的伸展助动器, 通过施加控制扭矩 (力) 促进大腿的伸展。在本发明的假肢膝中, 可采用任何本领域已知的伸展助动器件, 例如弹簧偏置的助动器件等。

30 在本发明的最佳实施例中, 最好提供一个反馈控制系统来控制 and 监测

假肢膝的操作。所述控制系统包括：一个中央控制器或微处理器，一个存储器，一个或多个有关力、扭矩和角度的传感器，一个电源（例如电池等）以及其它相关的硬件和软件。还应采用一个适当的外罩或外壳来保护控制系统和假肢膝的各个部件。在外壳或外罩的外面应进行适当的美化包装。

运行特性和优点

本发明最佳实施例提供了一种电子控制的磁流变驱动的假肢膝，它可对膝关节的运动作出迅速反应和进行适时控制，坚固耐用，其价格在经济上也是使用者可以承担的。本发明最佳实施例所提供的优点包括：提高假肢的稳定性，改善步态平衡，提高使用者的能量效率，能够模拟和基本恢复天然膝关节的动力学机制等。

在假肢膝工作的过程中，通过选择或预定的电流或电压信号使电磁铁或电磁线圈 214 产生一个可变磁场，所述磁场垂直通过一些转子 220 和定子 230 的叶面以及相邻转子和定子间的 MR 流体或液膜，从而产生可精确控制假肢膝 210 转动的可变阻尼扭矩（或转动阻力）。如前所述，在一个实施例中，阻尼扭矩中包括摩擦阻尼部分。

最佳实施例中的假肢膝可提供迅速和准确的反应。MR 流体中的颗粒材料可在几个微秒内对外加磁场作出反应，从而可对流体切变和假肢膝的运动进行实时控制。这样，就可使被截肢者能够以更自然的步态安全行走。

本发明的优点是通过剪切 MR 流体产生粘性阻尼扭矩，因此在本发明假肢膝中不会建立起压力及压力变化或产生的压力可以忽略不计。这样就消除或减少了出现流体泄漏和失效的可能性，增加了安全性。同时，也不需要配置压力轴承等较复杂和昂贵的部件来保证可靠的密封。

另外一个优点是，相邻转子 220 和定子 230 之间的一些剪切面或流通介面起着扭矩倍增器的作用，不用配置另外的传动和辅助部件就可使粘性扭矩（和摩擦扭矩）逐步增加到预期的最大值。此外，通过灵活调节相邻转子 220 和定子 230 之间的交迭面面积，也可使最大粘性扭矩（和

摩擦扭矩)得到上升或降低。这样,当期望或需要时,就可提供预期的较宽扭矩或转动阻尼范围,从而在不增加系统尺寸、重量和复杂性的情况下提高了本发明的适用性。

5 在一个最佳实施例中,本发明假肢膝提供的最大动态扭矩约为 40 牛顿-米;在另一个实施例中,本发明假肢膝提供的动态扭矩约为 0.5-40 牛顿-米;在又一个实施例中,本发明假肢膝提供的动态扭矩约为 1-50 牛顿-米。在其它的实施例中,当期望或需要时,本发明假肢膝也可有效地提供其它的动态扭矩范围,实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

10 在一个最佳实施例中,本发明假肢膝可在完全伸展到弯曲约 140 度的范围内精确控制膝关节在伸展和弯曲中的转动;在另一个实施例中,本发明假肢膝可在完全伸展到弯曲角约为 125-150 度的范围内精确控制膝关节在伸展和弯曲中的转动。在其它实施例中,当期望或需要时,本发明假肢膝也可为膝关节的转动有效提供其它的角度范围,实现本发明所
15 述的一个或都个特色和优点。

本发明的再一个优点是,相邻转子 220 和定子 230 之间 MR 流体间隙的细小化可提供较高的最大扭矩、较宽的动态扭矩范围和较少的能耗-约为 10 瓦或 10 瓦以下。这增加了本发明 MR 驱动假肢膝的有效性和实用性,同时由于可采用较低功率和较简单的电源而可节省费用。

20

其它实施例

图 26-51 表明具有本发明特色和优点的几个最佳实施例。为简明起见,以下仅对这些实施例的某些特性和优点进行说明,从其结构图和以上实
25 施例的说明可以了解它们的其他特色和优点。

图 26-28 表明本发明磁流变驱动假肢膝中心芯体 412 的一个实施例。芯体 412 包括锥面 336 和位于其芯体部分 452 和 454 端部的凸肩或台阶 338,以便同芯体侧板 416 和 418 进行机械连接和配合(如图 29-34 所示)。这样,芯体 412 随侧板 416 和 418 一起转动。

30 芯体 412 由具有高饱和磁通的铁钴合金材料制作。在一个最佳实施例

中，芯体 412 由含钴 50%的 ASTM A-801 1 型高饱和磁通铁钴合金制造。芯体 412 也可由其它材料进行制造，例如采用 Principal Metals 生产的 Hiperco Alloy50、Permendur V^m 或者 Vanadium Permendur，或者德国 Hanau Vacuumschmelze 生产的 Vacoflux 50 等。

- 5 芯体 412 最好通过机械加工制造，然后在干燥的氢气气氛中进行热处理以得到良好的磁性能。在干燥的氢气气氛中，使芯体 412 在 820 摄氏度下退火 5 小时；然后在干燥的氢气气氛中，使芯体 412 在 150 摄氏度下冷却 1 小时，使其温度达到 200 摄氏度。在热处理过程中，应注意避免受到污染，采用丙酮或其他适当的清洁剂将油污、指印等清除干净。
- 10 在热处理中，芯体 412 最好先与芯体侧板 416 和 418 分开，以免出现部件间焊在一起的情形。

在一个最佳实施例中，参阅图 27-28，芯体 412 的结构参数为：长度 L271 约为 2.517 厘米（0.991 英寸），长度 L272 约为 5.56 毫米（0.220 英寸），长度 L273 约为 0.51 毫米（0.020 英寸），长度 L274 约为 0.51 毫米
15 （0.020 英寸），直径 D271 约为 1.424 厘米（0.5605 英寸），直径 D272 约为 1.415 厘米（0.557 英寸），角 θ 271 约为 10 度，直径 D281 约为 1.88 厘米（0.740 英寸）。在其它实施例中，当期望或需要时，芯体 412 也可采用其它有效的结构参数，只要能使所提供的假肢膝重量轻、结构紧凑和坚固耐用，以及可实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

- 20 图 29-33 表明本发明磁流变驱动假肢膝芯体侧板 416 的一个最佳实施例。芯体侧板 416 具有一个用于同芯体端部 452 压配合的中央腔槽或通孔 456（图 26-28）和三个等距环形配置的通孔 458，用于接受螺钉等连接件以便将假肢膝的各个有关部件组装起来。芯体侧板 416 进一步包括一个环型槽 356，用于同电磁铁 414 的法兰进行连接和配合（图 37-39）。
- 25 这样，电磁铁或电磁线圈 414 便会随芯体侧板 416 一同转动。

在芯体侧板 416 的内面和外面上最好有一个相应的锥面部分 470 和 471，这样可以减少重量、节省材料和提供便于装配的余隙。采用配置在外键槽沟槽中的环形密封圈，使转动的芯体侧板 416 和外键槽间形成动态密封。

- 30 芯体侧板 416 由具有高饱和磁通铁钴合金制作。在一个最佳实施例

中，芯体侧板 416 由含钴 50%的 ASTM A-801-1 型高饱和磁通铁钴合金制造。芯体 412 也可由其它材料进行制造，例如采用 Principal Metals 生产的 Hiperco Alloy50、Permendur V^m 或者 Vanadium Permendur，或者德国 Hanau Vacuumschmelze 生产的 Vacoflux 50 等。

- 5 芯体侧板 416 最好通过机械加工制造，然后在干燥的氢气气氛中进行热处理以得到良好的磁性能。在干燥的氢气气氛中，使芯体侧板 416 在 820 摄氏式度下退火 5 小时；然后在干燥的氢气气氛中，使芯体侧板 416 在 150 摄氏式度下冷却 1 小时，使其温度达到 200 摄氏式度。在热处理过程中，应注意避免受到污染，采用丙酮或其他适当的清洁剂将油污、指印
10 等清除干净。在热处理中，芯体侧板 416 最好先与芯体 412 分开，以免出现部件间焊在一起的情形。

- 在一个最佳实施例中，参阅图 30-33，芯体侧板 416 的结构参数为：直径 D301 约为 3.353 厘米(1.320 英寸)，直径 D302 约为 2.461 厘米(0.969 英寸)，直径 D311 约为 2.845 厘米 (1.120 英寸)，直径 D312 约为 2.43
15 厘米 (0.958 英寸)，直径 D313 约为 2.29 厘米 (0.900 英寸)，孔径 D314 约为 2.95 毫米 (0.116 英寸)，角 θ 311 的典型值约为 120 度，直径 D321 约为 4.80 厘米 (1.890 英寸)，直径 D322 约为 3.30 厘米 (1.300 英寸)，直径 D323 约为 1.88 厘米 (0.740 英寸)，宽度 W321 约为 5.59 毫米 (0.220 英寸)，宽度 W322 约为 1.27 毫米 (0.050 英寸)，宽度 W331 约为 2.54
20 毫米 (0.100 英寸)，宽度 W332 约为 0.508 毫米 (0.020 英寸)，宽度 W333 约为 1.52 毫米 (0.060 英寸)，曲率半径 R331 约为 6.35 毫米 (0.250 英寸)，曲率半径 R332 约为 0.254 毫米 (0.010 英寸)，角 θ 331 约为 30 度，角 θ 332 约为 10 度。在其它实施例中，当期望或需要时，芯体侧板 416 也可采用其它有效的结构参数，只要能使所提供的假肢膝重量轻、结构
25 紧凑和坚固耐用，以及可实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

图 34-36 表明本发明磁流变驱动假肢膝第二芯体侧板 418 的一个最佳实施例。侧板 418 基本与侧板 416 相同，只是其中央腔槽或通孔 457 适合于同芯体端部 454 (图 26-28) 进行连接与压配合，它包括的一对通孔 472 用于通过导线以便连接本发明假肢膝的磁场线圈 414 (图 37-39)。

- 30 在一个最佳实施例中，参阅图 35-36，芯体侧板 418 的结构参数为：

长度 L351 约为 1.14 厘米 (0.448 英寸), 长度 L352 约为 1.05 厘米 (0.413 英寸), 孔径 D355 约为 1.78 毫米 (0.070 英寸), 直径 D363 约为 1.42 厘米 (0.560 英寸)。侧板 418 的其它尺寸 D351、D352、D353、D354、 θ 351、D361、D362、W361 和 W362 与芯体侧板 416 的相应参数 D311、D312、
5 D313、D314、 θ 311、D321、D322、W321 和 W322 相同, 如图 31 和 32 所示和如上所述。在其它实施例中, 当期望或需要时, 芯体侧板 418 也可采用其它有效的结构尺寸, 只要能使所提供的假肢膝重量轻、结构紧凑和坚固耐用, 以及可实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

图 37-39 表明本发明磁流变驱动假肢膝电磁铁或电磁线圈 414 的一个
10 最佳实施例。磁场线圈 414 包括一个两端带法兰 342 和 344 的绕线管 340, 与引线 352 相连的导线 350 绕在绕线管 340 上。连接电池或其它电源的引线 352 从绕线管法兰 344 中的一对通孔 346 和 348 中通过。

电磁线圈 414 为圆筒形, 其中央圆筒形的腔槽 358 适合于同芯体 412 进行配合 (图 26-28), 从而在机械上将电磁线圈 414 和芯体 412 连接起来。
15 法兰 342 和 344 可与相应芯体侧板 416 和 418 的沟槽相互配合 (图 29-36), 从而在机械上将电磁线圈 414 与侧板 416 和 418 连接起来。这样, 电磁线圈 414 和芯体 412 会随芯体侧板 416 和 418 一起转动。

绕线管 440 最好采用聚苯撑硫化物制作, 其温度范围约为 200 摄氏度。线圈采用具有 8.03 欧姆电阻的 30AWG 铜线卷绕 340 圈, 所用直流电源
20 的功率 13.7 瓦、电压 10.5 伏。线圈绝缘采用温度范围为 155 摄氏度的适当绝缘材料。引线 352 为 24AWG 标准导线, 外敷聚四氟乙烯绝缘层, 长约 8 英寸, 内芯镀锡、截面约 0.25 英寸。

在一个最佳实施例中, 参阅图 38-39, 电磁线圈的结构参数为: 长度 L381 约为 1.138 厘米 (0.448 英寸), 长度 L382 约为 1.05 厘米 (0.413 英寸), 宽度 W381 约为 0.762 毫米 (0.030 英寸), 曲率半径 R381 约为 0.381 毫米 (0.015 英寸), 直径 D381 约为 0.762 毫米 (0.030 英寸), 直径 D391 约为 2.45 厘米 (0.965 英寸), 直径 D392 约为 1.89 厘米 (0.745 英寸), 直径 D393 约为 2.02 厘米 (0.795 英寸), 长度 L391 约为 1.95 厘米 (0.766 英寸), 长度 L392 约为 1.74 厘米 (0.686 英寸), 长度 L393 约为 1.02 毫
30 米 (0.040 英寸), 长度 L394 约为 1.02 毫米 (0.040 英寸), 厚度 T391 约

为 0.635 毫米 (0.025 英寸)。在其它实施例中, 当期望或需要时, 电磁线圈 414 也可采用其它有效的结构尺寸, 只要能使所提供的假肢膝重量轻、结构紧凑和坚固耐用, 以及可实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

5 图 40-44 表明本发明磁流变驱动假肢膝内键槽 422 的一个最佳实施例。内键槽 422 包括一些便于同转子 420 相应轮齿啮合的纵向齿槽 484 (图 45-47) 和一个便于同电磁线圈 414 (图 37-39) 连接配合的中央腔槽 476。最好, 内键槽 422 包括 9 个等距间隔配置的带圆角的矩形或方形齿槽 484。

10 内键槽的腔槽 476 最好包括三个与芯体侧板 416 和 418 相应螺钉孔对准配合的纵向通道 478 (图 31-35), 用于接受螺帽等连接件和将内键槽 422 与芯体侧板 416 和 418 连接起来。内键槽的腔槽 476 进一步包括一些纵向的凹进部分 360, 以便减少内键槽 422 的重量, 从而减少假肢膝的重量。

内键槽的端部具有用于接受环形密封圈的法兰 480, 以便为可转动的
15 内键槽 422 和侧板 416 及 418 间提供静态密封。在端部与其相邻处还提供了一个台阶、凸肩或法兰 362, 以便在假肢膝组装时将环形密封圈装在内键槽 422 上。

内键槽 422 最好采用电火花机床进行制造。内键槽 422 最好由钛或钛合金制作, 以便能够提供非铁磁性的具有适当强度、硬度和重量轻的啮合
20 面, 以便与转子 420 啮合和进行传动。内键槽 422 采用 6Al-4V 钛合金进行制作则更好。

在一个最佳实施例中, 参阅图 41-44, 内键槽 422 的结构参数为: 直径 D411 约为 2.85 厘米 (1.120 英寸), 直径 D412 约为 2.46 厘米 (0.970 英寸), 通道直径 D413 约为 2.95 毫米 (0.116 英寸), 角 θ 411 的典型值约为 120 度, 角 θ
25 412 的典型值约为 40 度, 长度 L421 约为 2.24 厘米 (0.881 英寸), 长度 L422 约为 1.96 厘米 (0.771 英寸), 曲线长度 L433 约为 1.88 毫米 (0.074 英寸), 曲线长度 L434 约为 8.92 毫米 (0.351 英寸), 直径 D431 约为 3.63cm (1.43 英寸), 直径 D432 约为 3.43cm (1.350 英寸), 直径 D433 约为 2.90cm (1.140 英寸), 余隙宽度 W431 约为 0.0254 毫米 (0.001 英寸), 曲率半径 R431、

30

R432、R433、R434、R435 分别约为 1.27 毫米 (0.015 英寸)、1.27 毫米 (0.015 英寸)、0.762 毫米 (0.030 英寸)、0.381 毫米 (0.015 英寸) 和 0.381 毫米 (0.015 英寸), 角 θ_{431} 约为 20 度, 长度 L441 约为 0.055 英寸, 长度 L442 约为 0.381 毫米 (0.015 英寸), 长度 L443 约为 0.127 毫米 (0.005 英寸), 长度 L444 约为 0.127 毫米 (0.005 英寸), 直径 D441 约为 3.345 厘米 (1.317 英寸), 直径 D442 约为 3.226 厘米 (1.270 英寸), 曲率半径 R441 约为 0.20 毫米 (0.008 英寸), 曲率半径 R442 约为 0.51 毫米 (0.020 英寸)。在其它实施例中, 当期望或需要时, 内键槽 422 也可采用其它有效的结构尺寸, 只要能使所提供的假肢膝重量轻、结构紧凑和坚固耐用, 以及可实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

图 45-47 表明本发明磁流变驱动假肢膝转子或内侧叶片 420 的一个最佳实施例。转子 420 为圆环形薄片, 其中央腔槽或通孔 486 具有一些便于同内键槽的齿槽 484 (图 41) 啮合的向内凸出的轮齿 488。最好, 转子 420 包括等距间隔配置的 9 个带圆角的矩形或方形轮齿 488。

转子 420 最好由具有高饱和磁通密度和硬度较高的软磁材料制作, 例如采用兰退火碳钢。转子 420 最好采用电火花机床进行制造。这样, 可保证具有较高的加工精度, 避免或减少在转子 420 和内键槽 422 之间出现可能引起使用者不适的齿隙、游移和冲击。

在一个最佳实施例中, 参阅图 45-47, 转子 420 的结构参数为: 外径 D451 约为 4.851 厘米 (1.910 英寸), 厚度 T461 约为 0.203 毫米 (0.008 英寸), 曲线长度 L471 约为 9.12 毫米 (0.359 英寸), 曲线长度 L472 约为 1.73 毫米 (0.068 英寸), 最大内径 D471 约为 3.642 厘米 (1.434 英寸), 最小内径 D472 约为 3.439 厘米 (1.354 英寸), 余隙宽度 W471 约为 0.0254 毫米 (0.001 英寸), 曲率半径 R471 约为 0.508 毫米 (0.020 英寸), 曲率半径 R472 约为 0.254 毫米 (0.010 英寸), 角 θ_{471} 约为 40 度。在其它实施例中, 当期望或需要时, 转子 420 也可采用其它有效的结构尺寸, 只要能使所提供的假肢膝重量轻、结构紧凑和坚固耐用, 以及可实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

在一个最佳实施例中, 转子最大外径 D451 与其最大内径 D471 之比为 1.3; 在另一个实施例中, 这一比例为 1.2-5; 在又一个实施例中, 这

一比例为 1.1-10。在其它实施例中，当期望或需要时，转子外径与内径的比例也可采用其它值，只要能使所提供的假肢膝重量轻、结构紧凑和坚固耐用，以及可实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

图 48-50 表明本发明磁流变驱动假肢膝定子或外侧叶片 430 的一个最佳实施例。定子 430 为圆环形薄片，其中央腔槽或通孔 490 适合于非接触式接受内键槽 422 并具有一些由其周边向外凸出的轮齿 492，所述轮齿 492 适合于同假肢膝可转外键槽的齿槽相啮合。最好，定子 430 包括等距间隔配置的 9 个带圆角的矩形或方形轮齿 492。

定子 430 最好由具有高饱和磁通密度和硬度较高的软磁材料制作，例如采用兰退火碳钢。定子 430 最好采用电火花机床进行制造。这样，可以保证具有较高的加工精度，避免或减少在定子 430 和外键槽之间出现可能引起使用者不适的齿隙、游移和冲击。

在一个最佳实施例中，参阅图 48-50，定子 430 的结构参数为：最大内径 D481 约为 3.658 厘米(1.440 英寸)，厚度 T491 约为 0.203 毫米(0.008 英寸)，曲线长度 L501 约为 1.18 厘米 (0.464 英寸)，曲线长度 L502 约为 3.66 毫米 (0.144 英寸)，最大外径 D501 约为 5.07 厘米 (1.996 英寸)，最小外径 D502 约为 4.867 厘米(1.916 英寸)，余隙宽度 W501 约为 0.0254 毫米 (0.001 英寸)，曲率半径 R501 约为 0.508 毫米 (0.020 英寸)，曲率半径 R502 约为 0.254 毫米 (0.010 英寸)，角 θ 501 约为 20 度。在其它实施例中，当期望或需要时，定子 430 也可采用其它有效的结构尺寸，只要能使所提供的假肢膝重量轻、结构紧凑和坚固耐用，以及可实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

在一个最佳实施例中，定子最小外径 D502 与其最大内径 D481 之比为 1.3；在另一个实施例中，这一比例为 1.2-5；在又一个实施例中，这一比例为 1.1-10。在其它实施例中，当期望或需要时，转子外径与内径的比例也可采用其它值，只要能使所提供的假肢重量轻、结构紧凑和坚固耐用，以及可实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

图 51 表明具有本发明另一最佳实施例特色和优点的磁流变驱动的假肢膝 510。在本实施例中，磁回路通过假肢膝 510 的外部。这种结构可使所设计的产品重量更轻、结构更为紧凑。当期望或需要时，也可选用

或构造其它适当的磁回路形式，只要能实现本发明文件所述的一个或多个特色和优点。

参阅图 51，在假肢膝 510 中，电磁铁或电磁线圈 514 配置在一些交错配置的转子（内侧叶片）520 和定子（外侧叶片）530 与软磁外罩（外壳）之间，对其进行激励以产生磁场 540。磁场 540 的有效部分或功能部分通过（在侧向 542）转子 520、定子 530 及驻留在它们之间间隙中的磁流变流体。磁场 540 的磁回路部分通过软磁侧板 516 向外辐射、侧向通过假肢膝的外部 512 和通过第二软磁侧板 518 向内聚敛。

以上，对本发明的部件和所涉及的技术进行了相当程度的详述，但熟悉本门技术的人们都会了解，在不超出本发明所声明的权利要求的范围和要义下，对上述本发明的具体设计、结构和方法作出增减和修改是可能的。应当理解，本发明不局限于为说明起见而举出的一些实施例，其范围仅能由权利要求所规定。

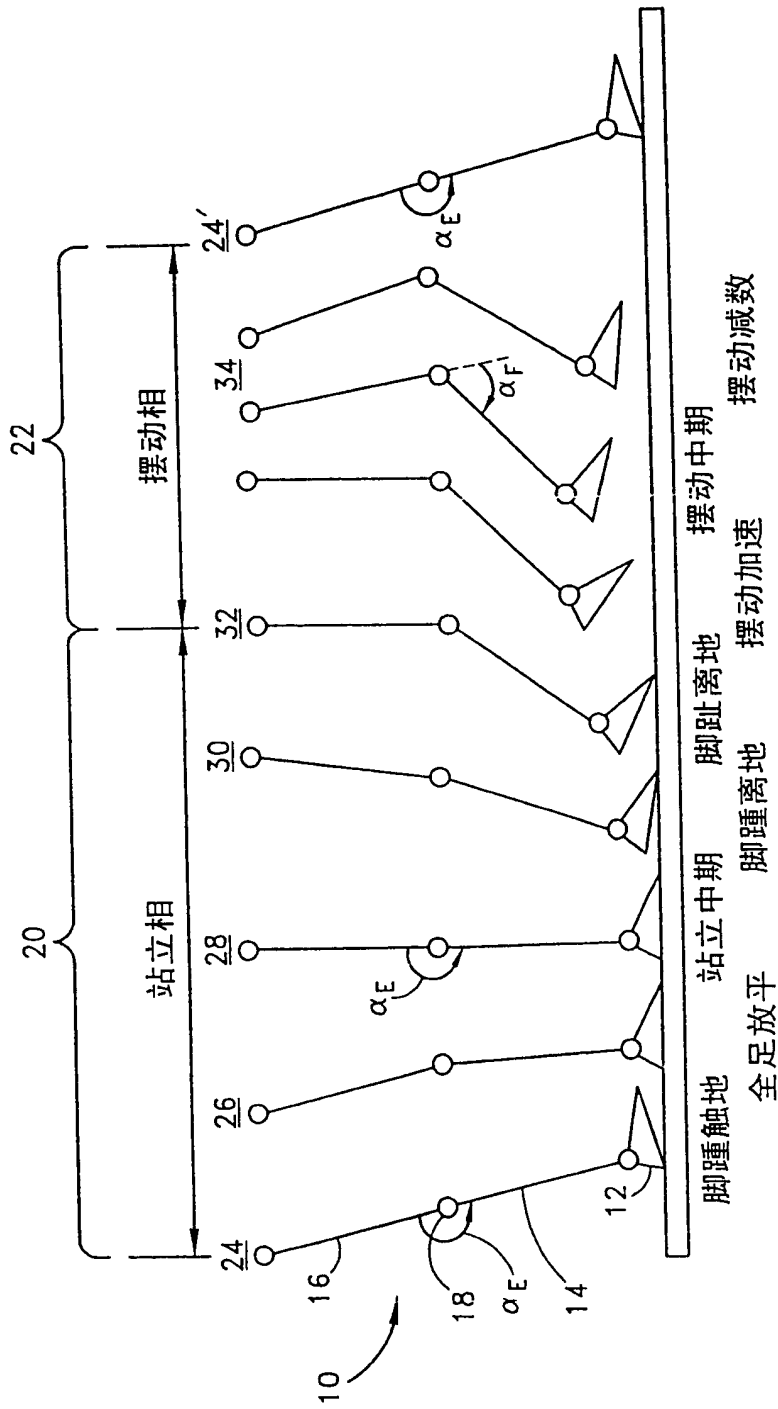


图 1

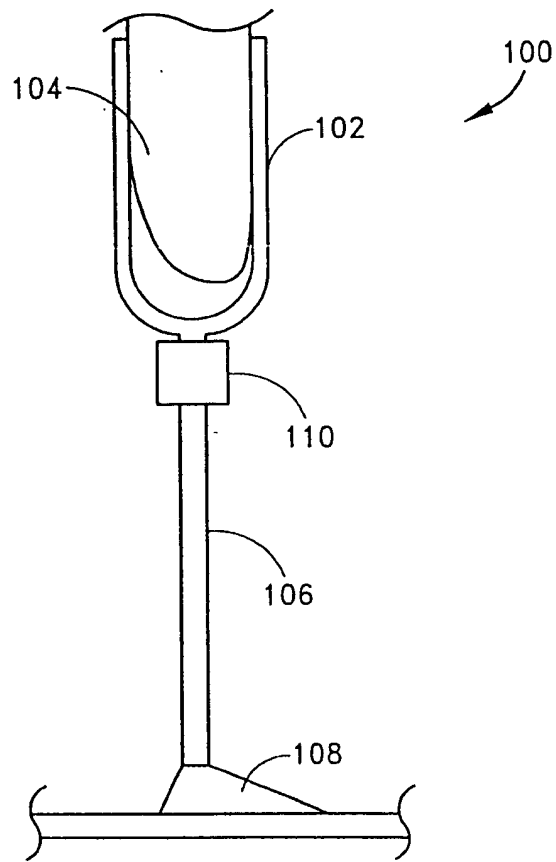


图 2

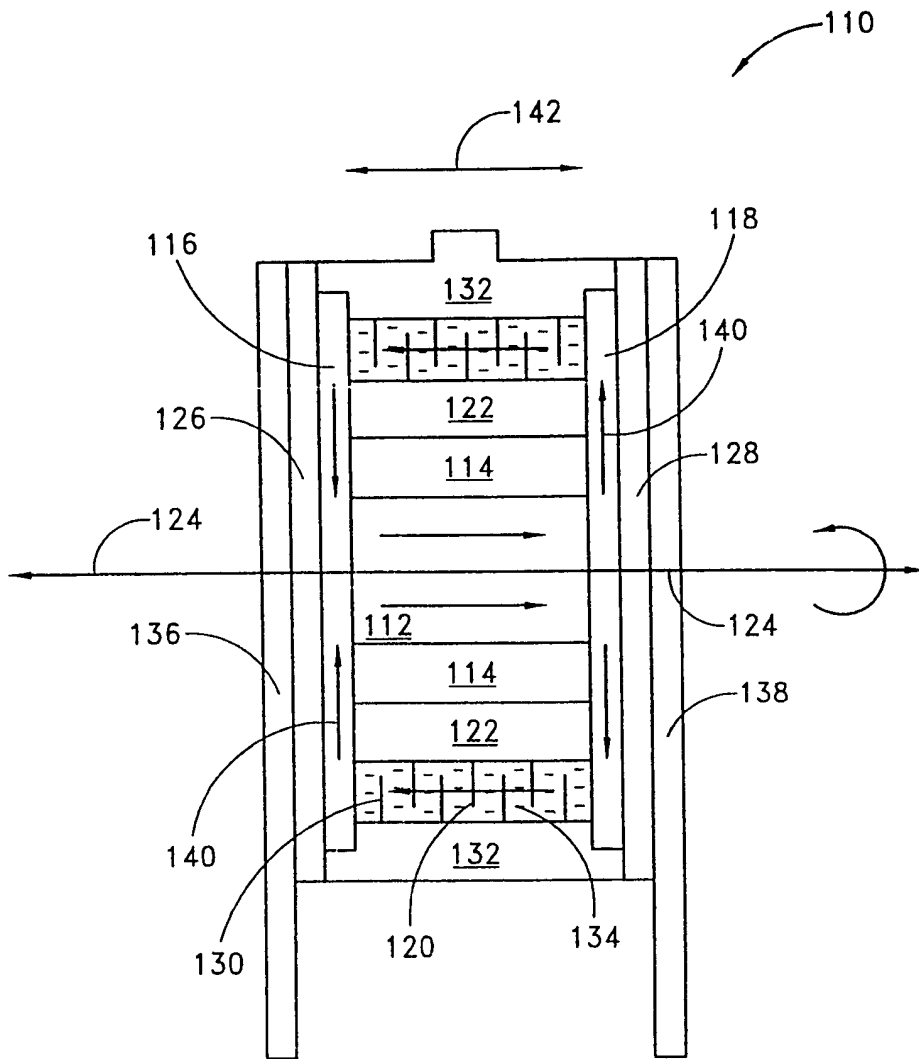


图 3

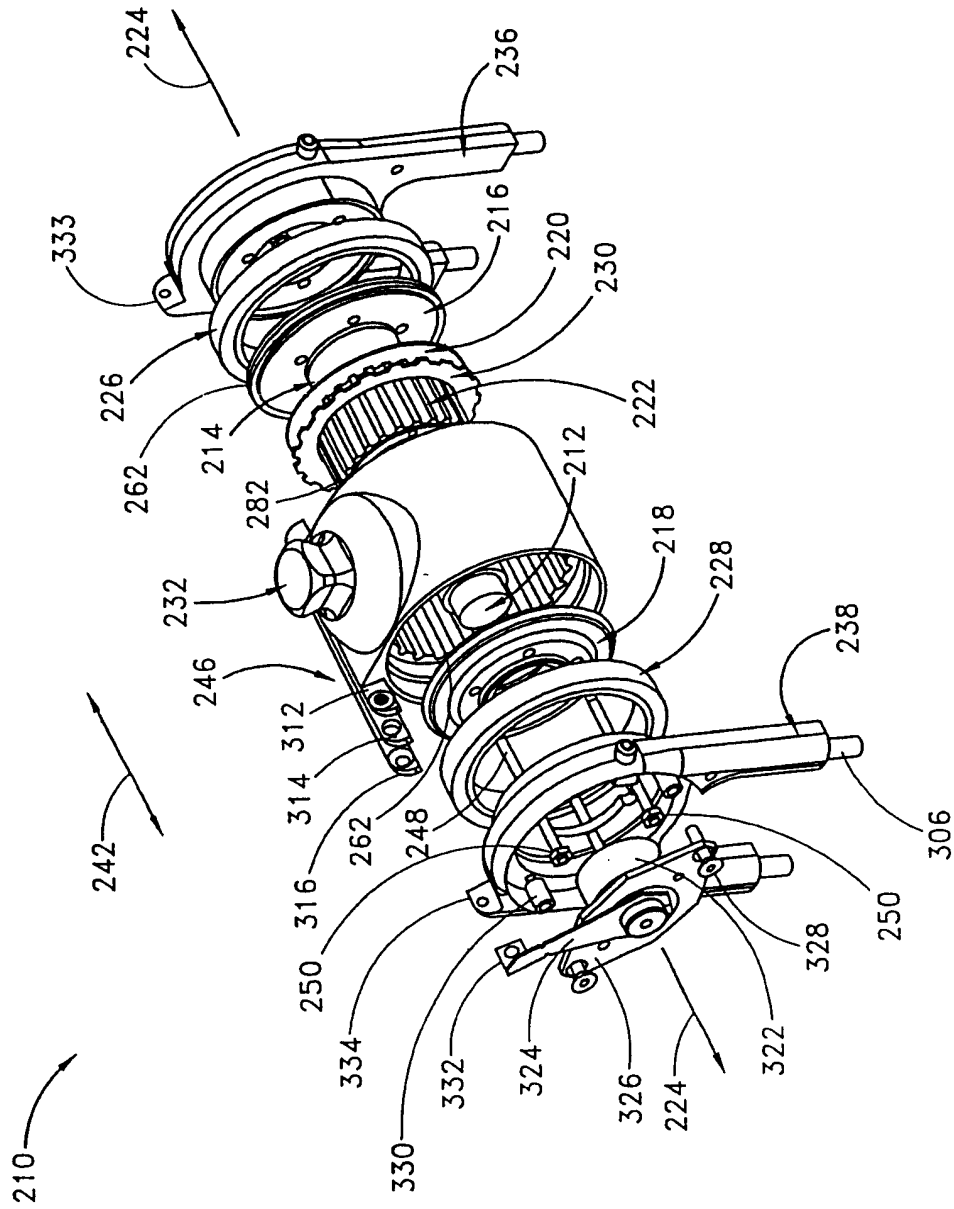


图 4

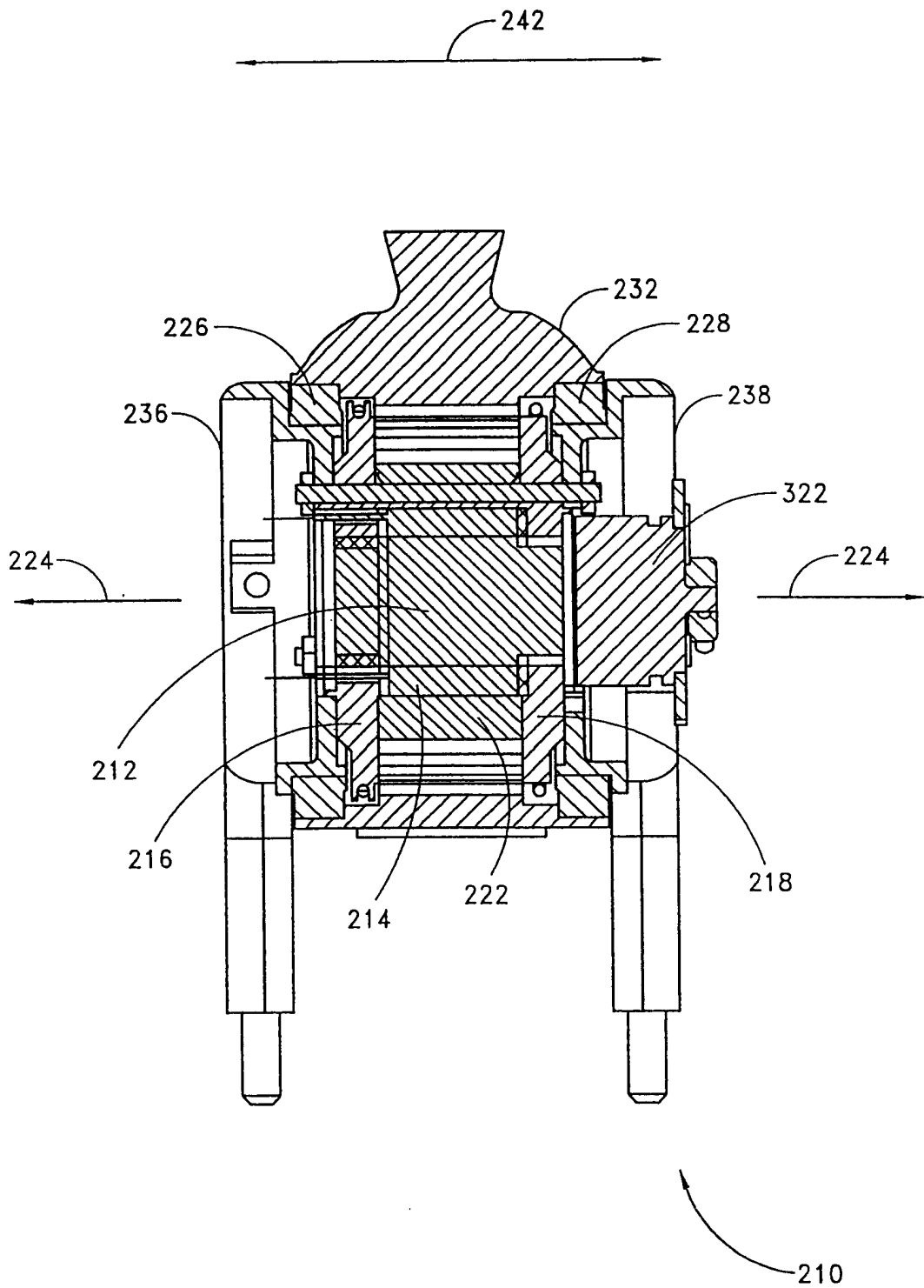


图 5

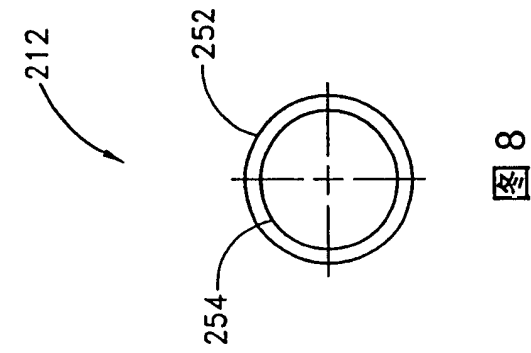


图 8

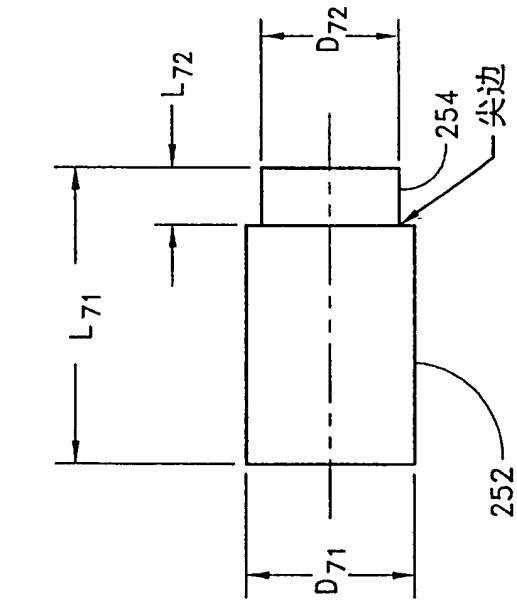


图 7

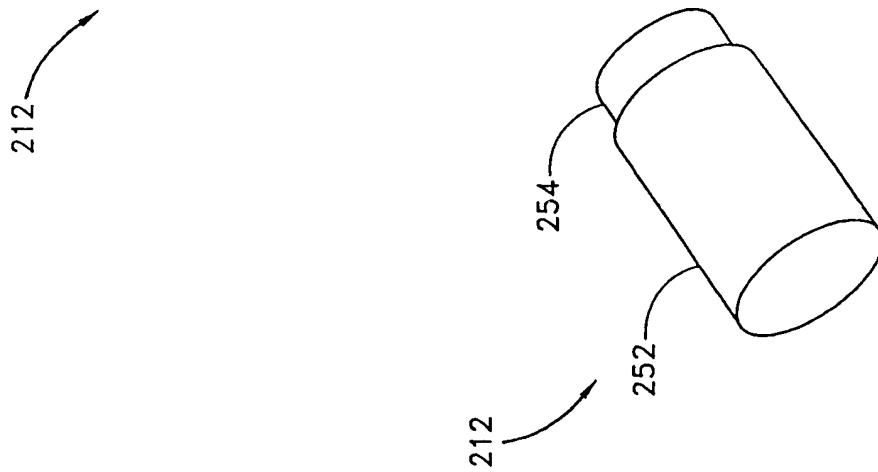


图 6

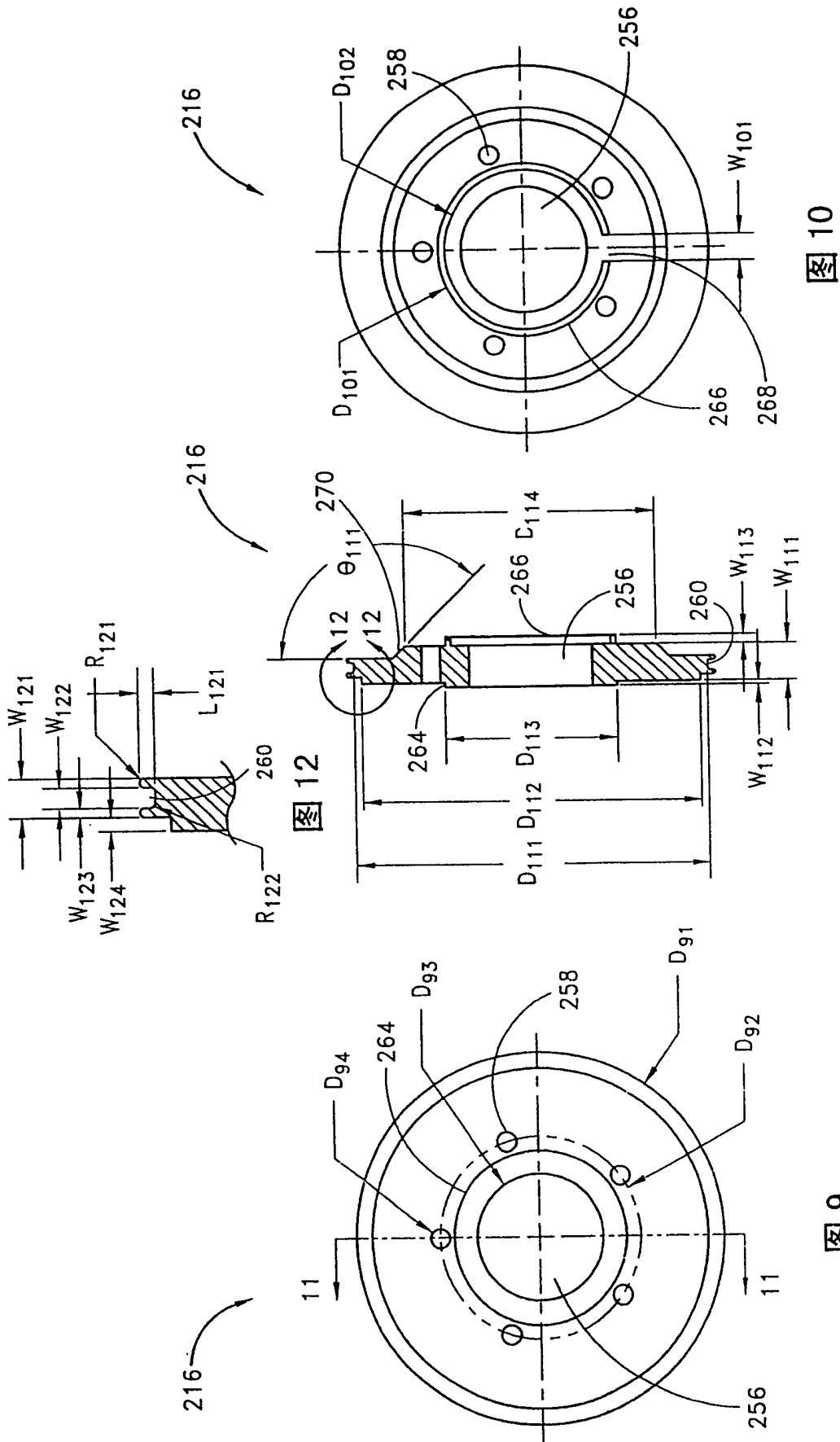


图 10

图 11

图 9

图 12

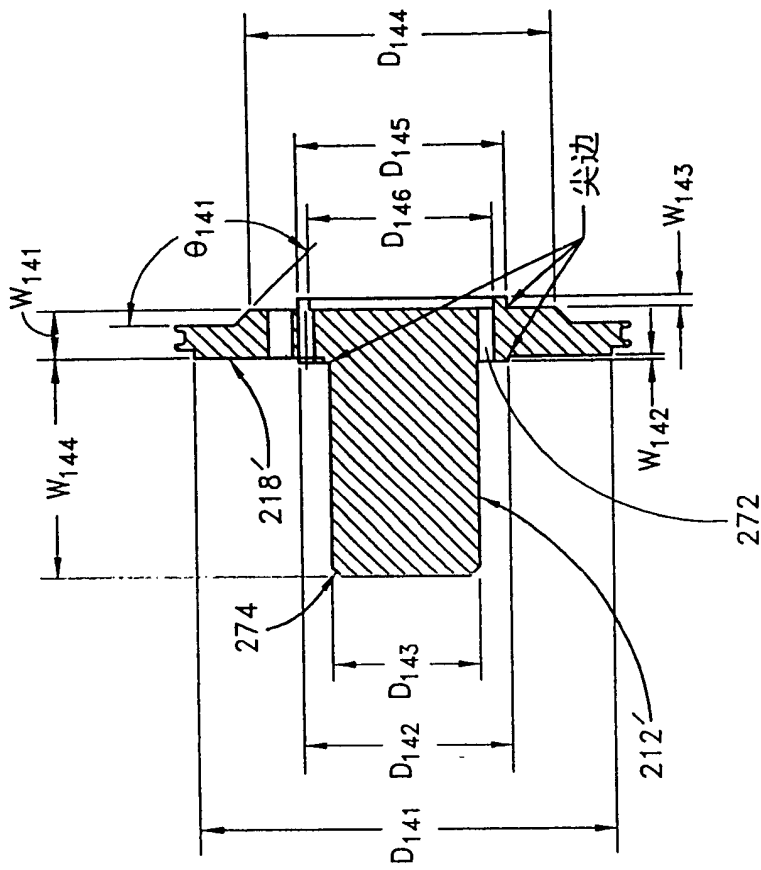


图 14

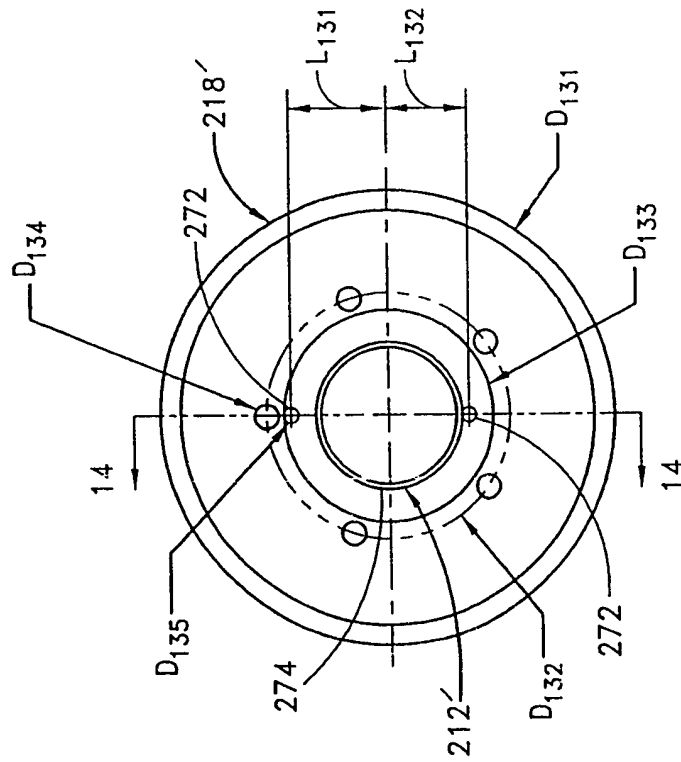


图 13

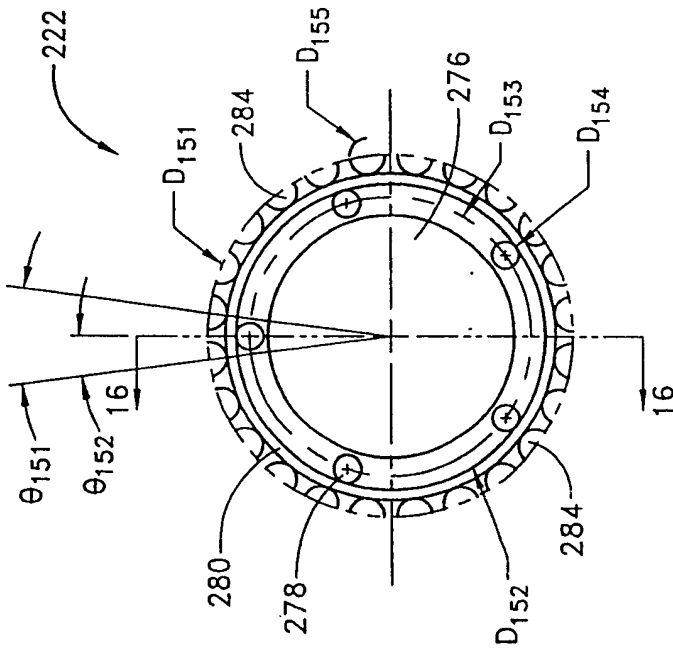


图 15

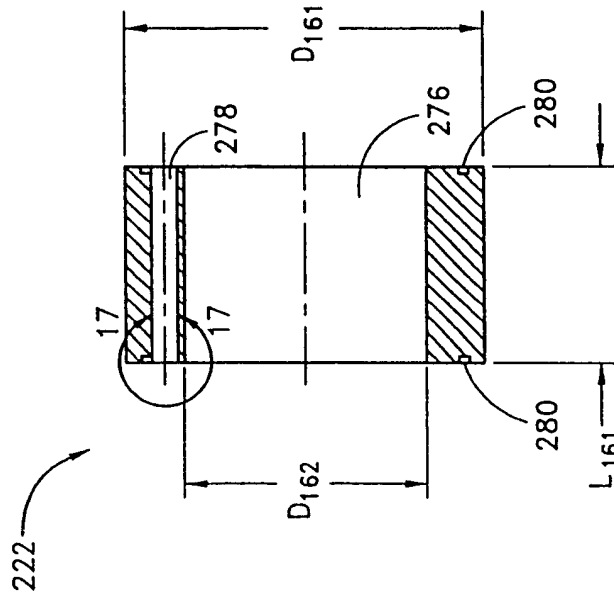


图 16

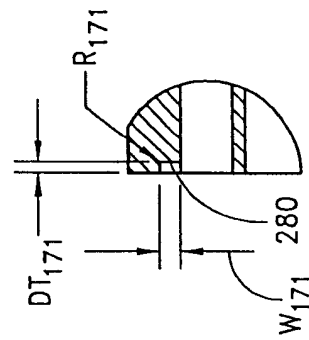


图 17

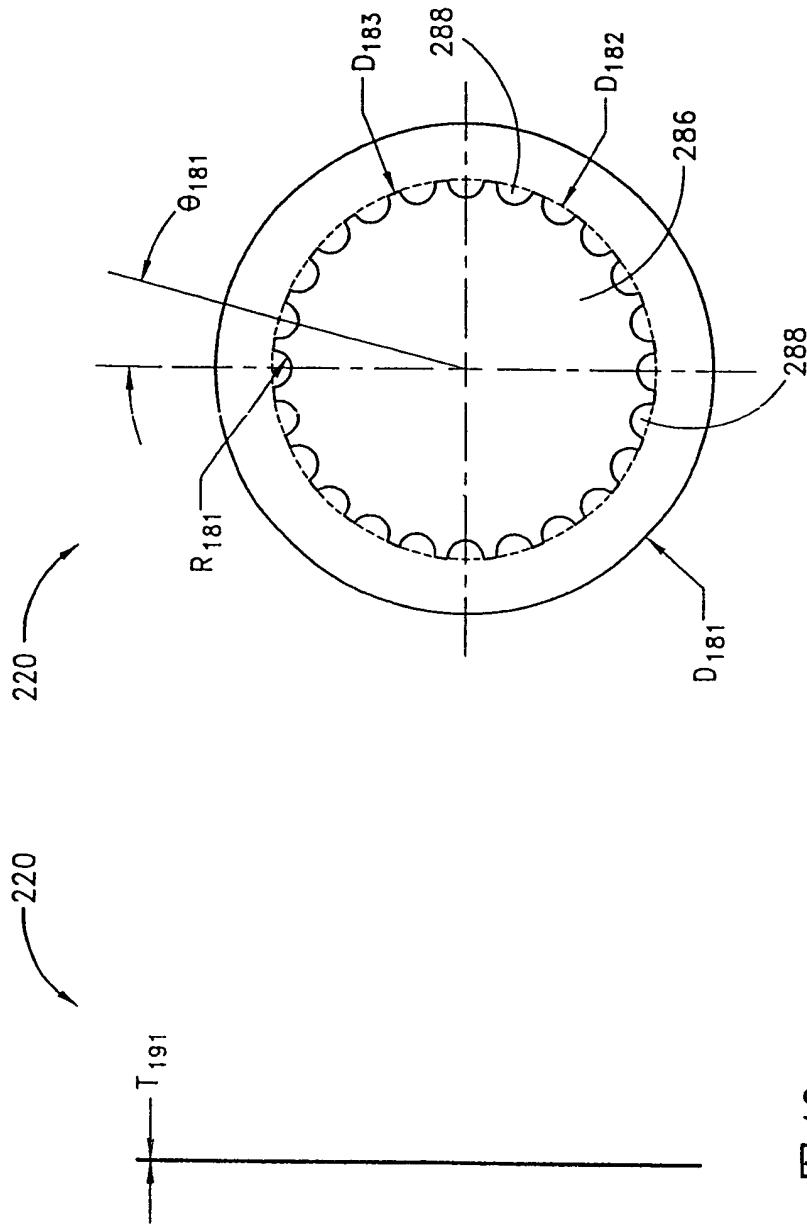


图 18

图 19

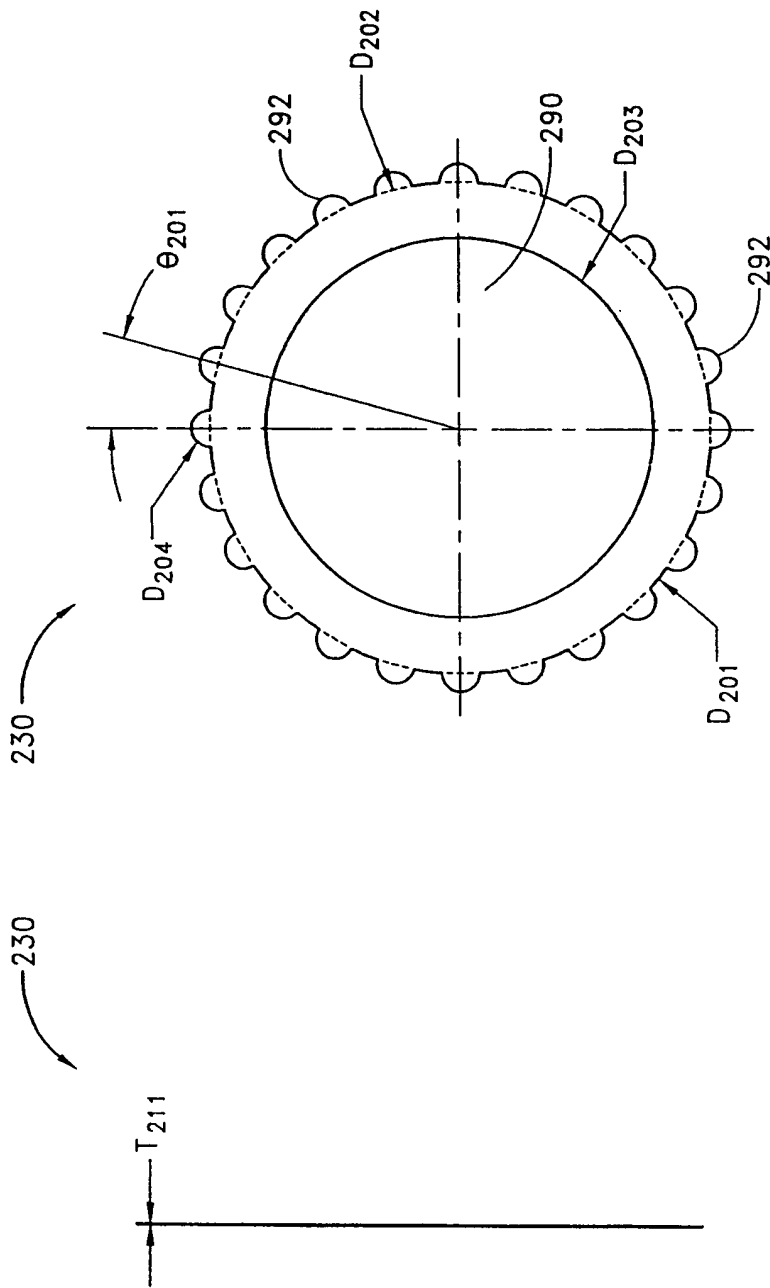


图 20

图 21

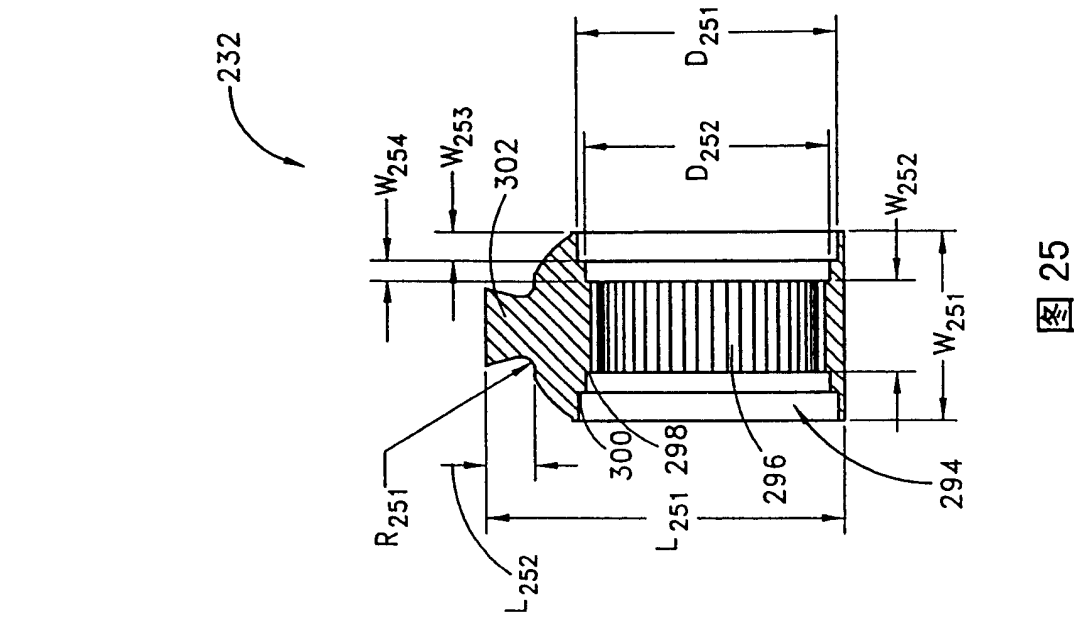


图 24

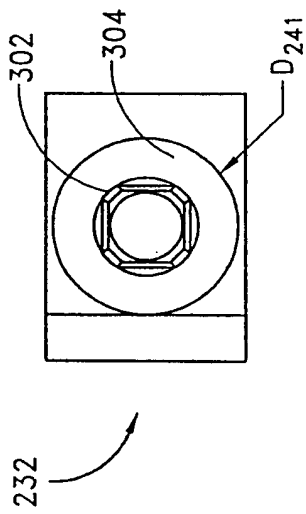


图 25

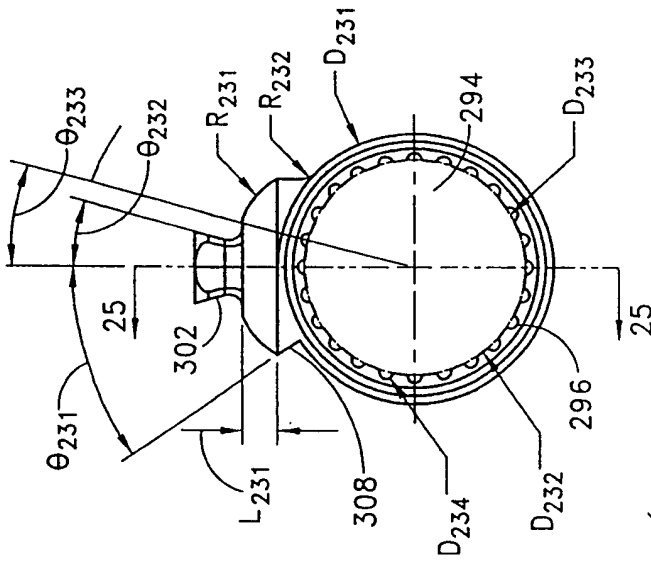
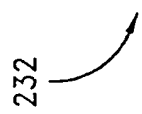


图 23

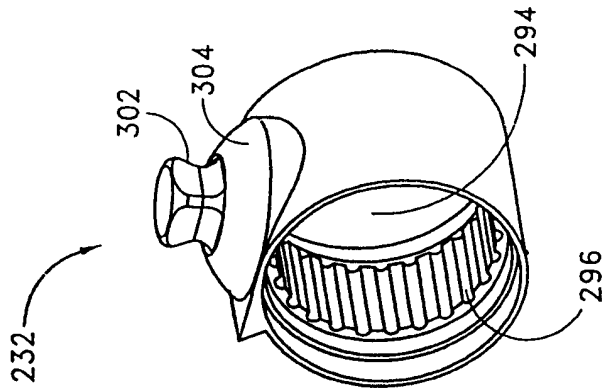


图 22

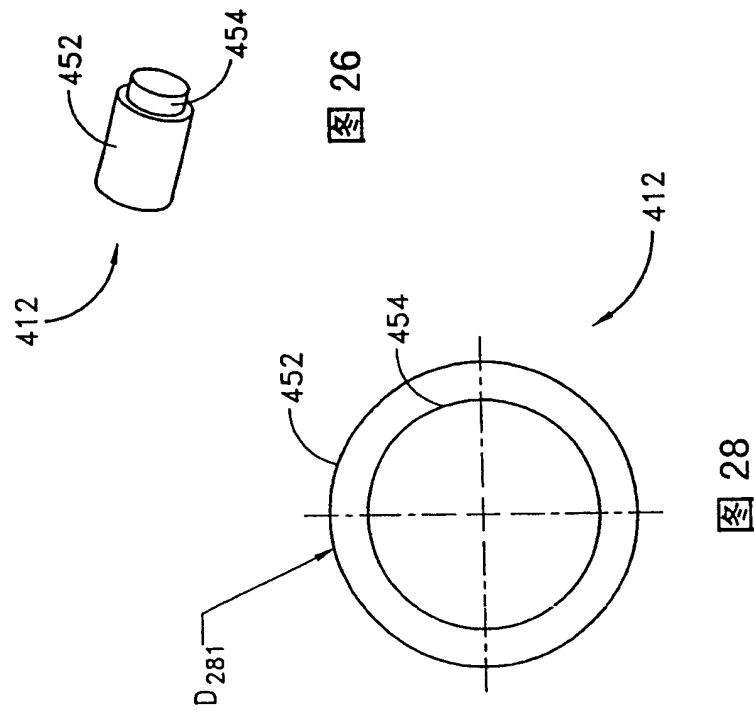


图 26

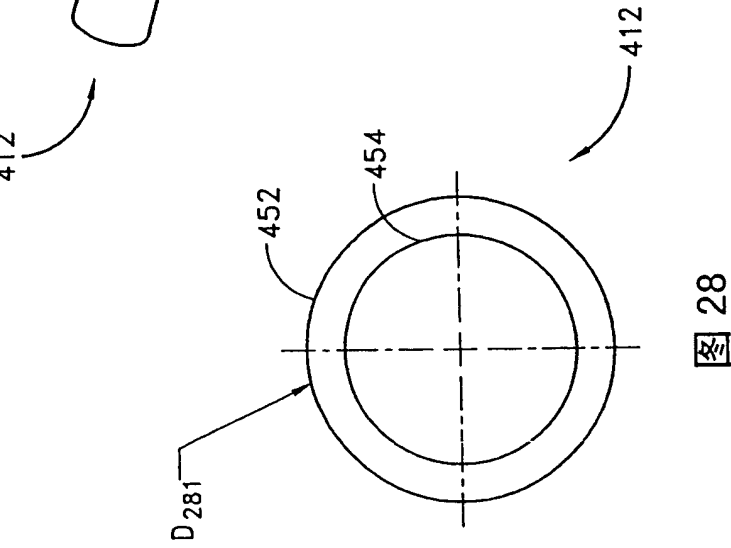


图 28

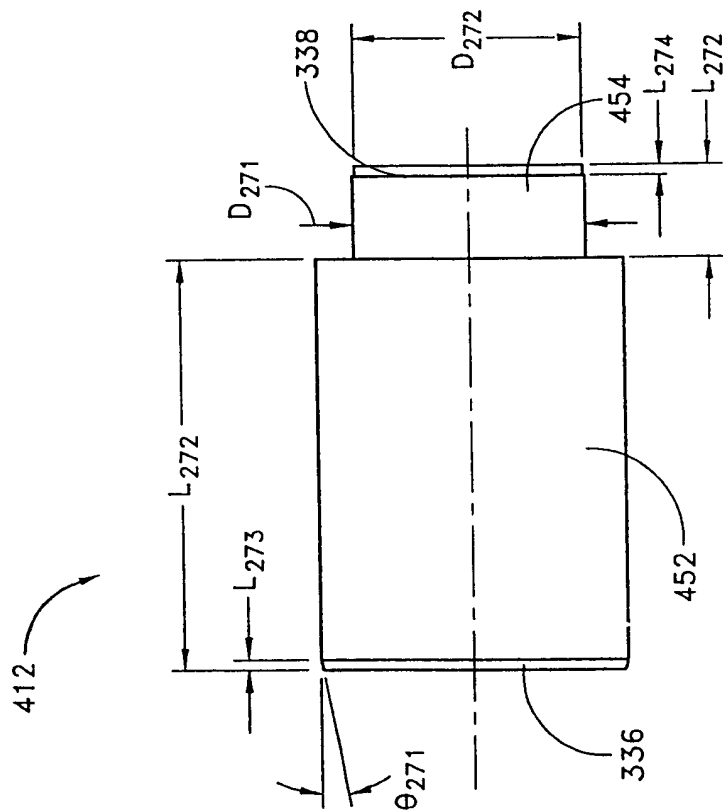


图 27

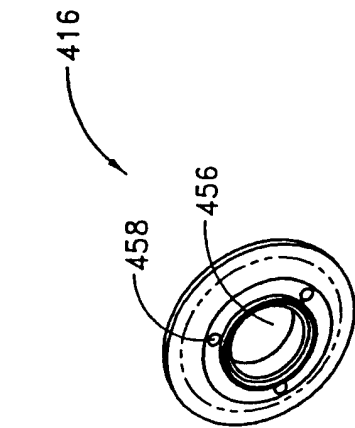


图 29

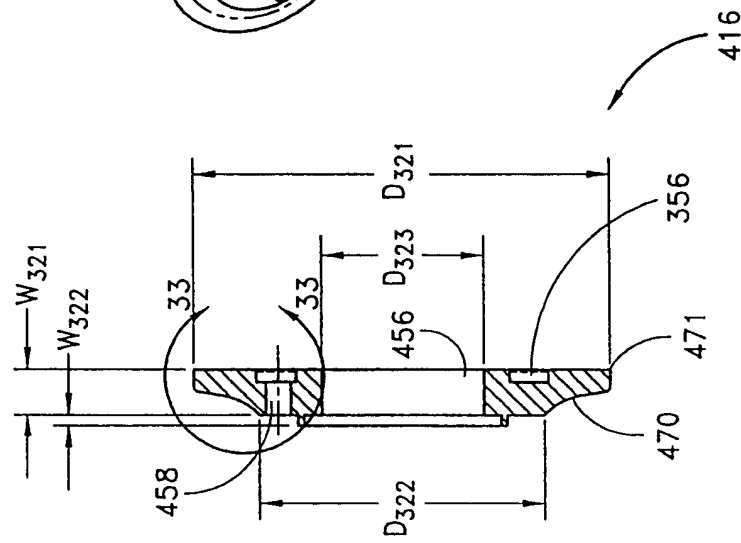


图 32

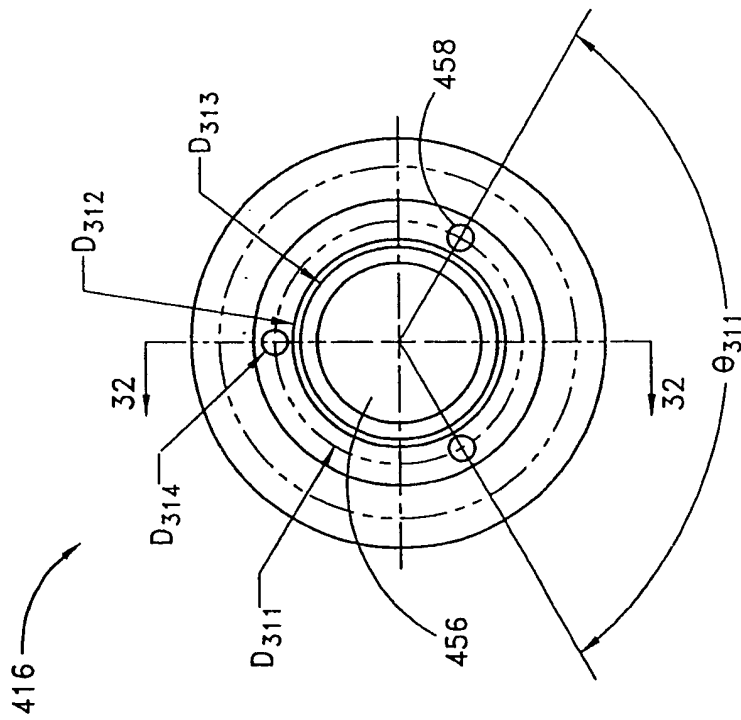


图 31

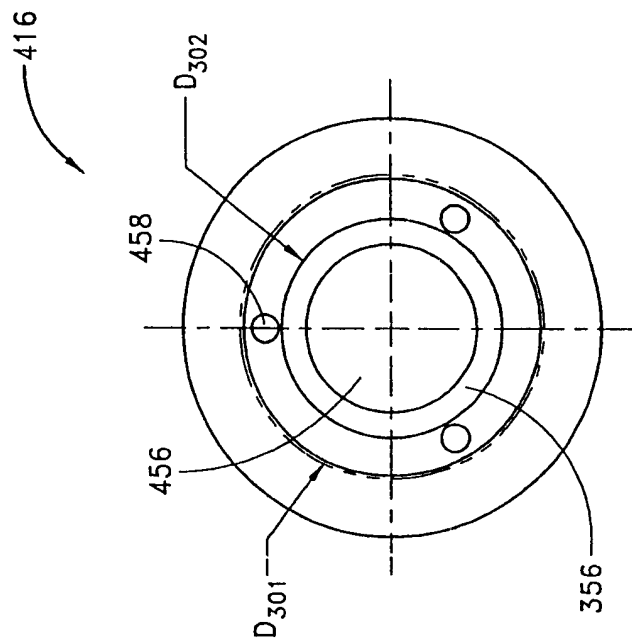


图 30

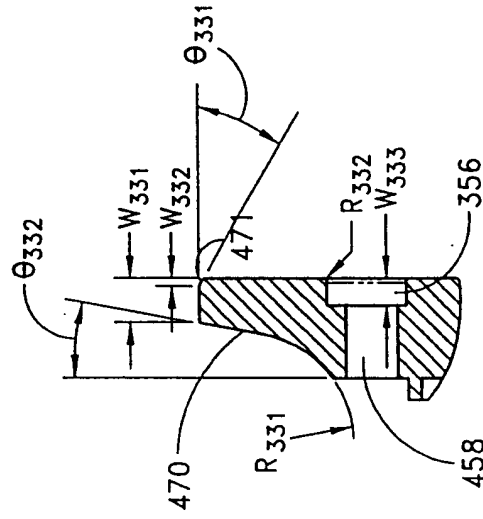


图 33

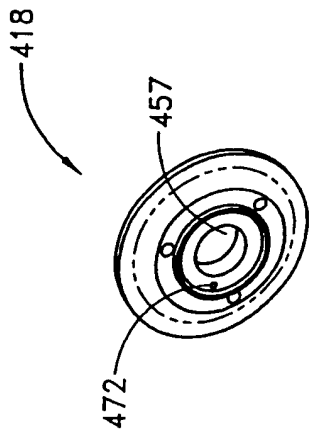


图 34

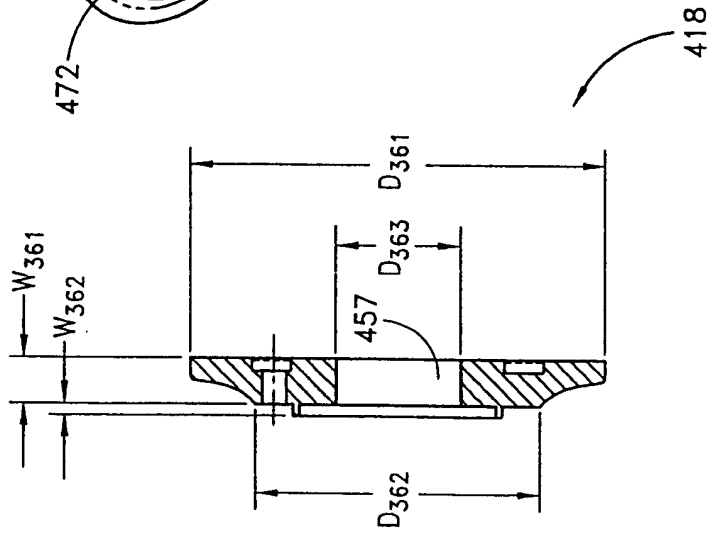


图 36

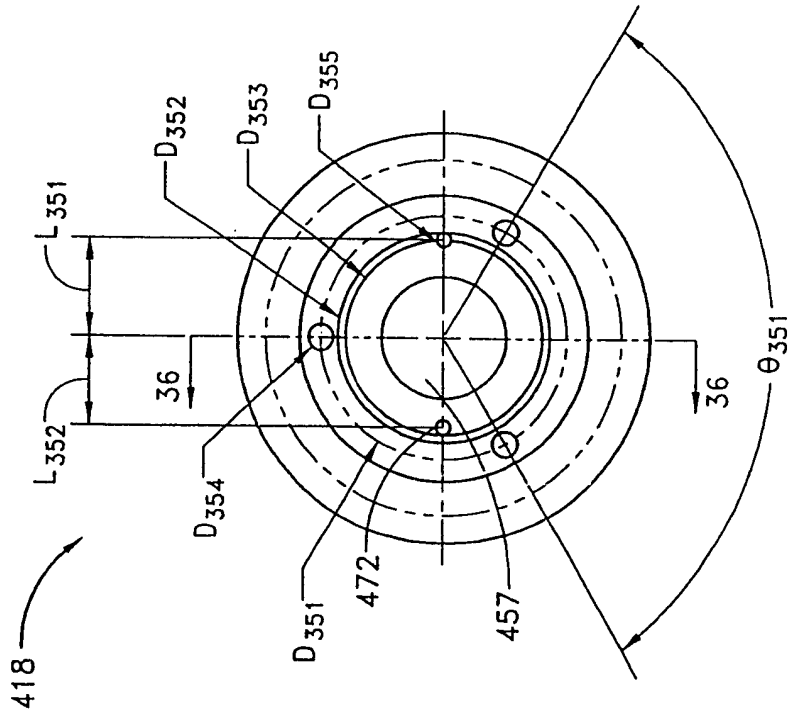


图 35

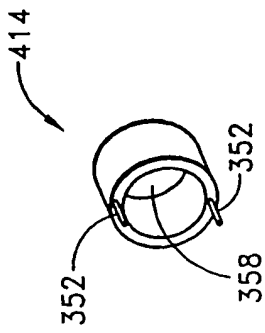


图 37

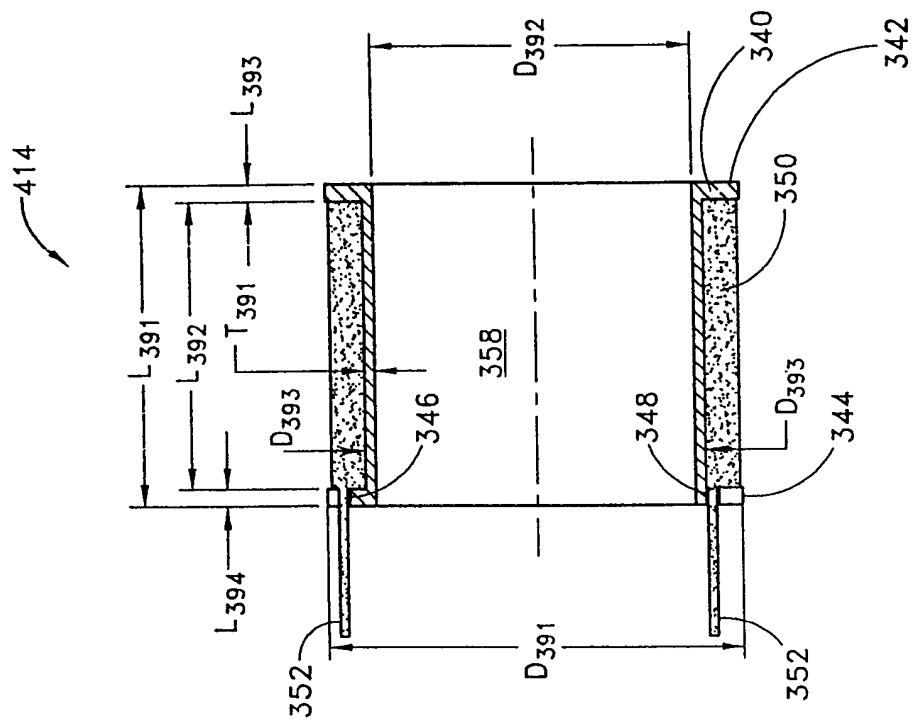


图 39

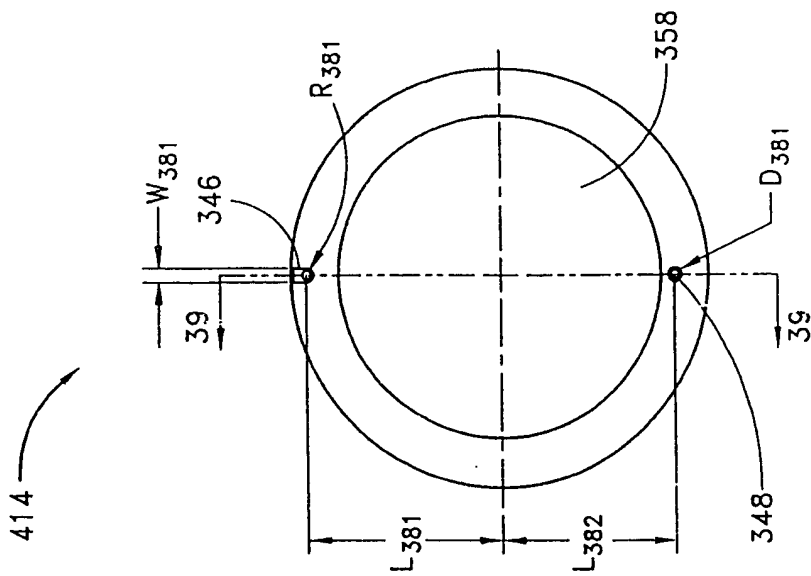


图 38

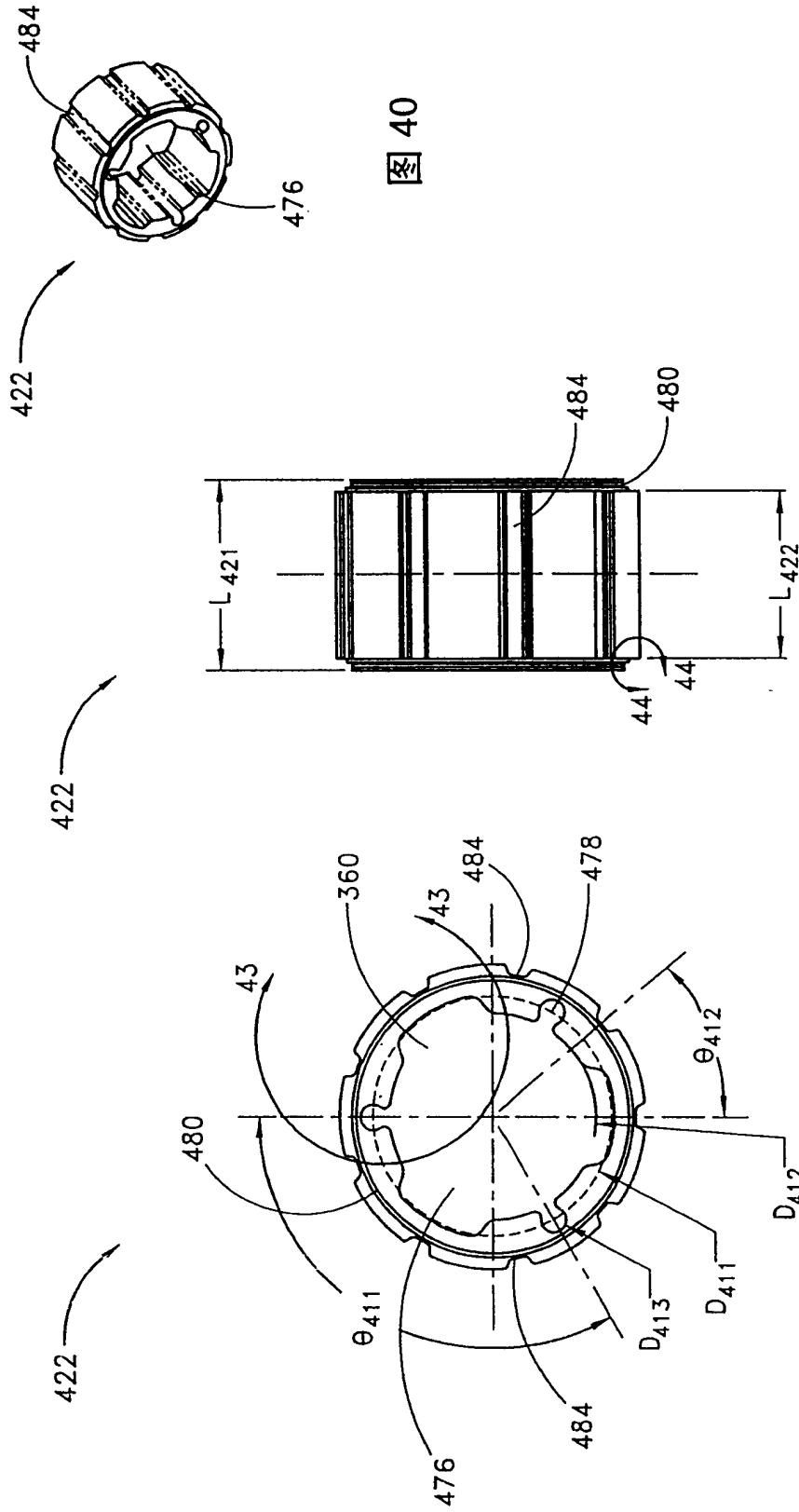


图 40

图 42

图 41

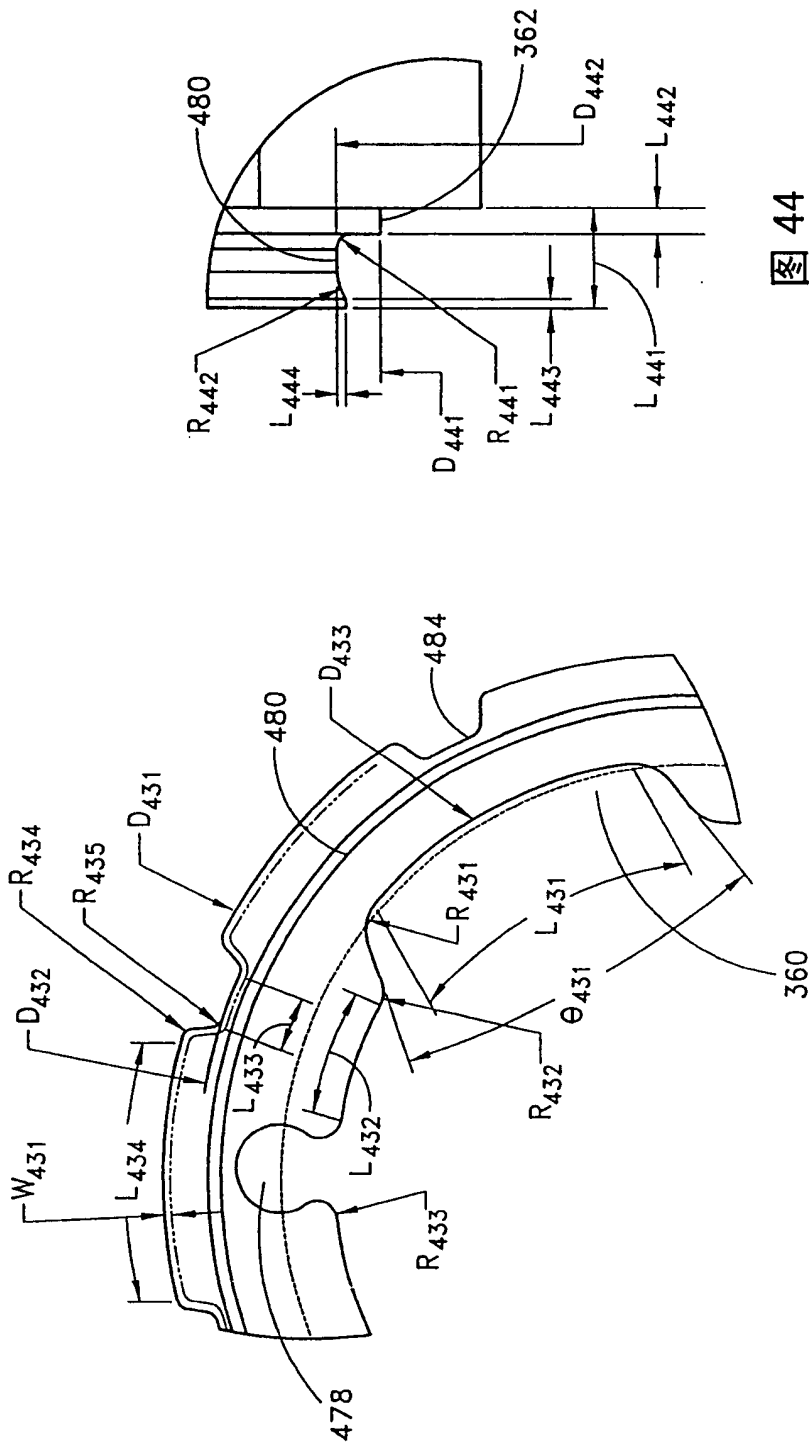


图 43

图 44

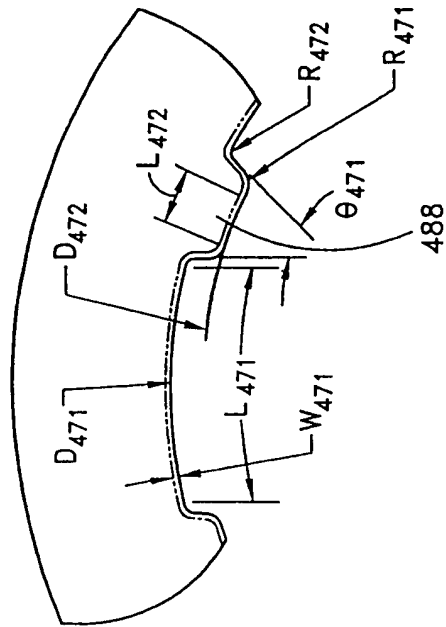


图 47

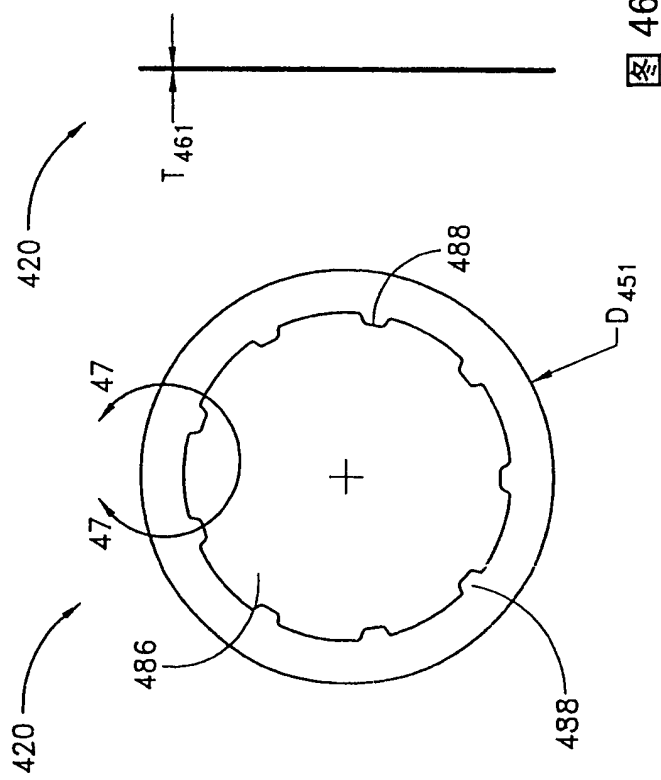


图 46

图 45

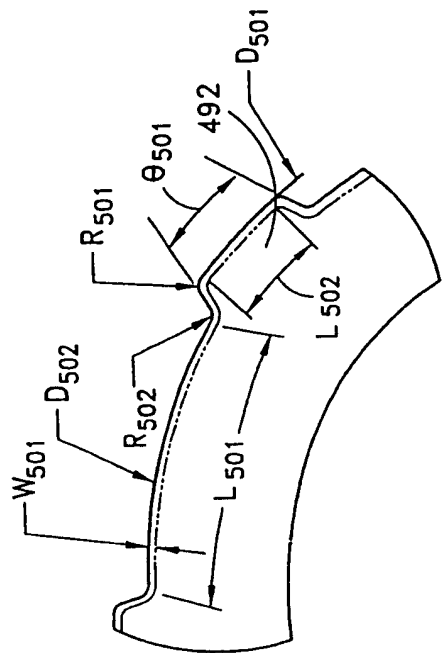


图 50

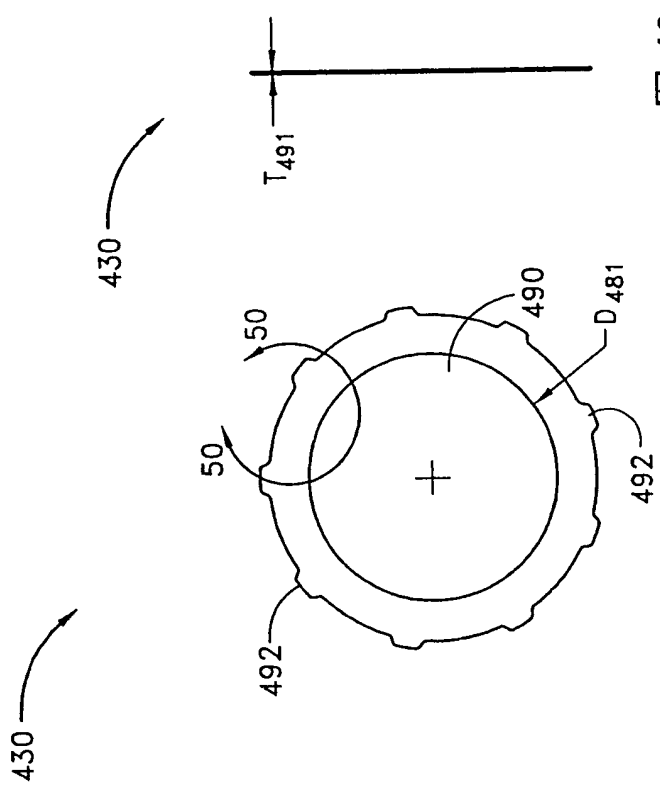


图 49

图 48

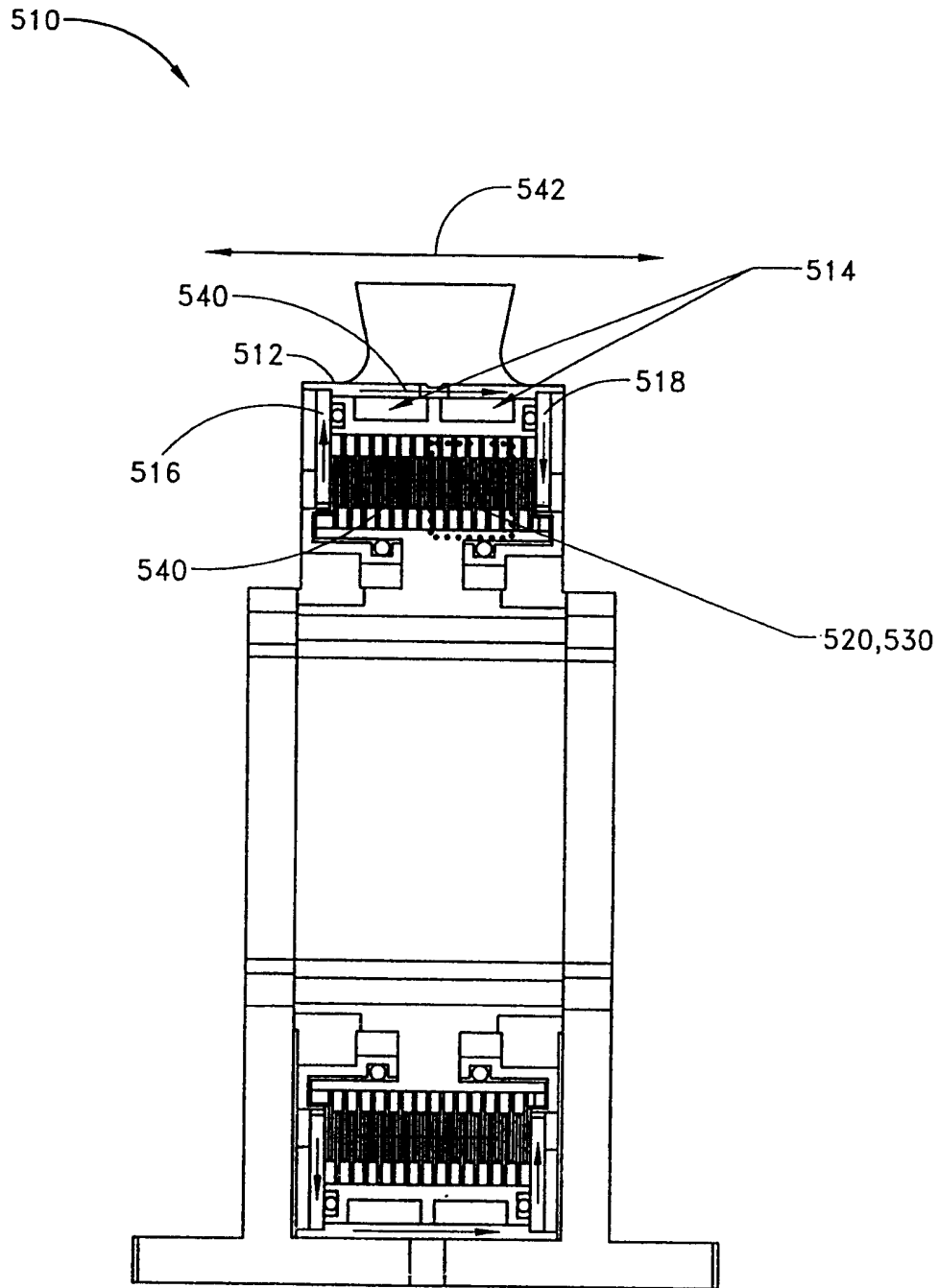


图 51