[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl[7]
F02G 1/043
F16H 21/30

[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 98807206.8

[43] 授权公告日 2003 年 6 月 18 日

[11] 授权公告号 CN 1111646C

[22] 申请日 1998.7.14 [21] 申请号 98807206.8

[30] 优先权

[32] 1997. 7.15 [33] US [31] 60/052,535

[86] 国际申请 PCT/US98/14559 1998.7.14

[87] 国际公布 WO99/04152 英 1999.1.28

[85] 进入国家阶段日期 2000.1.14

[71] 专利权人 新动力概念有限公司

地址 美国新罕布什尔

[72] 发明人 约翰·克尔温 金斯顿·欧文斯
迈克尔·诺里斯 迪恩·L·卡门
蒂姆·杜根

[56] 参考文献

CH3263314A 1958.01.31

US1583368A 1926.05.04

审查员 裴志红

[74] 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责任公司

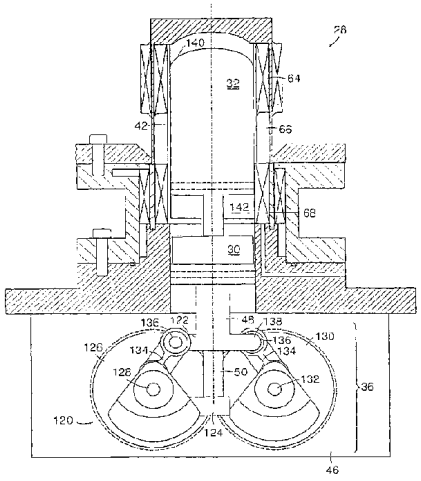
代理人 顾红霞 朱登河

权利要求书 3 页 说明书 20 页 附图 23 页

[54] 发明名称 斯德林循环机组

[57] 摘要

一种用于象斯德林机组一类机器的菱形驱动装置，以便把发动机轴的旋转运动转换为两根连杆的往复直线运动。 在偏心地联结在发动机轴上的联杆之间使用一个挠性构件作为共同的枢轴。 挠性接头的联轴器可以用于把上述连杆联结在发动机的相应的活塞上。 斯德林机组的其他改进之处包括，对加热器箱体进行辐射加热，以及使用陶瓷的加热器箱体，把辐射热传递给机械内部的工作流体。



ISSN1008-4274

1. 一种斯德林循环机组，它包括加热区和冷却区，工作流体在其中进行加热循环和冷却循环，其特征在于,还包括：一个用于提供热能的燃烧器；一个具有内表面和外表面的加热器箱体，该加热器箱体用于把燃烧器所提供的热能传递给上述工作流体；以及一组在上述加热器箱体的第一销子，这组第一销子用于将热能传递通过上述加热器箱体。

2. 如权利要求 1 所述的斯德林循环机组中，其特征在于，第一销子位于上述加热器箱体的内表面上。

3. 如权利要求 1 所述的斯德林循环机组中,其特征在于,第一销子位于上述加热器箱体的外表面上。

4. 如权利要求 3 所述的斯德林循环机组，其特征在于，在上述加热器箱体的内表面上还有一组第二销子，这组第二销子用于将热能传递通过上述加热器箱体。

5. 如权利要求 1 所述的斯德林循环机组中，其特征在于,还包括：

a. 一个在气缸内进行往复直线运动的动力活塞，该动力活塞有一个第一直径，并在气缸内的一定空间中运动；

b. 一个与上述动力活塞的往复直线运动作同轴线的往复直线运动的排出器活塞，该排出器活塞的运动空间至少一部分与上述动力活塞的运动空间相同，上述排出器活塞具有比上述第一直径大的第二直径；以及

c. 一种装在上述动力活塞和排出器活塞运动空间里的工作流体，该工作流体进行连续的循环：加热、膨胀、冷却、压缩。

6. 如权利要求 5 所述的斯德林循环机组，其特征在于，所述排出

器具有一个高温端和一个低温端，并且具有一个围绕着上述排出器高温端的蓄热器环。

7. 如权利要求 5 所述的斯德林循环机组，其特征在于，所述排出器具有一个高温端和一个低温端并且具有一个围绕着上述排出器低温端的蓄热器环。

8. 如权利要求 5 所述的斯德林循环机组，其特征在于，具有一个设置在上述加热器箱体周围的热辐射器，以借助于辐射把热量传递给上述加热器箱体。

9. 如权利要求 8 所述的斯德林循环机组，其特征在于，该热辐射器有一组设置在加热器箱体的周围的辐射构件。

10. 如权利要求 9 所述的斯德林循环机组，其特征在于，上述辐射构件是翅片。

11. 如权利要求 5 所述的斯德林循环机组，其特征在于，所述加热器箱体是一个能透过热辐射的陶瓷加热器箱体。

12. 如权利要求 5 所述的斯德林循环机组，其特征在于，还包括在上述气缸内的波纹形箔片，用于吸收通过上述加热器箱体传递过来的热辐射能量，并通过对流把热量传递给工作流体。

13. 如权利要求 5 所述的斯德林循环机组，其特征在于，还包括：

a. 一个用于向上述活塞与气缸之间的界面供应局部离子化工作流体的电离器；以及

b. 一个围绕着上述活塞，防止上述工作流体通过该活塞的磁场。

14.如权利要求 5 所述的斯德林循环机组，其特征在于，还包括一

台由所述燃烧器排放的热废气驱动，以便迫使空气进入燃烧器内的涡轮压缩机。

15. 如权利要求 5 所述的斯德林循环机组，其特征在于，它包括一台由所述燃烧器排放的热废气驱动，用于冷却上述斯德林发动机的吸附式冷却器。

16. 如权利要求 5 所述的斯德林循环机组，其特征在于它包括一个用于将空气夹带输送到燃烧器内的空气增压器。

17. 如权利要求 16 所述的斯德林循环机组，其特征在于，上述空气增压器还把废气送入上述燃烧器内。

斯德林循环机组

技术领域

本发明涉及斯德林(Stirling)循环热机或制冷机的改进，更具体的说，涉及斯德林循环热机或制冷机的机械构件和热力元件的改进，以提高机器的运行效率和寿命，以及减小尺寸、复杂性和降低成本。

背景技术

包括发动机和制冷机在内的斯德林循环机组在技术上已经有了很长的历史，它在 1980 年由牛津大学出版社的，瓦尔克(Walker)所著的《斯德林发动机》一书中有详细描述，该书作为本申请的参考文献。斯德林循环发动机的基本原理是在机械上实现斯德林的热力学循环：气体在气缸内的等体积加热；气体的等温膨胀(在该过程中由驱动活塞完成作功)；等体积冷却；以及等温压缩。斯德林循环制冷机的基本原理也是实现一种与理想的斯德林热力学循环很相近的热动力循环。在理想的斯德林热力学循环中，工作流体连续地进行下列循环：等体积加热；等温膨胀；等体积冷却；以及等温压缩。在实际中实现的这种循环(其中的各个阶段既不是等体积的，也不是等温的)，包括在本发明的范围内，并且也可以认为包括在本说明书中所说的理想情况的范围内，而并不限制要求保护的本发明的范围。

本发明的各个方面可应用于斯德林循环发动机，也可以应用于斯德林循环制冷机，在本说明书中和本申请的权利要求书中，把这两种机器总括起来，称之为斯德林循环机组。斯德林循环机组的其他方面，以及对它的改进在 1998 年 7 月 14 日美国专利申请“悬臂曲轴斯德林循环机组”中讨论，也可作为本申请的参考文献。

斯德林发动机的工作原理可参照图 1a-1e 来描述，其中，同样的

标号用以表示相同或相似的部件。在本技术领域中已经公开了许多斯德林循环机组的机械设计方案，而用标号 10 指定特定的斯德林发动机的目的只是为了进行说明。在图 1a-1d 中，活塞 12 和排出器 14 在多个气缸 16 内作相控往复运动，但，在斯德林发动机的有些实施例中，也可以是单独一个气缸。装在气缸 16 中的工作流体用密封件约束，使其不能从活塞 12 和排出器 14 周围逸出。工作流体是根据它的热力学性能来选择的，这将在下面的说明书中进行讨论，通常是几个大气压的氦。排出器 14 的活塞分别根据各界面是要向工作流体供应热量还是从工作流体上吸收热量，控制工作流体是与热界面 18 接触还是与冷界面 20 接触。下面将进一步详细讨论热量的供应与吸收。由活塞 12 的位置占据的工作流体的空间称为压缩空间 22。

在发动机循环的第一阶段中，开始时的状态如图 1a 所示，活塞 12 压缩压缩空间 22 中的流体。这种压缩基本上在恒温状态下进行，因为热量从流体中吸收出来散失到大气中了。在实践中，设置了一个冷却器 68(见图 2)，这将在下面的说明书中进行讨论。发动机 10 在压缩后的状态如图 1b 所示。在循环的第二阶段，排出器 14 沿冷界面 20 的方向运动，同时，工作流体从冷界面 20 的区域转移到热界面 18 的区域。这个阶段也可称为转移阶段。在转移阶段结束时，流体处于较高的压力下，因为工作流体在恒定的体积下加热了。这种增高的压力象征性地用图 1c 中的压力表 24 上的读数来表示。

在发动机循环的第三阶段(膨胀行程)中，压缩空间 22 的容积由于从发动机 10 的外部吸收热量而增大，从而把热量转换为功。在实践中，热量是借助于一个加热器 64(见图 2)提供给流体的，在下面的说明书中将详细讨论这一点。在膨胀阶段结束时，如图 1d 所示，压缩空间 22 内充满了冷的流体。在发动机循环的第四阶段中，由于排出器 14 沿着相反的方向运动，流体从热界面 18 的区域转移到冷界面 20 的区域。在第二转移阶段结束时，如图 1 所示，流体充满了压缩空间 22 和冷界面 20，并且准备好重复进行上述压缩阶段。上述斯德林循环可用图 1e

中的 P-V(压力-体积)曲线图来表示。

此外，在流体从热界面 18 的区域流向冷界面 20 的区域时，还可以通过一个蓄热器 66(见图 2)。蓄热器 66 是一种表面积与体积之比很大的材料的阵列，它用于当流体从热界面 18 的区域接受热量时从该流体中吸收热量，而当流体通过冷界面 20 的区域时加热该流体。

斯德林循环制冷机的工作原理也可以参照图 1a-1e 来说明，其中，同一个标号用以表示相同或相似的部件。以上所描述的发动机与用作制冷机的斯德林机组之间的区别在于，上述压缩空间 22 通常与环境有热交换，而膨胀空间则与外部的冷却负载(图中未示出)相连。制冷机的运转需要输入纯功。

现有技术中把外部的热量辐射传递给斯德林发动机的工作流体的装置需要能把辐射传递给流体的石英窗。这种装置不适合于在工作温度高于石英的软化点下工作，因为，通常在工作流体与周围的大气之间必须维持较大的压力差。

斯德林循环发动机一般尚未在实际中应用，而斯德林循环制冷机由于一些在其开发中的令人惧怕的工程难题，只限于在低温的专门技术领域中应用。这些难题包括这样一些实际问题，例如效率、振动、寿命和成本。本发明将论述这些难题。

发明概述

按照本发明的一个方面，在其中的一个实施例中，提供了一种在旋转运动与第一和第二连杆的往复直线运动之间进行互相转换用的菱形驱动装置，使得第一连杆的线性运动与第二连杆的线性运动之间具有相位关系。这种菱形驱动装置具有一旋转运动总成，该总成带有两根发动机轴和两个联杆机构：一个上联杆机构和一个下联杆机构。上联杆机构把旋转运动总成的运动传递给第一连杆，该机构有一根第一

上联杆臂和一根第二上联杆臂，第一上联杆臂有一个第一端和一个第二端，其第一端与第一发动机轴偏心连接，第二上联杆臂也有一个第一端和一个第二端，其第一端与第二发动机轴偏心连接，其第二端以一根共同的枢轴挠性地连接在上述第一上联杆臂的第二端上，上述共同的枢轴是一个挠性构件。上述下联杆机构把旋转运动总成的运动传递给上述第二连杆，并且至少有两根借助于旋转轴承与发动机轴偏心连接的联杆。

按照本发明的另一个方面，提供了一种在旋转运动与第一和第二连杆的往复直线运动之间进行互相转换用的菱形驱动装置，其中，至少有一根连杆是借助于一种挠性接头联轴器与至少一个活塞连接。在本发明的另一个实施例中，一个菱形驱动装置有两个定时齿轮组，每一个齿轮组包括一套两个带有可补偿的节距，安装成同轴线的螺旋齿轮。上述第一和第二定时齿轮组还可以包括把这些螺旋齿轮隔开的垫片，以便精密地调节第一与第二连杆之间运动的相位；并且上述菱形驱动装置还可以包括至少两块对旋转轴承预先加载的弹簧钢带。

按照本发明的又一个方面，提供了这样一种类型的斯德林循环机组，其中，在一个气缸内进行往复运动的一个活塞和一个具有一个高温端和一个低温端的排出器具有一个围绕着上述排出器的高温端或低温端的蓄热器环。按照本发明的另一个可选择的实施例，在斯德林循环发动机的加热器箱体的周围设置了一个散热器，以便借助于辐射把热量传递给加热箱体，而且，上述散热器有许多散热构件，例如设置在加热器箱体周围的翅片。上述加热器箱体可以是能够透过热辐射的陶瓷加热器箱体，也可以使用从以下各种材料中挑选出来的材料：镁铝酸盐尖晶石、铝的氮氧化合物、以及掺有镧的钇。

按照本发明的第四方面，提供了一种制造波纹管的方法，这种波纹管有一系列把具有第一气体压力的区域与具有第二气体压力的区域分割开来的盘旋面，其中，上述第一气体压力超过上述第二气体压力。

这种方法具有以下步骤：用机械的方式在延伸到具有第二气体压力的区域内部的接头上把许多交替的区段连接起来，和在延伸到具有第气体压力的区域内部的接头上密封许多交替的区段。

附图说明

下面，参照附图详细描述本发明的实施例，将使本发明更为明了。附图中：

图 1a-1e 表示现有技术中的斯德林循环机组的工作原理；

图 2 是按照本发明的一个实施例的斯德林循环发动机的侧剖视图；

图 3 是按照本发明的一个实施例用于联结压缩活塞和膨胀活塞的往复直线运动的行星齿轮付的横断面的示意图；

图 4a-4h 表示按照本发明的一个实施例的具有偏心联杆连接的驱动杆的斯德林循环机组的工作原理；

图 5a 是按照本发明的一个实施例的，用于联结一台斯德林循环机组的两个活塞的正交线性运动的新颖的 L 型联杆驱动装置的立体图；

图 5b 是图 5a 中的 L 形联杆驱动装置的侧剖视图，表示按照本发明的一个实施例的扭转平衡重；

图 6a 是使用按照本发明的一个实施例的用于联结两个活塞的正交直线运动的新颖联杆的斯德林循环机组的顶剖视图；

图 6b 是使用按照本发明的一个实施例的用于联结两个活塞的正交直线运动的新颖联杆的图 6a 中的斯德林循环机组的侧剖视图；

图 7a 是斯德林循环发动机的通过图 2 中的 A-A 线的断面图，表示一种按照本发明的一个实施例的悬臂曲轴；

图 7b 是斯德林循环发动机的通过图 2 中的 A-A 线的断面图，表示一种按照本发明的另一个实施例的悬臂曲轴，其中的飞轮设置在偏心曲轴远离发动机气缸的那一端；

图 8 是按照本发明的一个实施例的使用菱形驱动装置的呈 β 形的斯德林发动机的断面图；

图 9a-9d 是侧剖视图，表示使用按照本发明的一个实施例的具有

不同直径的动力活塞和排出器活塞的β形斯德林循环发动机的顺序的各循环阶段；

图 10 是现有技术中的菱形驱动机构的立体图，表示一种梯形联杆装置和适应偏心联杆联轴器的分开的轴；

图 11 是一种菱形驱动机构的立体图，这种机构具有按照本发明的一个实施例的梯形联杆装置和通过轴；

图 12 是一种菱形驱动机构的立体图，表示按照本发明的一个实施例的三角形联杆装置，通过轴和人字定时齿轮；

图 13 是按照本发明的一个实施例的用于对斯德林循环机组的旋转轴承预先加载的弹簧钢带的侧视图；

图 14 是一台斯德林循环发动机的气缸和排出器活塞的局部断面图，表示按照本发明的一个实施例的蓄热器环；

图 15 是一个示意图，表示用于为现有技术中的具有预热燃烧空气的换热器的斯德林循环发动机的加热箱体提供热量的燃烧气体的温度；

图 16 是一个示意图，表示按照本发明的一个实施例，用于在斯德林循环发动机流程中的顺序的各个阶段中，为具有热电发电机的斯德林循环发动机的加热箱体提供热量的燃烧气体的温度；

图 17 是一个示意图，表示按照本发明的一个实施例，用于为斯德林循环发动机的加热箱体提供热量的燃烧气体的温度，上述发动机包括一台由涡轮膨胀器驱动的压缩机，以迫使燃烧空气进入燃烧器；

图 18a 是按照本发明的一个实施例的空气增压器的断面图，在该增压器中利用高压燃料来夹带空气和回收的废气，在斯德林循环发动机的加热器箱体燃烧加热之前，沿着混合室的长度方向迅速流动；

图 18b 是空气增压器的断面图，表示这种空气增压器的工作原理；

图 19a 是表示按照本发明的一个实施例的斯德林循环发动机的加热器箱体的辐射加热原理的示意图；

图 19b 是按照本发明的一个实施例的斯德林循环发动机的加热器箱体的辐射加热装置的断面图，其中，上述辐射能量由在热量能够透

过的箱体内部的吸收剂来吸收；

图 19c 按照本发明的一个实施例的，应用销子换热器的斯德林循环发动机的断面图；

图 19d 是图 19c 中销子换热器的销子加热器的放大的立体详图；

图 20a 是按照本发明的一个实施例的波纹管密封的活塞的侧剖视图；以及

图 20b 是图 20a 中的单独一段波纹管密封的活塞的侧剖视图。

优选实施例

请参阅图 2，一台用断面图表示的斯德林循环发动机整体上用标号 28 来表示。虽然本发明将参照图 2 中的斯德林发动机进行一般的描述，但，应该理解，许多发动机和制冷机同样能从作为本发明的主题的各种实施例和改进的结构中受益。图 2 中所示的斯德林发动机 28 的结构称为 α 结构，其特征在于压缩活塞 30 和膨胀活塞 32 分别在不同的气缸内作线性运动：压缩活塞 30 在压缩气缸 34 内，而膨胀活塞 32 在膨胀气缸 36 内。

除了压缩活塞 30 和膨胀活塞 32 之外，斯德林发动机 28 还包括下列主要构件：加热器 64、蓄热器 66 和冷却器 68。压缩活塞 30 和膨胀活塞 32(总称之为活塞)被限定在各自的空间 38 和 40 内作往复线性运动，空间 40 还衬有一个气缸衬套 42。上述气缸内部靠近加热器 64 和冷却器 68 的两部分空间，在下文中分别称之为发动机 28 的热区和冷区。压缩活塞 30 和膨胀活塞 32 的往复线性运动的相对相位(即，“相位角”)由分别与它们相连的装在曲轴箱 46 内部的驱动机构 44 来控制。下面将要详细描述的驱动机构 44 是发动机设计技术领域中公知的各种机构的一个例子，它可以用于控制两个活塞的相对工作时间，并转换线性运动与旋转运动。压缩活塞 30 和膨胀活塞 32 分别通过第一连杆 48 和第二连杆 50 联结在驱动机构 44 上。压缩气缸 34 的空间 38 通过管道 45 与冷却器 68 连通，以便能在压缩阶段中冷却受到压缩的工作流体。更具体的说，管道 45 把压缩空间 38 与包括冷却器 68、蓄

热器 66 和加热器 64 在内的环形换热器连通。

按照本发明的一个优选实施例，连杆 48 和 50 可以做成能够挠性地弯曲，以便使它们能适应驱动机构的角度误差(例如，由发动机结构的受压和加热而引起的)，同时又具有承受必要的压缩载荷而不发生纵向弯曲的，抵抗拉伸和压缩的足够的刚度。连杆 48 和 50 一般用高强度金属制作，例如用 S-7 工具钢制成，并且最好是椭圆形断面的，当然，任何断面形状的连杆都包含在本发明的范围内。

下面，参照图 3 描述驱动机构 44 的工作过程。按照本发明的一个实施例，提供了一种用于联结两个具有相对相位滞后的，进行正弦线性运动的构件的新颖联杆(可称为“L 形驱动”联杆)。一个行星齿轮付整体上用标号 70 表示。行星齿轮付 70，按照本发明的一个实施例，可用来联结活塞 12 和 14(又称为压缩活塞 12 和膨胀活塞 14))的往复线性运动(见图 1)。行星齿轮付 70 由一个内齿轮 72 和一个小齿轮 74 所组成，其中，内齿轮 72 的节径等于小齿轮 74 节径的两倍。当内齿轮 72 固定不动而让小齿轮 74 在内齿轮 72 内部转动时，在小齿轮 74 的圆周 76 上的每一点都沿着一条直线相对于这条直线上的一个基准点作纯正弦运动。

图 4a-4h 表示通过联杆 48 和 50 联结在小齿轮 74 相对两侧的活塞 12 和 14 的各自线性运动，上述小齿轮如图 3 所示相对于固定的内齿轮 72 转动。活塞 12 和 14 在互相成角度的方向上运动，优选的角度大约是在互成直角的 10°之内。活塞 12 和 14 以相位角的关系基本上等于活塞运动轴线互相之间所成的角度关系作纯正弦线性运动。例如，对于运动方向准确地成直角的活塞，活塞 12 和 14 基本上以互相正交(相位相差 90°)的方式进行运动。活塞 12 和 14 随着小齿轮 74 的转动而运动的各个连续阶段示于图 4a-4h。

请参阅图 5a，使用与小齿轮 74 的相位相差 180°的平衡重 78(为了

清楚起见，图中只表示了一个平衡重)，就能使发动机动平衡。请参阅图 5b 中驱动装置的横断面图，如果把一组“扭转平衡重”80 加在偏心曲轴 86 轴线的周围，就不要求加在驱动装置上的载荷一定对称于它的中心线。除了主要的平衡重 78 之外，还设置了一组两个相对的平衡重 80，上述主要平衡重 78 用于平衡发动机的直线运动，而扭转平衡重 80 能够平衡由于活塞的偏移而造成的扭矩。在图 5a 的立体图中表示的本发明的实施例中，以及在图 5b、图 6a 和 6b 所示的顶剖视图和侧剖视图中，两个平衡重 78 分别设置成与压缩活塞轴承 82 和膨胀活塞轴承 84 在反相位上旋转。本发明的联杆驱动装置的实施例所需要的零件大大少于将在下面详细描述的菱形驱动机构。此外，由上述新颖的联杆驱动机构所排出的容积，要小于在同样的活塞行程下由菱形驱动机构所排出的容积。此外，两个互相垂直的活塞的正弦运动可以用一个简单的平衡重完全平衡，而不会在活塞的密封件上增加侧面载荷，从而减小了摩擦，增加了发动机的寿命，并且能进行干式运行。

请参阅图 7a，图 7a 是图 2 中沿 A-A 线的斯德林发动机的断面图。偏心压缩活塞的轴承 82 和膨胀活塞的轴承 84 设置在偏心曲轴 86 上，偏心曲轴 86 悬臂支承在主轴承组 88 上，而主轴承组 88 则把主(或者“外”)曲轴 90 支承在发动机 28 的外壳 92 上。偏心曲轴 86 绕着一根与主轴承 90 偏心的轴线旋转，借助于小齿轮 94 和内齿轮 96(这两个齿轮在一起称为行星齿轮付 98，见图 3)驱动主曲轴 90 以同样的旋转速度向相反的旋转方向转动。主曲轴 90 相对于固定在发动机上的任选的一点的位置形成了一个“曲柄角”。具有这种结构的曲轴可以称之为“谐和曲轴”。

这种悬臂式曲轴结构能有利地进行齿轮付 98 的润滑，而不会污染斯德林发动机的工作流体，而这种工作流体是必须保持清洁的，以免污染蓄热器和有损发动机有效地运转。主曲轴 90 又可以把扭矩传递给机械负载。机械负载的一个例子是发电机的转子 100，它相对于发电机的定子 102 转动时能产生电能。偏心飞轮 104 和长条状的平衡重 106

连接在偏心曲轴 86 上，因而在主轴承组 88 上是悬臂的。设置偏心飞轮 104 的目的是使得包括向前旋转的旋转构件和向后旋转的旋转构件的旋转动量在内的净惯性等于零。这样，就能够有利地避免由于发动机的速度变化而使发动机产生振动。在本发明的范围内，偏心飞轮 104 也可以布置成不同于图 7a 的方式。例如，在图 7b 中，用断面图表示了图 2 中的斯德林发动机的另一个实施例，其中，偏心飞轮 104 设置在远离活塞轴承 82 和 84 的位置的，偏心曲轴 86 的端部 105 上。再请看图 7a，偏心曲轴 86 用轴承 108 和 110 支承在主曲轴 90 上。主平衡重 112 和扭转平衡重 114 用于主曲轴相对于包括活塞的整个偏心曲轴总成的动平衡。

主曲轴 90 的负载最好在发动机的一个循环的过程中不改变方向。这样，借助于向前和向后的惯性的平衡，有利地防止了作用在行星齿轮付 98 上的扭矩的反向，从而防止了随着齿轮的侧隙而产生的噪音和磨损。如果作用在主轴 90 上的负载是恒定的，那么，作用在行星齿轮付 98 上的扭矩就是单一方向的，因而对于一个给定的功率输出，这个扭矩也是最小的。如果所加的负载是一台发电机，则扭矩恒定的运转过程能得到发电机的最高效率。此外，按照本发明的一个实施例，发电机上的电流负载是可以调节的，例如借助于负载调节器 103，这种调节器可以是在电气技术领域公知的处理器，以便为行星齿轮付 98 提供恒定的扭矩，实现以上所描述的有利的运转过程。此外，发电机的转子 100 还可以形成飞轮的全部或部分质量，并且，发电机还可以起启动发动机的启动器的作用。

下面，参照图 8 描述本发明的另一个实施例。在图 8 的侧剖视图中，斯德林循环发动机的结构是 β 结构型式的，其特征在于动力活塞 30 和排出器活塞 32 的串联式的线性运动。按照本发明的一个实施例，连杆 48 设计成一根空心轴，而连杆 50 则设计成在连杆 48 内部作与其同轴线的线性往复运动。其他各种结构都处在在本发明的范围内，包括制冷机和在本说明书其它章节中具体描述的其他实施例。

在图 8 的实施例中，驱动机构 36 是一种由一个旋转运动总成 120，一个上联杆机构 122，和一个下联杆机构 124 组成的菱形驱动机构。旋转运动总成 120 是菱形驱动机构中必然绕着一根固定的轴线旋转的那一部分，在图 8 的实施例中，它由一个绕着一根第一发动机轴 128 旋转的第一定时齿轮 126，和一个绕着一根第二发动机轴 132 旋转的第二定时齿轮 128 所组成。上联杆机构相对于发动机 28 的方向设计成如图 8 所示，它组成了旋转运动总成 120 与第一连杆 48 之间的机械联轴器。在图示的实施例中，上联杆机构 122 是联结旋转运动总成 120 的旋转运动与动力活塞 30 的直线运动，然而，在其他实施例中，上联杆机构 122 却是与排出器 32 的直线运动联结的。上联杆机构 122 通过联杆 134 以与发动机轴 128 和 132 偏心的方式联结在旋转运动总成 120 上。在图 8 所示的实施例中，联杆 134 是用枢轴 136 联结在横杆 138 上的，而横杆 138 则直接连接在连杆 48 上。对于本技术领域的技术人员来说，其他把旋转运动总成 120 联结在连杆 48 上的装置都是显而易见的，所以同样都包括在本申请的权利要求书的范围内。下联杆机构 124 以同样的方式通过联杆和枢轴(图 8 中未示出)把旋转运动总成 120 的旋转运动与联杆 50 联结起来。

在上述斯德林循环的膨胀阶段中，工作流体在排出器 32 的热端 140 处膨胀，通过加热器 64 从发动机 28 外部获得热量。加热器 64 的各种不同结构都包括在下面将要描述的本发明的实施例的范围内。然后，加热后的工作流体随后通过蓄热器 66 流向排出器 32 与动力活塞 30 之间的压缩空间 142，工作流体中的热量在蓄热器 66 中被它所吸收。在以上所描述的压缩阶段，用冷却器 68 把工作流体中的热量排向周围的空间。

在本发明的一个实施例中，曲轴箱 46 是气密密封的，里面装有与斯德林循环发动机的工作流体同样的流体。通常，这种工作流体是氦，不过，使用其他流体也包括在本发明的权利要求书范围内。

使工作流体从工作空间循环到曲轴箱内能收到额外的冷却效果。按照本发明的一个实施例，提供额外冷却的一种方法是设置冷却器，用来把曲轴箱中流体的热量转移到环境大气中去，并设置一台泵，用于使流体在曲轴箱与冷却器之间进行循环流动。

在本发明的另一个实施例中，可以使斯德林发动机中的工作流体离子化。例如，有一种离子化机构是使用辉光放电法之类的方法，不过，用紫外线光或谐振辐射来离子化也落入本申请的权利要求书的范围内。一旦工作流体离子化后，就能够使用电磁力来使它移动一个小的距离。这样，就能使用磁场来密封活塞。排出器的使流体在发动机的热区与冷区之间流动的功能，也可以用电磁的方式来完成。这样，排出器 32 就不必做成机械构件了。

为了把工作流体漏过活塞 30 和排出器 32 的流量减少到最小，公差精密的密封要求相应的活塞在气缸衬套 42 的孔内的对中精度在 0.001 英寸(1 密耳)的数量级之内。虽然这种对中能借助于对所有装在驱动装置上的构件进行高精度的机械加工，或者，用装配时的精细调整来实现，但是，无论那一种方式都要求复杂的程序和昂贵的代价。按照本发明的一个实施例，可以在连杆 48 和 50 中加入挠性接头，以使某一根轴能够偏斜或者倾斜一个小角度，而活塞 30 和 32 仍能在孔内正确地运动。这样，很小的不对中就不再是严重的问题了，小于 10 密耳的误差将不会在密封件上形成很大的侧向载荷。本实施例特别适合于图 11 中所描述的三角形联杆结构。

现在请参阅图 9a-9d，减小动力活塞 30 上的压力载荷到最小的程度，将减少机械损失并延长驱动机构的寿命。有两种机械作用会增大动力活塞 30 上的载荷，一种能增大发动机的动力输出，另一种则对动力输出没有影响。排出器活塞 32 的周期运动使工作流体加热和冷却，引起流体在压缩空间 142 内的压力变化。由于这种压力的变化与动力

活塞 30 的运动大约相差 90°相位，所以能增大发动机的净输出功。另一方面，动力活塞 30 的运动造成压力的变动与活塞运动同相位，因而对发动机的功率输出不起作用。

为了在给定的驱动负载下最大限度地增大发动机的功率，应该最大限度地增大由于排出器活塞32的运动所造成的总压力变动的那一部分。为此，按照本发明的一个实施例，如图 9a-9d 的斯德林循环的各顺序阶段中所示，提供了一种直径比动力活塞 30 的直径大的排出器活塞 32。在发动机中不同直径的活塞在分开的缸筒中是公知的，例如图 1a-1d 中所示的发动机 10。由于在图 8 和图 9a-9d 的 β 型发动机中设置了直径不同的活塞，在这种发动机中两个活塞同轴线，并且在它们行程的某一段分享同一部分排出空间，所以具有大直径的排出器压力变动小的优点，与此同时，使得 β 型发动机具有无效容积小而压缩比高的优点。α、β 和 γ 型结构是斯德林循环机组这个技术领域中的技术人员公知的结构。

请参阅图 10，图中用标号 150 表示现有技术中的菱形驱动装置。图中，旋转运动总成 120 由平衡重 122 和 124，以及定时齿轮 126 和 128 所组成。在现有技术的设计中，平衡重 122 和定时齿轮 126 一起转动，但是，由于偏心安装的联杆臂 132 和下联杆机构的相应的联杆臂要求有间隙，所以轴 130 不能同时穿过平衡重 122 和定时齿轮 126。因此，轴 130 必须是“分开”式的，这在机械学上是不利的。

图 11 中，按照本发明的一个实施例，轴 130 既穿过平衡重 122，也穿过定时齿轮 126。这是由于通过一个大的旋转轴承 134 把联杆臂 132 偏心联在旋转运动总成上而完成的，这样就使得轴 130 能成为一根通轴穿过大的旋转轴承 134。使用通轴能够改善驱动装置的刚性，有利于精确的装配，并且降低发动机的成本。图 11 中所示的联杆机构是所谓的“四元杆络机构”，在这种机构中，偏心安装在旋转运动总成的轮子或平衡重上的联杆臂 132 和 136 各自用枢轴 140 与横杆(或平

台)138 联结。横杆 138 又驱动连杆 48。这种装置的一个缺点是当连杆 48 作线性运动时，横杆 138 会来回地摇摆。因此，这种驱动装置要依靠活塞 30(见图 8)和连杆 50 的密封件来消除摇摆的自由度。结果，驱动装置中的任何不平衡都将导致密封件上的侧向力，增加了摩擦和密封件的磨损。

请参阅图 12，在本发明的一个实施例中，联杆臂 132 和 136 用枢轴 142 互相联结，而不是象图 11 中的四元杆络机构那样通过一根单独的横杆联结。这种联杆臂 132 和 136 都联结在一根共同的枢轴 142 上的联杆装置称为“三角形杆络”或“δ杆络”机构。由于减少了横向运动的自由度，这种三角形杆络机构就能减少振动和磨损，能够使用与连杆 48 和 50(见图 2)相适应的挠性连接，并且还能提高发动机的寿命。

由于联杆臂 132 和 136 的旋转不是完整的旋转，所以在枢轴 142 处的联结可以不必旋转 360°，而且可以是挠性连接。同样，联杆臂与旋转运动的总成之间的联结，联杆臂之间的联结，或者横杆与联杆臂之间的联结也可以使用挠性构件。利用其不完整的旋转能力，挠性构件可以提高发动机的可靠性。

按照本发明的一个实施例，成对的联杆臂之间的一根或多根枢轴，或者，还有一个或多个旋转轴承，使用了铁磁流体轴承，从而能使更换枢轴或轴承的维修间隔时间更长些。铁磁流体的密封件使用磁场来保存已经加入了铁磁材料的小粒子的润滑油。这种密封件常常用于将润滑剂永久密封在滚珠轴承或轴套内部。由于使用了铁磁流体轴承，就能够消除与轴承密封件之间产生的摩擦。

请参阅图 12，按照本发明的一个实施例，两个定时齿轮 144 和 146 安装在上述旋转运动总成的发动机轴 130 上，而在发动机轴 158 上则装有相应的反转定时齿轮 150 和 152。齿轮 144 和 146 和与它们相对应

的装在发动机轴 158 上的齿轮 150 和 152 都是螺旋齿轮。齿轮 144 和 146 的螺旋的旋向是相反的，从而形成了人字形的定时齿轮。这种类型的齿轮由于消除了螺旋齿轮所固有的侧向力，通常都用来减少噪音。这种结构的附加的优点是齿轮 144 和 146 之间的间隔可以用垫片或其它方式来调整，从而为两根轴之间的相对相位的精细调节提供了方便。这就为装配时精细调节相位角提供了简单的途径。

请参阅图 13，用一块以标号 160 表示的弹簧片在轴承上保持恒定的侧向载荷，能减少振动和磨损。使用弹簧钢或类似的材料来制造弹簧片，一般可在轴承上预先施加 10-20 磅的张力。弹簧片 160 可为旋转轴承 134 和上联杆枢轴轴承 142 提供侧向载荷。

图 14 表示了排出器活塞 32 和气缸衬套 42 的相应部分的侧剖视图。小的斯德林机组有一大部分损失是由围绕着排出器活塞 32 的称为“附加间隙”的环形间隙 160 所造成的。有两种机械作用增大了这种损失：第一，是所谓的“往返损失”，这是一种被排出器 32 的循环运动增强了的，顺着气缸壁 42 向下的热传导损失，这是直接由于沿排出器 32 的壁 162 和气缸壁 42 的大温度梯度而造成的。在排出器的行程中途，排出器壁 162 和气缸衬套 42 具有同样的轴向温度梯度，在一台发动机中，大约顶部为 1200°F，底部为 80°F。在气缸衬套上任何一点的温度都与隔着附加间隙的排出器壁上与其相对应点的温度相同。但是，当排出器运动到行程的顶点时，温度就不再相符了。气缸上的温度将高于排出器上相应点的温度，于是热量就从衬套通过附加间隙中的氦传给排出器的壁。而当排出器处于行程的底部时，情况相反。热量从排出器传回到气缸，不过是在更向下一点的壁上，靠近冷却器的位置上。这种损失也称为“斗链耦合”损失；排出器从热的侧壁上吸收热量，然后周期地向冷的侧壁排出去。这个效应和排出器活塞与气缸壁之间间隙的尺寸成反比。

第二种损失一般称之为“泵损失”。由于发动机内部压力的变化，

在每一个循环中，流体都要从膨胀空间流入或流出附加间隙。氦气流入间隙内，放出一部分热量给气缸壁，然后又在稍微低一些的温度下流出这个间隙。这代表了在这种循环中的又一种热力学损失；热量从热的一侧传递到冷的一侧而没有作任何功。这种作用所产生的热损失与间隙的尺寸成正比。因此，附加间隙的尺寸要使往返损失和泵损失减少到最小。但是，即使是在最好的情况下，一般这种损失的总量对于小的发动机来说也达到输入功率的10%。

按照本发明的一个实施例，在附加间隙160的入口处增加一段短的蓄热材料164就能够减少这种损失。这种材料可以是金属毡，分层的隔板，或者任何一种普通用于蓄热的，具有很大的传热的表面积的多孔材料。如果正确设计好尺寸，这种蓄热器效率高达99%。设置在排出器活塞32的壁上，用于最大限度地减少气缸衬套的热端与排出器活塞主体之间的不可逆的热流分量的任何窄环形间隙都属于本文中称之为“蓄热器环”的结构的范围。由于有了这种蓄热器环，结果，流入和流出上述附加间隙的气体的温度就非常接近，而与间隙的尺寸无关。设置蓄热器还能起减少泵损失的作用，能够使用比较大的附加间隙，以减少往返损失。最后的结果是发动机的效率大大增加，对于小的发动机可提高3或4%。

如果是斯德林循环制冷机，这种密封件处于暖端，所以蓄热材料要放置在进入环形间隙的冷入口处。

图15-17表示从燃烧器170流出来的热流的示意图，这种燃烧器用于燃烧一种燃料，以便为斯德林发动机的加热器箱体64(见图2)提供热量。通常，由环境温度下的空气为燃烧器170中燃料的燃烧提供氧化剂。但是，在加热了加热器箱体64之后，仍有相当数量的能量留在燃烧气体中。正如本技术领域的技术人员所公知的，可以采用换热器172把热量从废气转移到流入燃烧器170之前的燃烧空气中。现有技术中用于燃烧前加热的各种数字示于图15。约2000K(此处用绝对温度K

来表示)的燃烧后的气体用来把斯德林发动机的工作流体加热到大约900K，排出的废气约为1200K，这样热的气体排入大气中是太热了。换热器172从这种废气中吸取热量，并将其转移到燃烧前的空气中，把燃烧前的空气加热到约900K，而排出的废气大约为600K，如不经过周围大气的稀释，这样高的排气温度仍不安全。

请参阅图15，一般，使用一台风扇或鼓风机迫使空气流过燃烧器170，以便为斯德林发动机的加热器箱体64提供热量。然而，无论是风扇还是鼓风机的效率都很低。结果，结果发动机输出的一部分功率消耗在使燃烧所需要的空气流动上了。

图16表示本发明的一个实施例的示意图，按照这个实施例，留在通过换热器172之后的废气中的一部分能量可以借助于热-电发电机174转换成电能，再由发电机174向鼓风机176供应电能。图17表示按照本发明的又一个利用热废气带动一台涡轮膨胀器180的实施例，这台膨胀器驱动一台涡轮压缩机182把燃烧气体压入燃烧器170内。

现在请参阅图18a，在本发明的一个实施例中，高压气体燃料，例如丙烷用来夹带所需要的空气流通过一个整体用标号184表示的空气增压器。正如气体动力学中所公知的，空气增压器184是利用一小股高压气体来夹带一股大得多的周围的空气流。气体增压器的工作原理可参照图18b来说明。高压燃料，例如丙烷，从空间192沿着一道弧形壁194流动，形成了一股燃料的壁面射流196，这股射流能夹带周围的气体198，并形成一股丙烷和空气混合得很好的，以低于壁面射流196的速度流动的很大的气流200。丙烷的高速壁面射流196与在其上方缓慢地流动的气体198混合(或将其夹带进来)，转移了动量，并使夹带进来的气体加速。于是，在空间内产生了一层边界层202，并且在越来越多的周围气体被夹带进来的同时，减慢了总的输送速度。存在于丙烷射流196中的被夹带的周围气体198产生了一个低压，把新鲜空气吸进空气增压器184。于是，高压的丙烷射流196有效地通过空气增

压器 184 把空气泵入。最后形成的接近大气压力的气流一般要比高压气流大 10-40 倍。再请看图 18a，一般说，丙烷可以在 20-100psig 的压力范围内用作上述高压气体，而空气增压器 184 既能泵压空气通过上述燃烧器，又能在燃料和空气进入燃烧器之前把它们混合起来。这样就可以不要鼓风机(或者减小所需要的鼓风机的大小)，而利用储存在高压气体燃料中的能量，否则，这些能量就要被浪费掉。同样重要的是，上述空气增压器不需要控制器就能保持燃料与空气的正确比例，而且还可以使用简化的废气再循环，以便减少氮氧化物的散发，因为低压通风系统 188 也吸入一定量的废气。

图 19a 表示加热器箱体 64 用以提高加热效率的原理，所述的加热器箱体是由用标号 300 所指的虚线箭头代表的热气体来加热的。如以上参照图 15-18 所描述的，一般地，上述气体在燃料在空气中燃烧的过程中被加热到 2000K 的温度。燃烧后的热的气体 300 流过翅片 302，通过对流，把热能传递给翅片，从而冷却了空气，加热了翅片。然后，由翅片 302 所吸收的热能又辐射给在低温下运行的斯德林发动机的加热器箱体 64，一般为 950K。离开翅片 302 的气体 304 的温度稍稍高于翅片的温度。翅片和输出气体的温度一般在 1400K 的程度。气体 304 流过加热器箱体 64，并通过对流进一步把热能传递给加热器箱体。

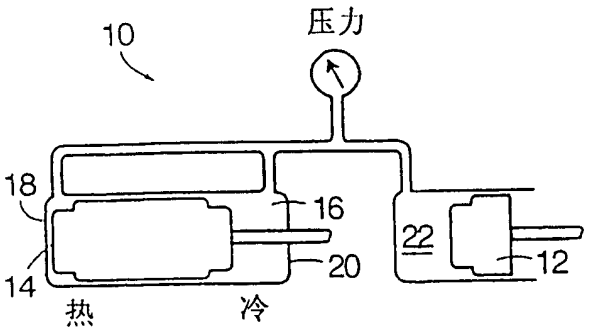
请参阅图 19b，本发明的另一个实施例不仅能使翅片 302 所辐射的热能加热加热器箱体 64，还能把热能直接传递到斯德林发动机的内部空间 306。这是由于加热器箱体是用这样一种材料来制造而达到的，这种材料在翅片 302 辐射热量的温度下(1400K 的程度)，也就是说在红外线区内，基本上能透过热辐射。举例来说，这种材料包括能透过红外线的陶瓷，其中有镁铝尖晶石，铝的氮氧化合物；及其它晶体材料，例如添加镧的钇。由翅片 302 所辐射出来的热能基本上被设置在斯德林发动机的内部空间 306 里的波纹状的箔片 308 所吸收。波纹状箔片 308，使用红外线光学中普通技术人员公知的技术，能起黑体吸收器的作用，然后再通过对流把热量传递给发动机的工作流体。

现在请参阅图 19c 和 19d，图中以断面表示了按照本发明的一个实施例把大量的热能从燃烧源传递给斯德林循环发动机内部的新颖的结构。为了增加把热量从燃烧器 150 所产生的热气体 300 传递给装满在发动机内部空间 306 中的工作流体的效率，在加热器箱体 64 的各个侧面要有很大的传热表面积。为了达到这样大的表面积，在加热器箱体 64 的内表面 312 和外表面 314 上制有大量金属销子 310。这种制造方法的费用很低，例如，可以使用蜡模铸造。金属销子 310 不仅在加热器箱体 64 的每一个侧面上增加了传热表面积，而且还形成了涡流区，这种涡流区促进了流体的混合，从而进一步增进了热量的流动。这种结构还可以用于冷却器 68 的热交换(见图 2)或者任何需要在两种大量的气体之间有效地交换热量的场合。

在图 20a-20b 中用标号 400 表示了波纹管密封活塞的侧视图。请参阅图 20a，按照本发明的又一个实施例，波纹管 400 可用于在工作空间 402 与曲轴箱空间 404 之间形成密封。虽然挠性金属的波纹管也可以用于这种场合，但是太昂贵，而且制造困难。然而，压力差(工作空间 402 中的压力 p1 总是超过曲轴箱空间 404 中的压力 p2)却可以用来使各段波纹管保持在一起。这种压力差使得波纹圈 408 与 410 之间的凸起的联结点 406 分离，而使得波纹圈 410 和 414 之间的凹进的联结点 412 被压在一起。凸起的联结点是用机械的方式，例如用电焊或钎焊连接在一起的，以便承受分离的力量。如图 20b 所示，凹进的联结点 412 上的两个表面是用胶粘结起来，以形成良好的气体密封。这种结构的优点是在工作空间与曲轴箱之间提供了气密的密封，除了能有一个出口与一台泵连通，用于对工作空间加压。由于每一对波纹管结构的每一段波纹圈 414 上只有一个联结点，所以能简化制造过程。

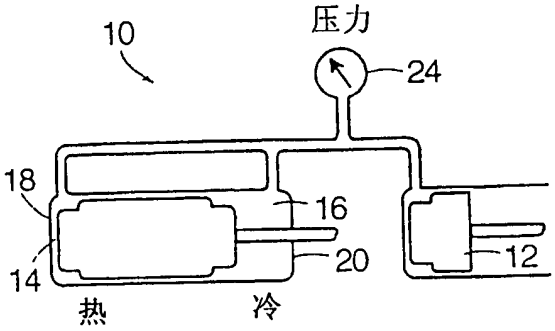
以上所描述的装置和方法，除了可应用于本发明中的斯德林发动机之外，还可以应用于其他场合。以上所描述的本发明的实施例只是为了举例，对于本技术领域的技术人员来说，各种各样的变化和改进

都是显而易见的。所有这些变化和改进都将落在本申请的权利要求书所确定的本发明的范围内。



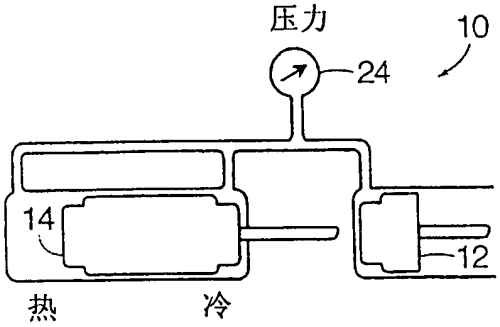
(a)准备开始压缩行程

图1a 现有技术



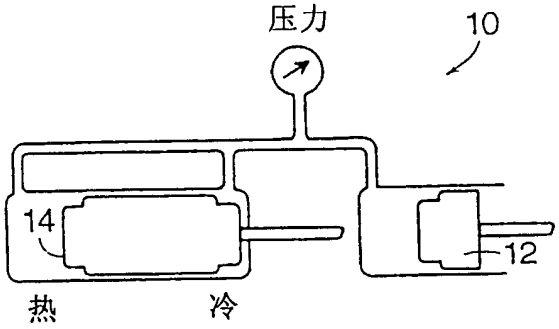
(b)压缩行程结束

图1b 现有技术



(c)准备开始膨胀行程

图1c 现有技术



(d)膨胀行程结束

图1d 现有技术

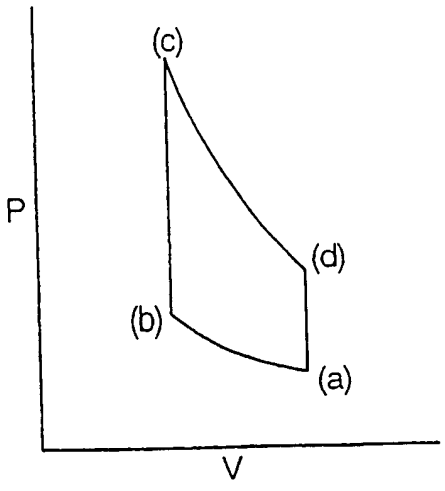


图1e 现有技术

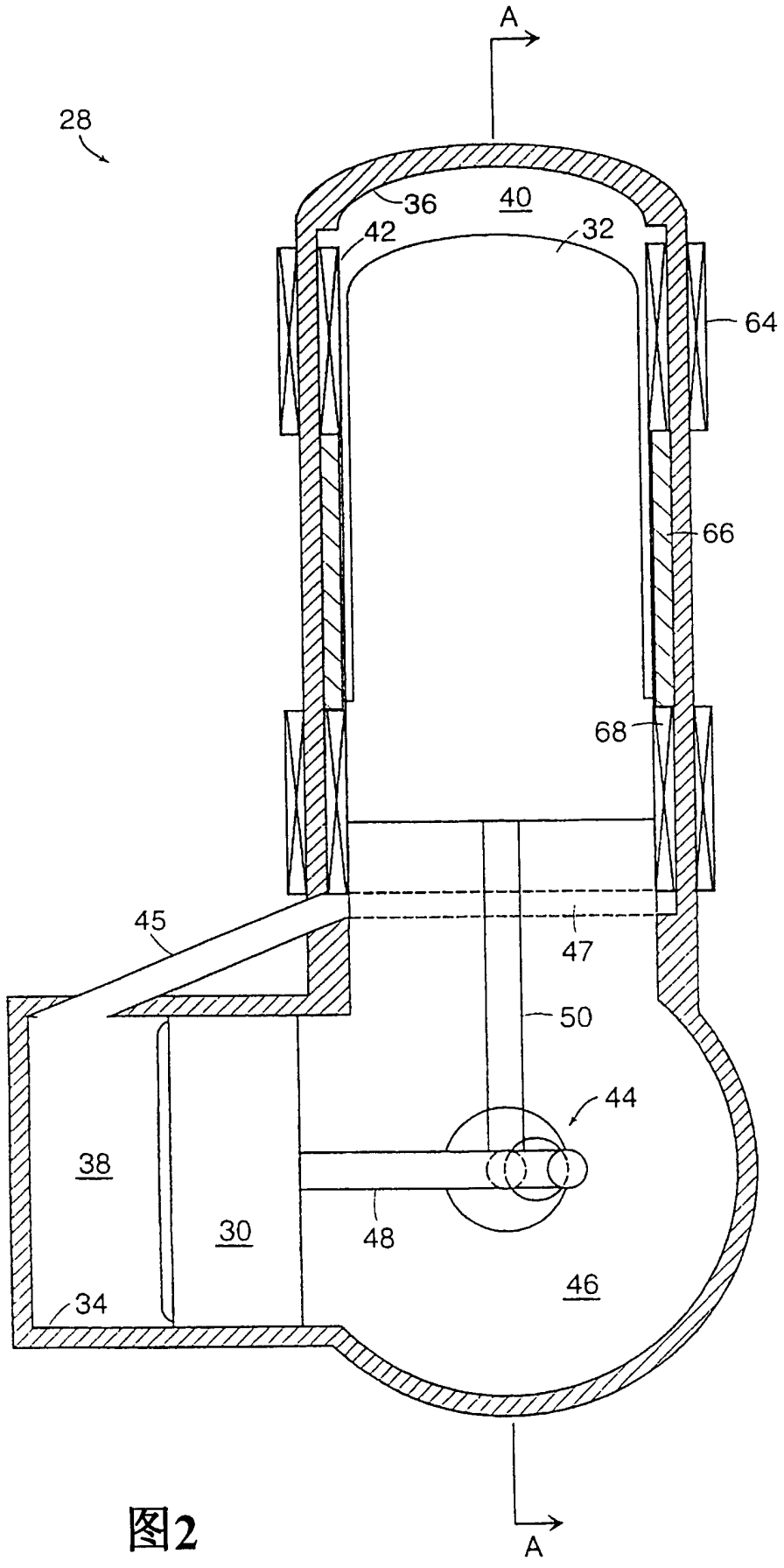


图2

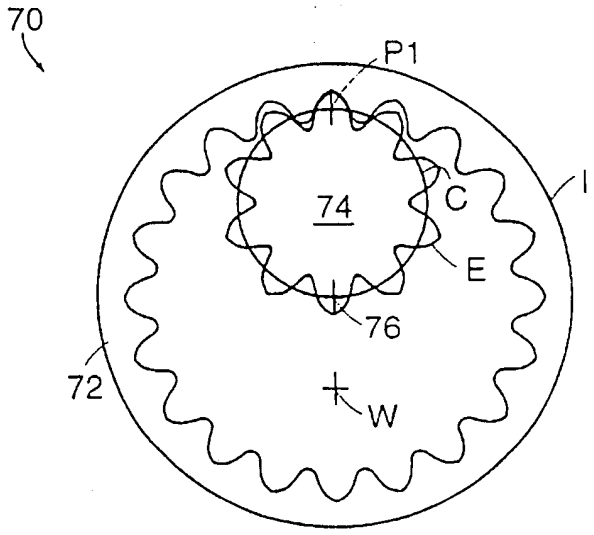


图3

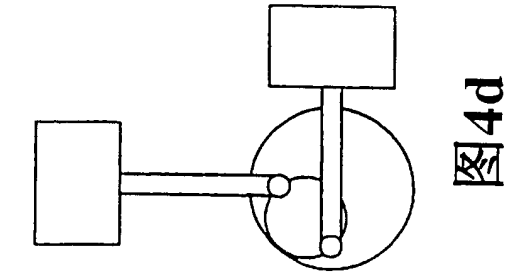


图4d

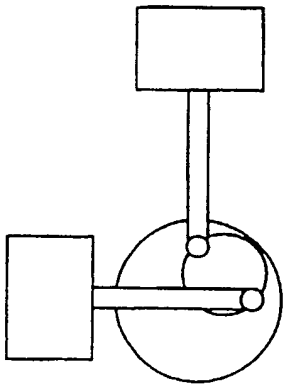


图4h

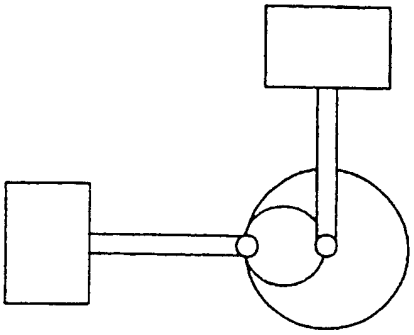


图4c

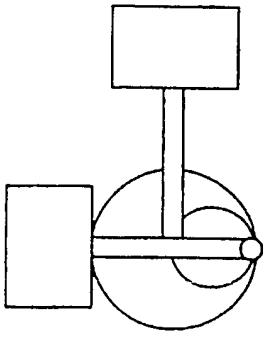


图4g

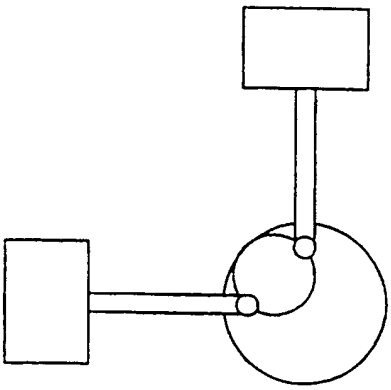


图4b

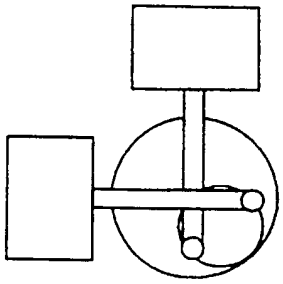


图4f

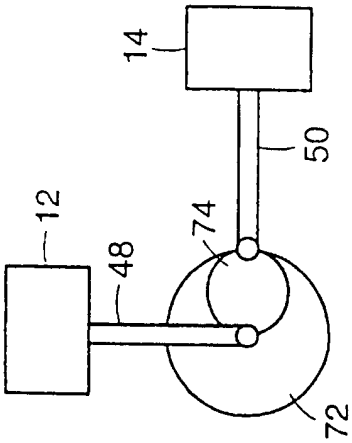


图4a

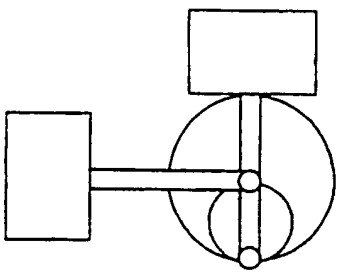
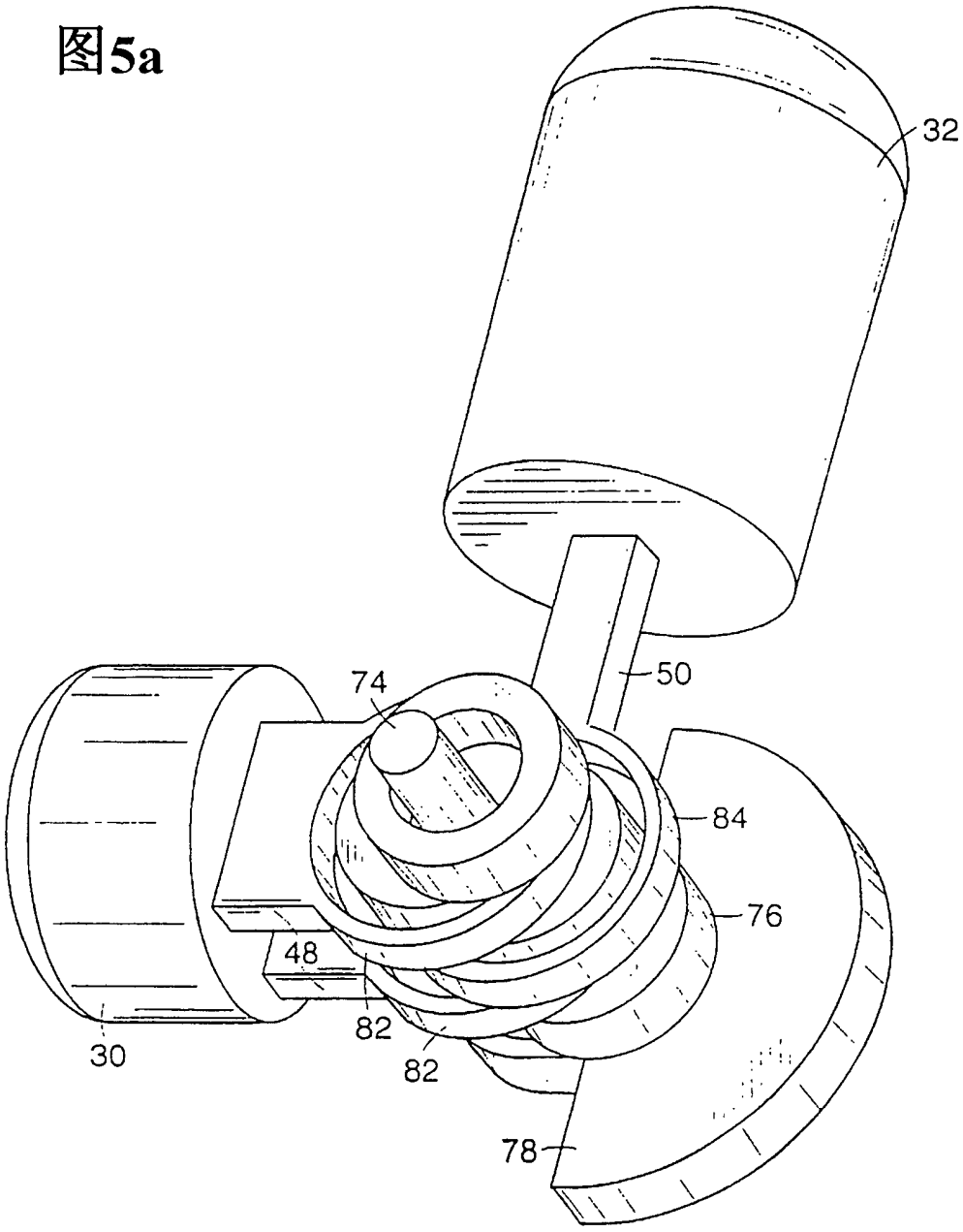


图4e

图5a



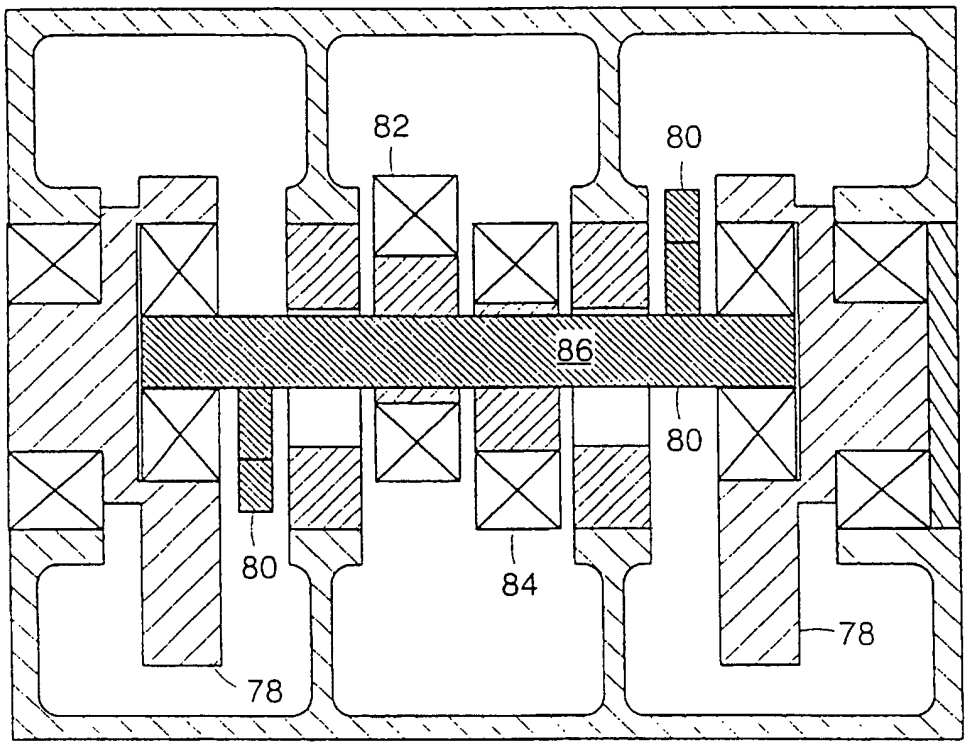


图5b

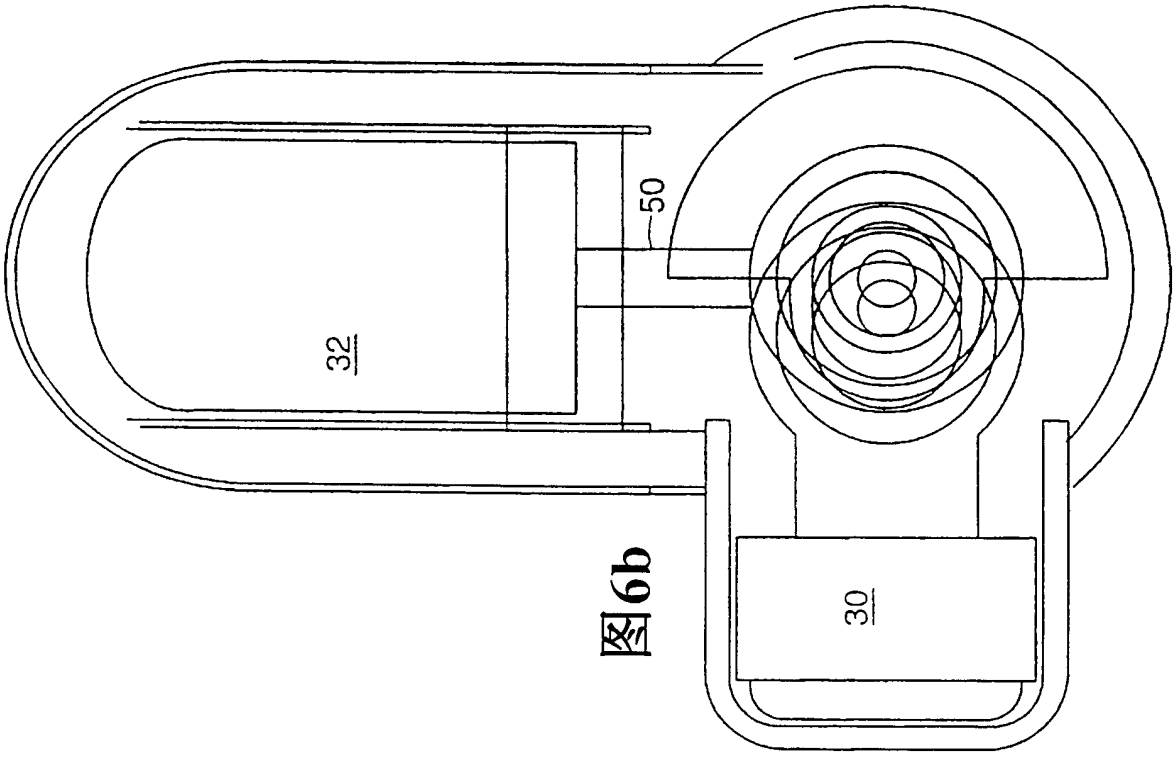


图6b

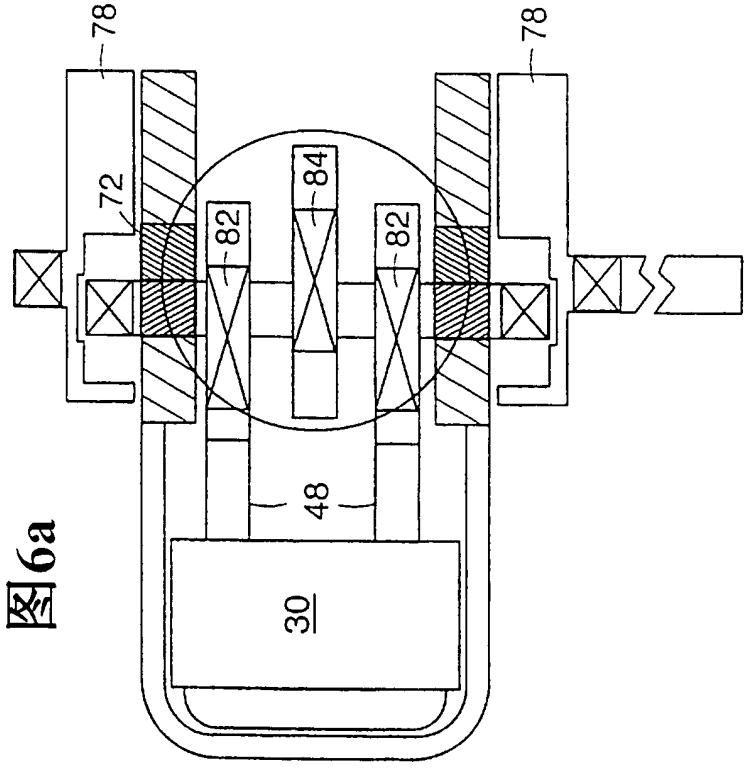


图6a

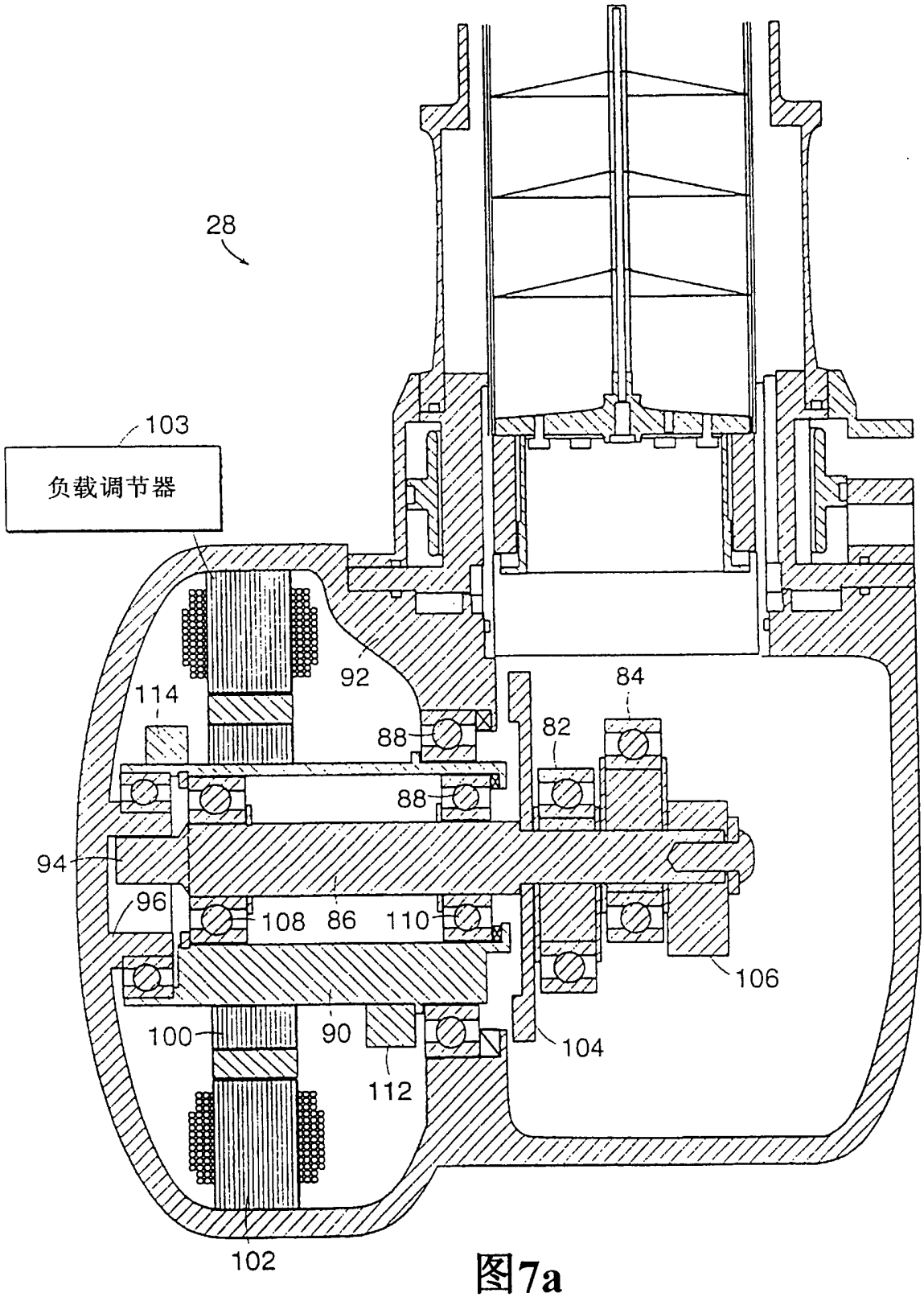

28
103
负载调节器
92
84
114
88
82
88
94
96
108
86
110
106
100
90
104
112
102

图7a

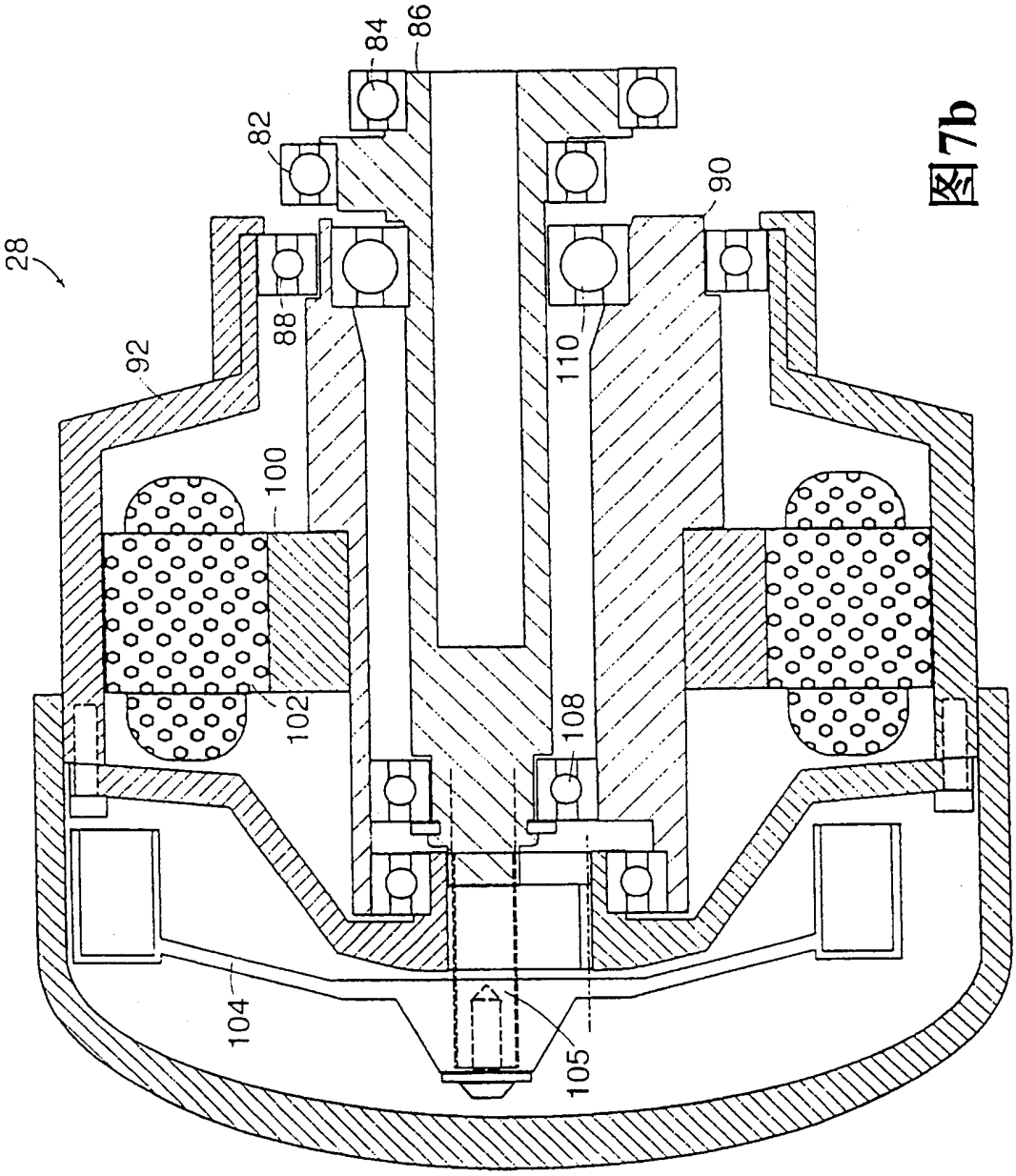


图7b

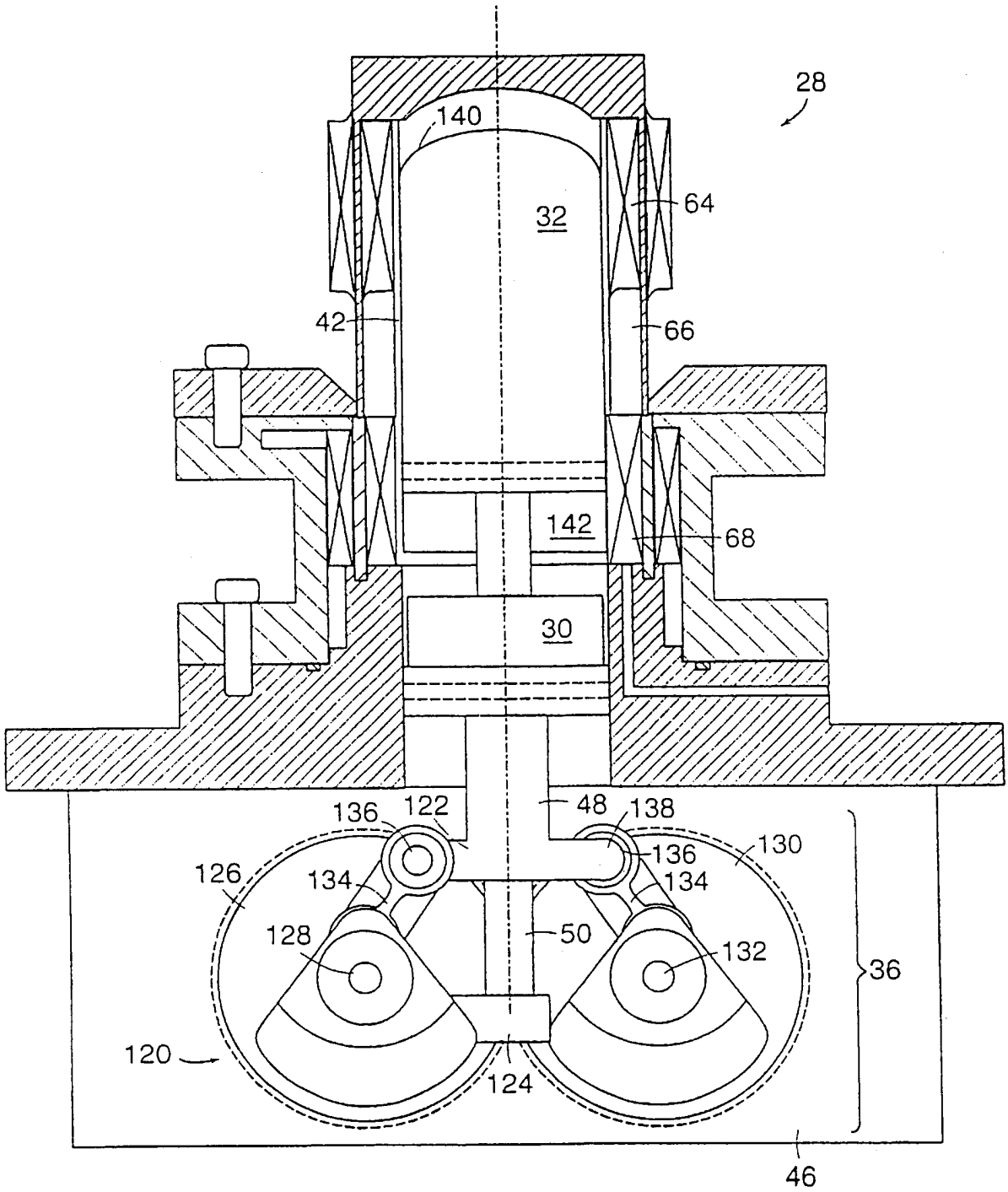

28
140
32
64
42
66
142
68
30
136
122
48
138
130
126
134
136
134
128
50
132
36
120
124
46

图8

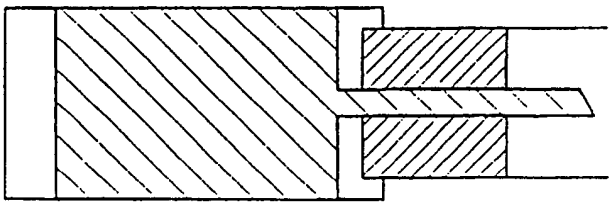


图9d

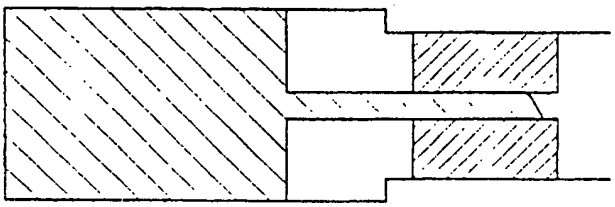


图9c

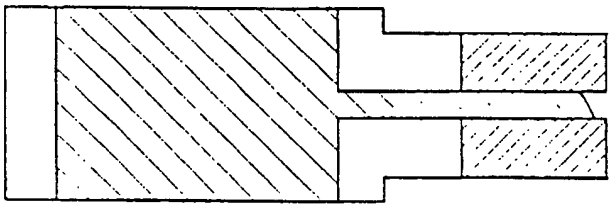


图9b

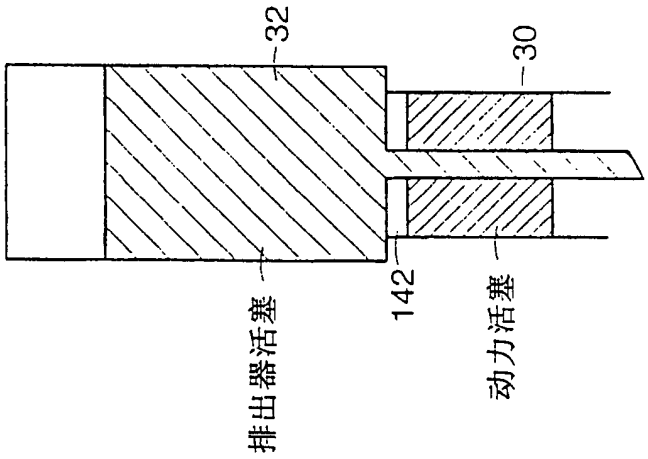


图9a

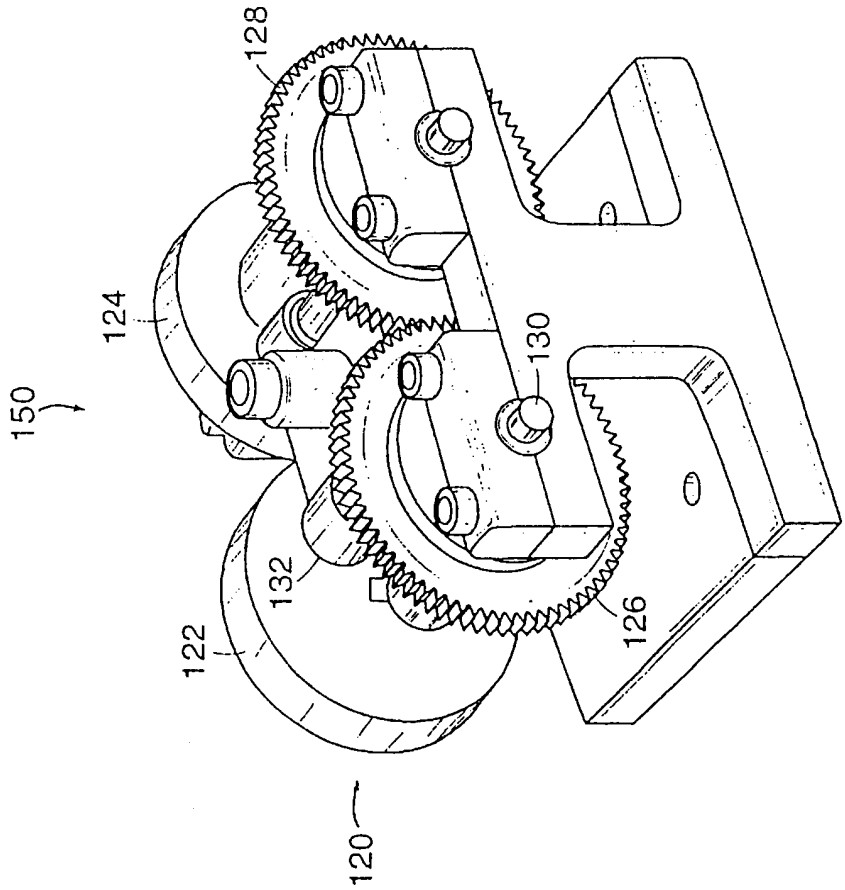


图10
现有技术

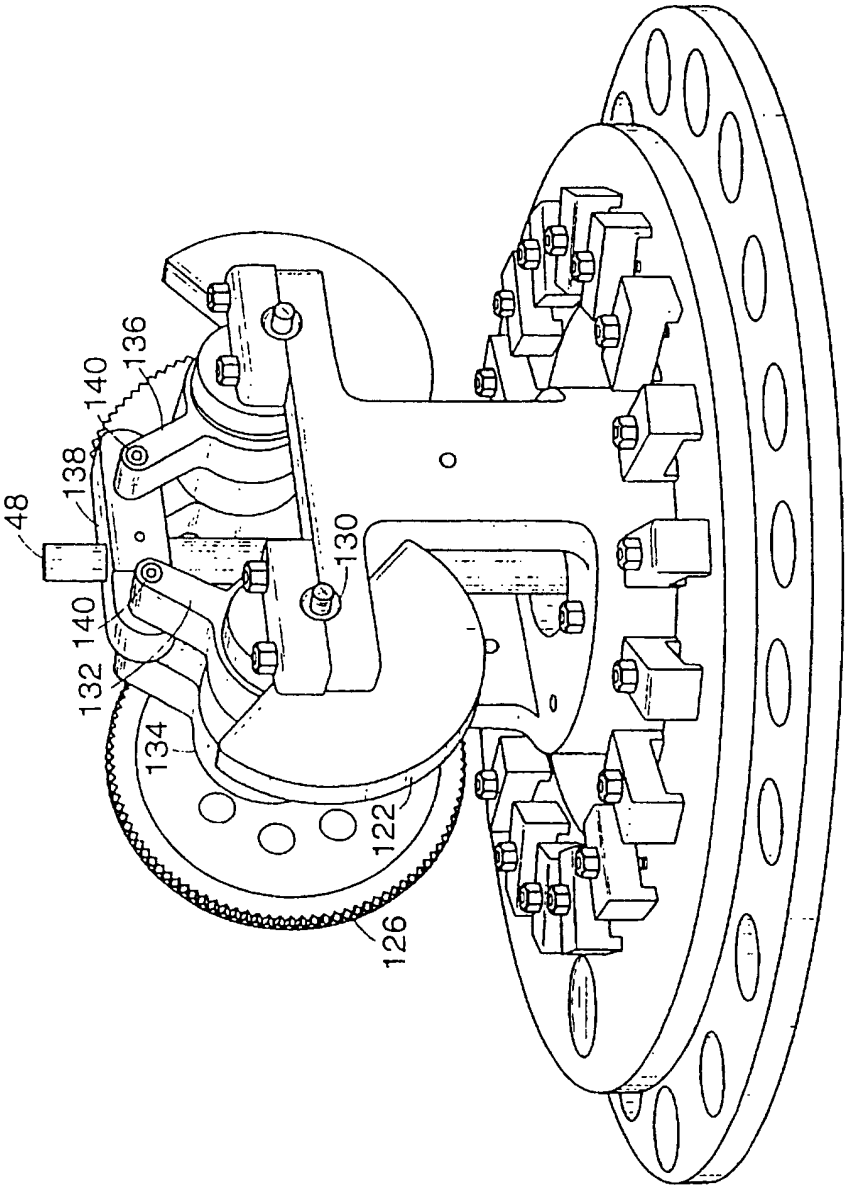


图11

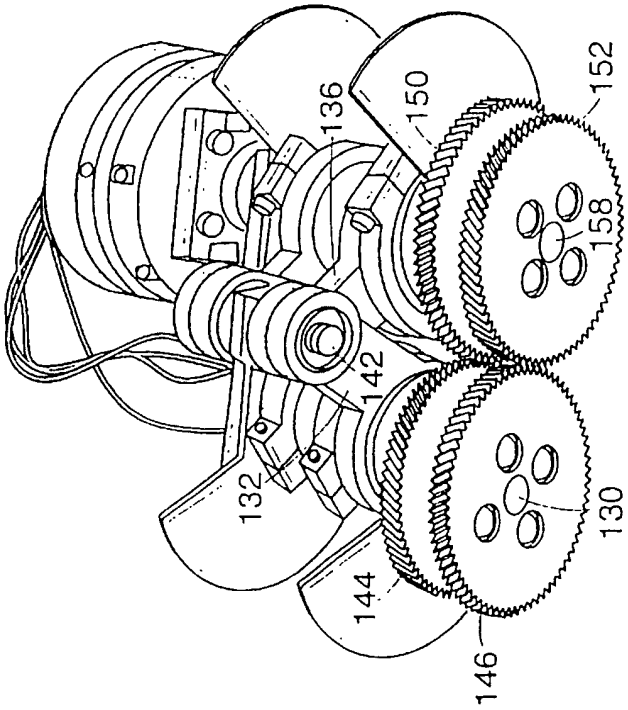


图12

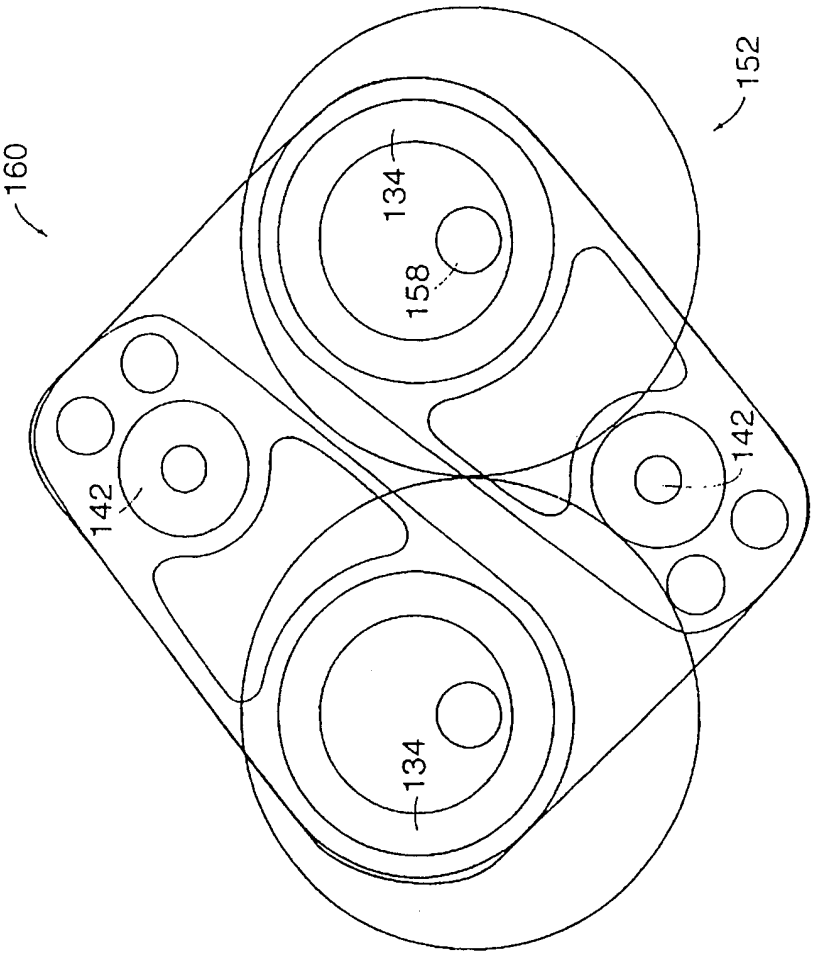


图13

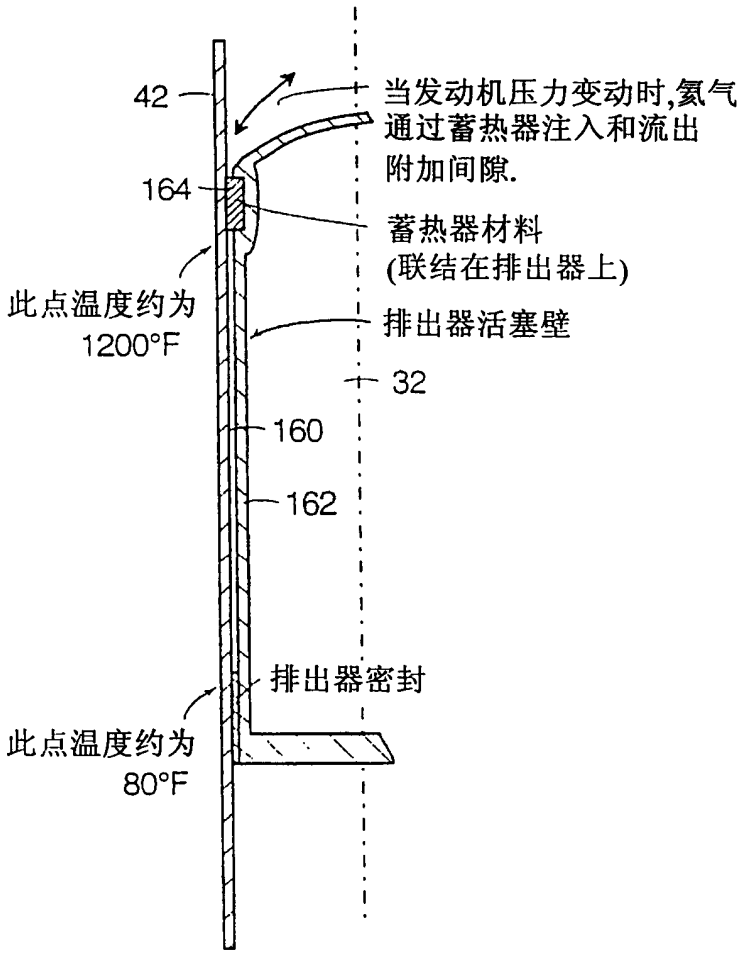

42
当发动机压力变动时,氦气
通过蓄热器注入和流出
附加间隙.
164
蓄热器材料
(联结在排出器上)
此点温度约为
1200°F
排出器活塞壁
32
160
162
排出器密封
此点温度约为
80°F

图14

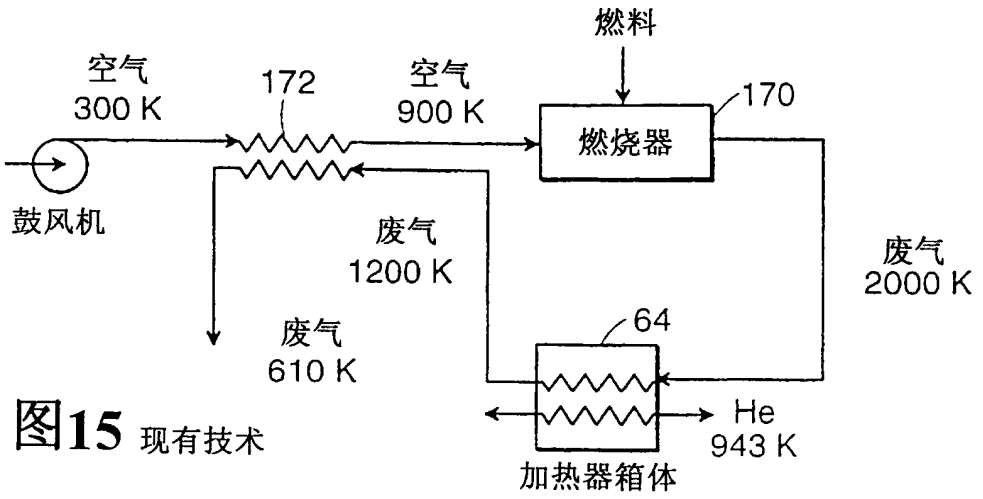


图15 现有技术

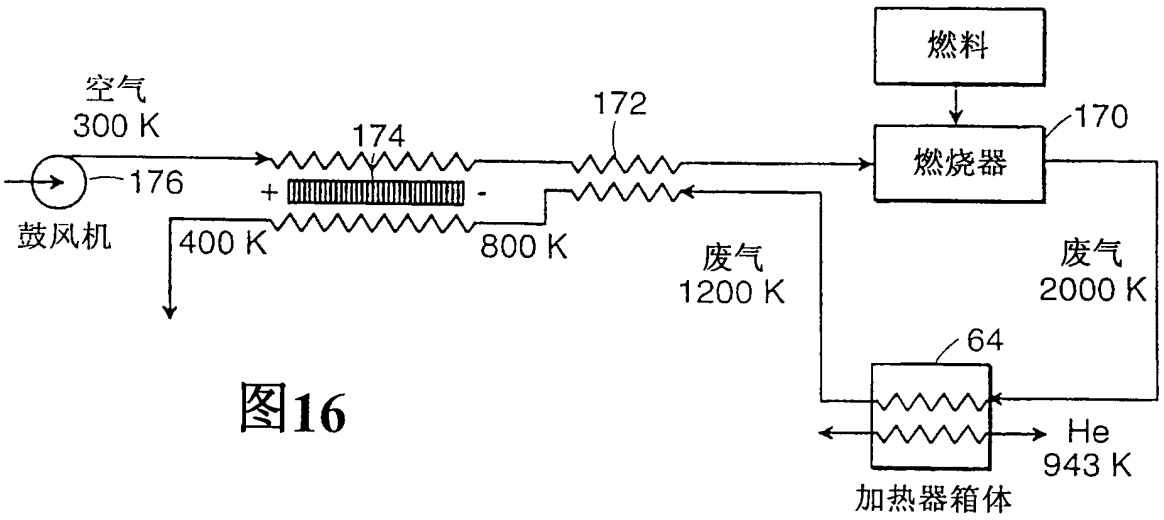


图16

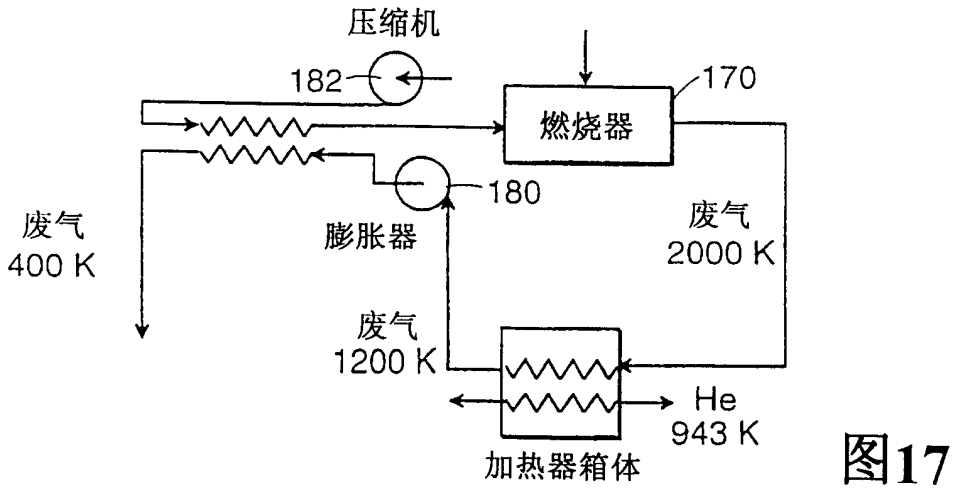


图17

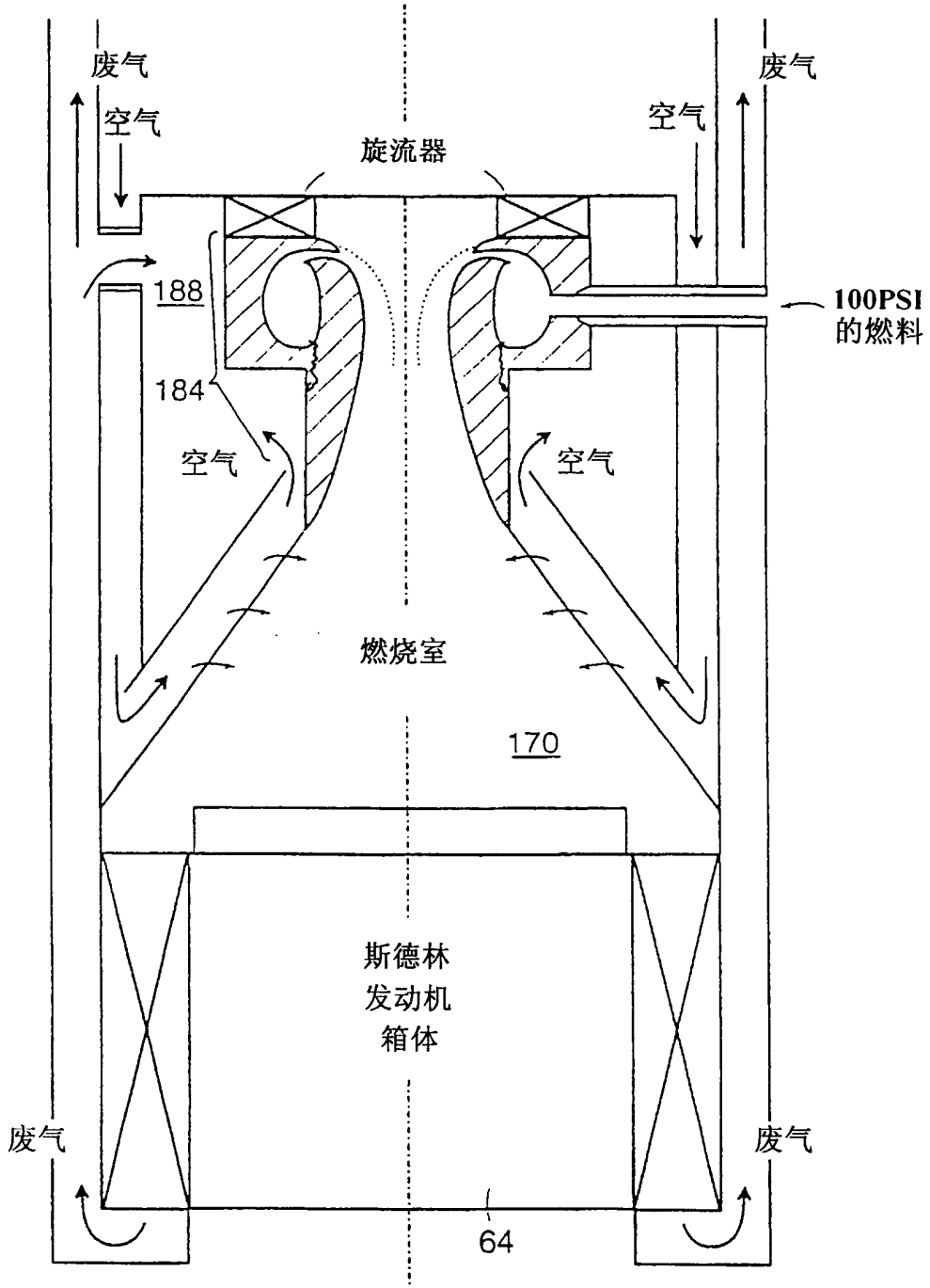

废气
空气
旋流器
空气
废气
188
100PSI
的燃料
184
空气
空气
燃烧室
170
斯德林
发动机
箱体
废气
废气
64

图18a

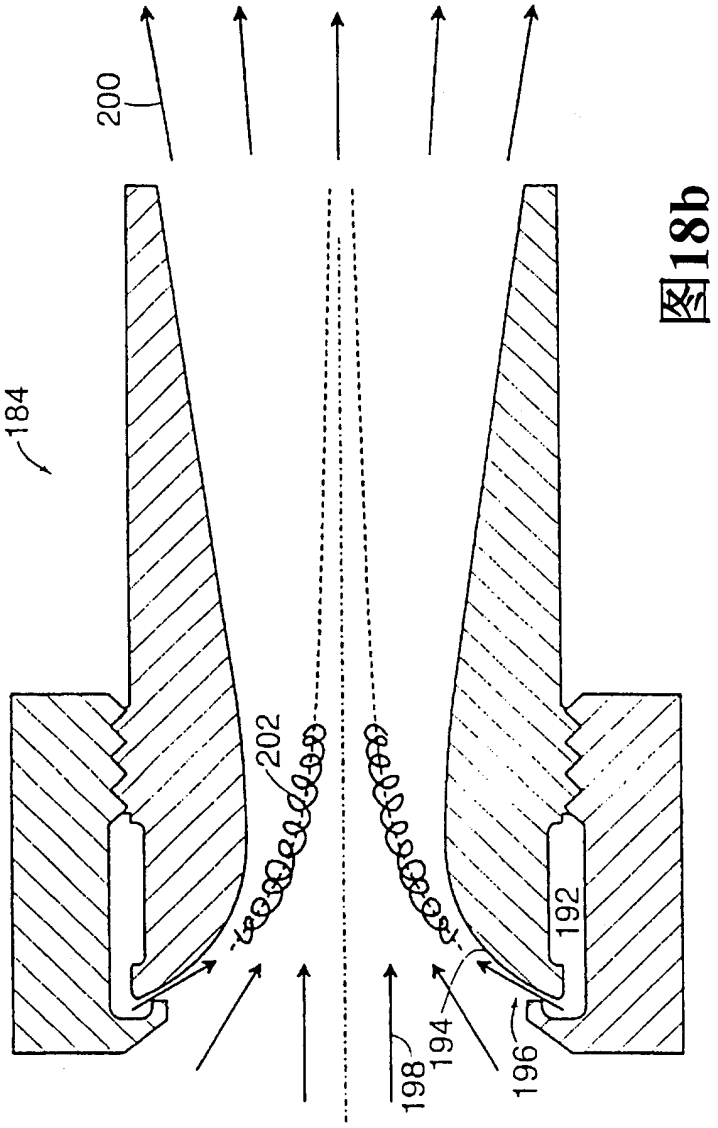


图18b

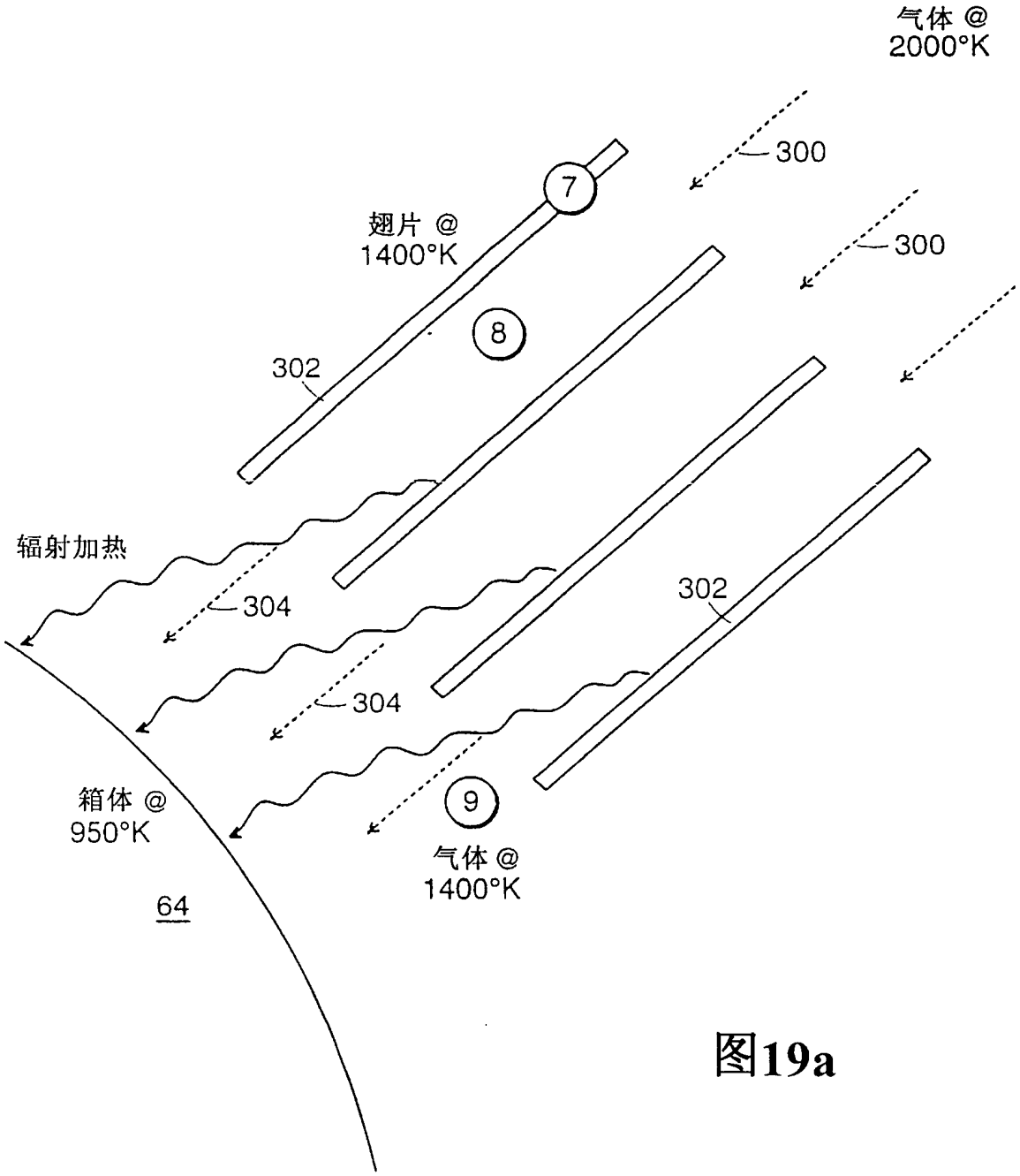

气体 @
2000°K
300
7
翅片 @
1400°K
300
8
302
辐射加热
304
302
304
箱体 @
950°K
9
气体 @
1400°K
64

图19a

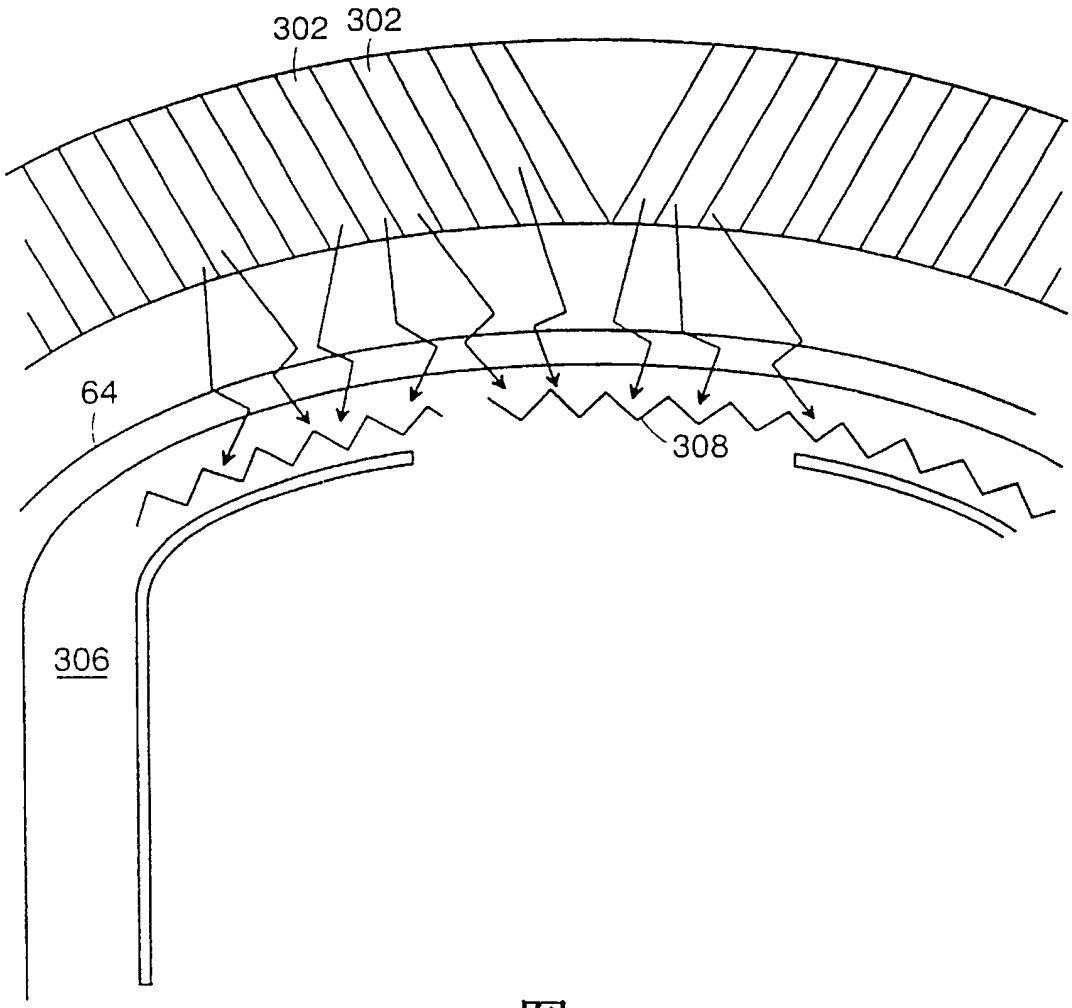


图19b

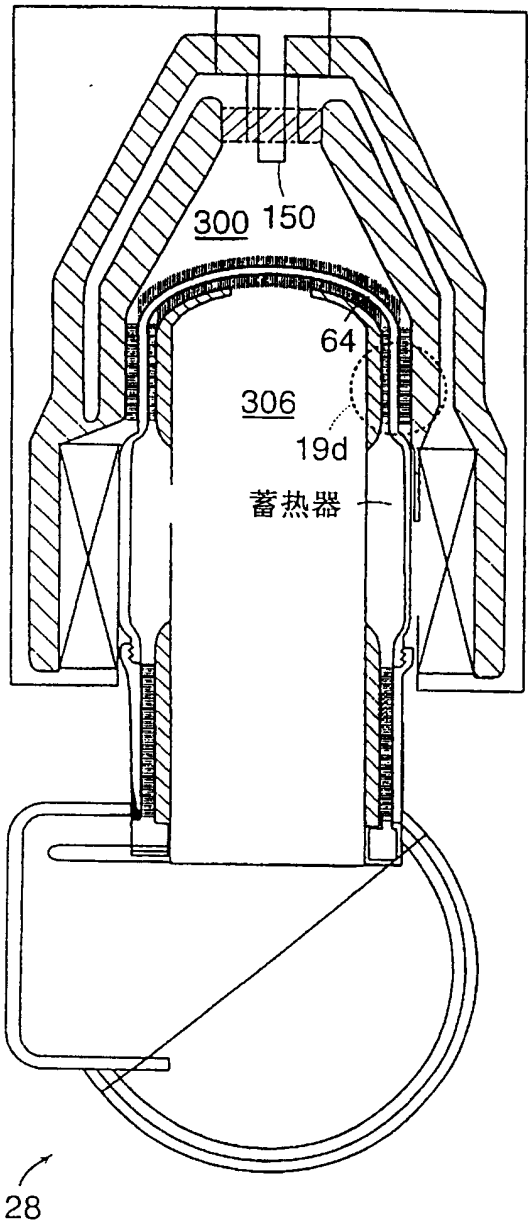


图19c

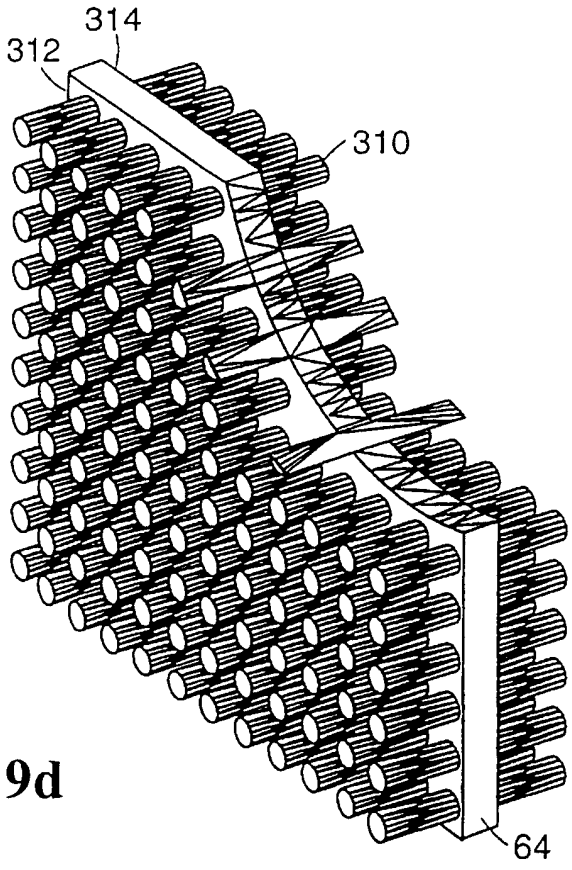


图19d

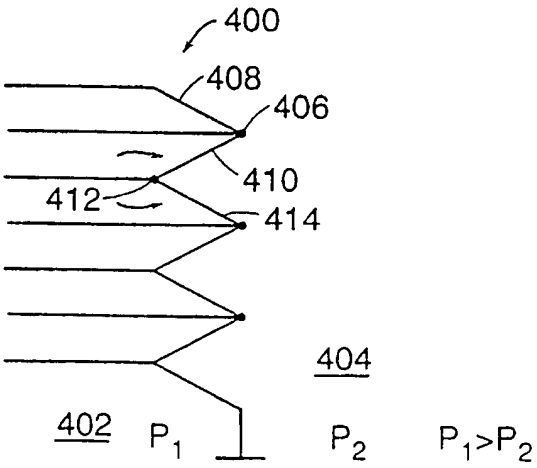


图20a

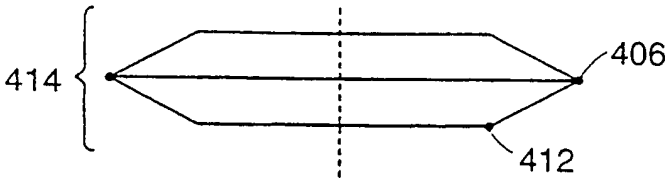


图20b