

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



## [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03812288.X

*F25B* 21/02 (2006. 01 )  
*H01L* 35/30 (2006. 01 )  
*H01L* 35/28 (2006. 01 )

[45] 授权公告日 2007 年 2 月 14 日

[11] 授权公告号 CN 1300525C

[22] 申请日 2003.6.6 [21] 申请号 03812288.X  
[30] 优先权

[32] 2002. 6. 6 [33] US [31] 10/164,656

[86] 国际申请 PCT/US2003/017834 2003.6.6

[87] 国际公布 WO2003/104726 英

[85] 进入国家阶段日期 2004.11.2  
[73] 专利权人 BSST 公司  
地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 L·E·贝尔

〔56〕 參考文獻

US6334311B1 2002

CN1240067

CN1240067A 2000-3-20

CN1249007A 2000.3.29

CN1545294A 2002.4.3

U.S.228923A 19

[74] 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司

代理人 赵蓉民

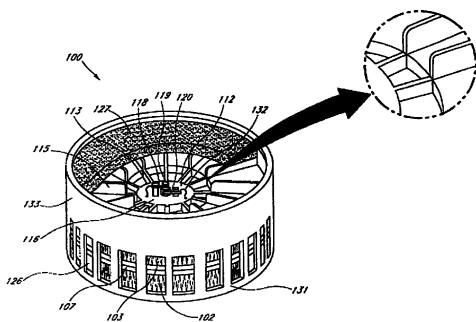
权利要求书 6 页 说明书 17 页 附图 11 页

[54] 发明名称

## 改进的热电发电系统及方法

[57] 摘要

一种改进的热电发电系统(100)，其利用旋转热电(135)结构来改进和增加热能产量。与典型的以前的笨重材料相比，新的异质结构(heterostructure)热电材料、特薄镀膜材料以及沉积热电材料在更高的功率密度下运行，通过利用上述材料使这些系统进一步增强。本发明公开了几种结构。



1. 一种热电发电机，其包括：

具有至少一个热电模块的至少一个旋转热电组件，其中所述的至少一个旋转热电组件接纳至少一种工作流体，并把来自所述工作流体的热转换成电力。

2. 根据权利要求 1 所述的热电发电机，其中所述至少一个旋转热电组件包括，至少一个较热端热交换器和至少一个较冷端热交换器。

3. 根据权利要求 2 所述的热电发电机，其中至少所述的至少一个较热端热交换器包括，与所述至少一个热电模块热连通的至少一个较热端热管，以及与所述至少一个较热端热管热连通的多个热交换器翅片。

4. 根据权利要求 3 所述的热电发电机，其中至少所述的至少一个较冷端热交换器包括，与所述至少一个热电模块热连通的至少一个较冷端热管，以及与所述至少一个较冷端热管热连通的多个热交换器翅片。

5. 根据权利要求 4 所述的热电发电机，其中所述至少一个较热端热管和所述至少一个较冷端热管容纳流体，且其中对所述至少一个较热端热管和所述至少一个较冷端热管进行定向，以致由所述旋转热电组件的旋转所产生的离心力使所述流体的液相聚集在所述至少一个较热端热管和所述至少一个较冷端热管的一个部分上。

6. 根据权利要求 5 所述的热电发电机，其中在所述至少一个较冷端热管内的所述流体在与所述至少一个热电模块的界面的至少一部分上为液相，而在所述至少一个较热端热管内的所述流体在与所述至少一个热电模块的界面的至少一部分上为汽相。

7. 根据权利要求 2 所述的热电发电机，其中至少所述至少一个较冷端热交换器包括，与所述至少一个热电模块热连通的至少一个较冷

---

端热管，以及与所述至少一个较冷端热管热连通的多个热交换器翅片。

8. 根据权利要求 7 所述的热电发电机，其中所述热管容纳流体，且其中对所述热管进行定向，以致由所述至少一个旋转热电组件的旋转所产生的离心力使所述流体的液相聚集在所述热管的一部分上。

9. 根据权利要求 2 所述的热电发电机，进一步包括一个电机，其连接到所述旋转热电组件上，以使所述的至少一个旋转热电组件旋转。

10. 根据权利要求 9 所述的热电发电机，其中所述的至少一个旋转热电组件的旋转对贯穿和/或横穿所述热交换器中的至少一个的所述工作流体进行抽吸。

11. 根据权利要求 1 所述的热电发电机，其中所述至少一种工作流体使所述至少一个热电组件旋转。

12. 根据权利要求 11 所述的热电发电机，其中所述至少一个旋转热电组件包括至少一个较热端热交换器和至少一个较冷端热交换器，且其中所述至少一个较热端热交换器包括，与所述至少一个热电模块热连通的至少一个较热端热管，以及与所述至少一个较热端热管热连通的多个热交换器翅片。

13. 根据权利要求 12 所述的热电发电机，其中所述至少一个较热端热管容纳流体，且其中对所述至少一个较热端热管进行定向，以致由所述至少一个旋转热电组件的旋转所产生的离心力使所述流体的液相聚集在所述至少一个较热端热管的一部分上。

14. 根据权利要求 12 所述的热电发电机，其中所述至少一个较冷端热交换器包括，与所述至少一个热电模块热连通的至少一个较冷端热管，以及与所述至少一个较冷端热管热连通的多个热交换器翅片。

15. 根据权利要求 14 所述的热电发电机，其中所述至少一个较冷端热管容纳流体，且其中对所述至少一个较冷端热管进行定向，以致由所述至少一个旋转热电组件的旋转所产生的离心力使所述流体的液

相聚集在所述至少一个较冷端热管的一部分上。

16. 根据权利要求 1 所述的热电发电机，其中所述至少一个旋转热电组件包括多个热电模块，所述热电模块中的至少一些与所述热电模块中的至少另外的一些热绝缘。

17. 根据权利要求 1 所述的热电发电机，其中所述至少一个旋转热电组件包括至少一个较热端热交换器，其中所述的较热端热交换器具有多个这样的部分，所述部分与所述较热端热交换器的其他部分基本上热绝缘。

18. 根据权利要求 1 所述的热电发电机，其中所述至少一个旋转热电组件进一步接纳第二工作流体以散掉废热，所述第二工作流体比所述至少一种工作流体冷。

19. 一种利用至少一个热电组件发电的方法，所述热电组件具有至少一个热电模块，所述方法包括以下步骤：

使所述至少一个热电组件旋转；

使至少一种第一工作流体贯穿和/或经过所述至少一个热电组件的第一端，以形成贯穿所述至少一个热电模块的温度梯度，从而产生电力；以及

使来自所述至少一个热电模块的电力连通。

20. 根据权利要求 19 所述的方法，还包括使至少一个第二工作流体贯穿和/或经过所述至少一个热电组件的第二端。

21. 根据权利要求 19 所述的方法，其中所述至少一个热电组件具有至少一个第一端热交换器以及至少一个第二端热交换器，使所述至少一种第一工作流体经过的所述步骤包括，使所述至少一种第一工作流体贯穿和/或经过所述第一和/或第二端热交换器。

22. 根据权利要求 21 所述的方法，其中至少所述的至少一个第一端热交换器包括，与所述至少一个热电模块热连通的至少一个第一端

热管，以及与所述至少一个第一端热管热连通的多个热交换器翅片。

23. 根据权利要求 22 所述的方法，其中所述至少一个第一端热管容纳流体，且其中对所述至少一个第一端热管进行定向，以致由所述至少一个热电组件的旋转所产生的离心力使所述流体的液相聚集在所述至少一个第一端热管的一部分上。

24. 根据权利要求 22 所述的方法，其中至少所述至少一个第二端热交换器包括，与所述至少一个热电模块热连通的至少一个第二端热管，以及与所述至少一个第二端热管热连通的多个热交换器翅片。

25. 根据权利要求 24 所述的方法，其中所述至少一个第二端热管容纳流体，且其中对所述至少一个第二端热管进行定向，以致由所述至少一个热电组件的旋转所产生的离心力使所述流体的液相聚集在所述至少一个第二端热管的一部分上。

26. 根据权利要求 25 所述的方法，其中在所述至少一个第二端热管内的所述流体在与所述至少一个热电模块的界面的至少一部分上为液相，而在所述至少一个第一端热管内的所述流体在与所述至少一个热电模块的界面的至少一部分上为汽相。

27. 根据权利要求 19 所述的方法，其中与所述至少一个热电组件连接的电机使所述的热电组件旋转。

28. 根据权利要求 19 所述的方法，其中所述的旋转所述至少一个热电组件的步骤对贯穿和/或横穿所述热交换器的所述至少一种第一工作流体进行抽吸。

29. 根据权利要求 19 所述的方法，其中所述至少一个热电组件包括多个热电模块，所述方法进一步包括步骤：使所述热电模块中的至少一些与所述热电模块中的至少其他的一些基本上热绝缘。

30. 根据权利要求 19 所述的方法，其中所述至少一个热电组件包括至少一个第一端热交换器，其中所述的第一端热交换器具有多个部

---

分，所述的方法进一步包括步骤：使所述多个部分中的一些与所述第一端热交换器的所述多个部分中其他一些充分热绝缘。

31. 根据权利要求 19 所述的方法，其中所述的旋转步骤包括至少利用所述至少一种第一工作流体以使所述至少一个热电组件旋转。

32. 一种热电发电系统，其包括：

至少一种较热工作流体的一个源；

至少一种较冷工作流体的一个源；

具有至少一个热电模块的至少一个旋转热电组件，其中所述的旋转热电组件接纳所述至少一种较热工作流体，并把来自所述较热工作流体的热转换成电力；

用于所述的至少一种较热以及所述的至少一种较冷工作流体的排出装置；以及

对来自所述旋转热电组件的所述电力进行传送的至少一个电气连通系统。

33. 根据权利要求 32 所述的热电发电系统，其中所述至少一个旋转热电组件包括，至少一个较热端热交换器和至少一个较冷端热交换器。

34. 根据权利要求 33 所述的热电发电系统，其中至少所述至少一个较热端热交换器包括，与所述至少一个热电模块热连通的至少一个较热端热管，以及与所述至少一个较热端热管热连通的多个热交换器翅片。

35. 根据权利要求 34 所述的热电发电系统，其中至少所述至少一个较冷端热交换器包括，与所述至少一个热电模块热连通的至少一个较冷端热管，以及与所述至少一个较冷端热管热连通的多个热交换器翅片。

36. 根据权利要求 35 所述的热电发电系统，其中所述至少一个较热端热管和所述至少一个较冷端热管容纳流体，且其中对所述至少一

---

一个较热端热管和所述至少一个较冷端热管进行定向，以致由所述旋转热电组件的旋转所产生的离心力使所述流体的液相聚集在所述至少一个较热端热管和所述至少一个较冷端热管的一部分上。

37. 根据权利要求 35 所述的热电发电系统，其中在所述至少一个较冷端热管内的所述流体在与所述至少一个热电模块的界面的至少一部分上为液相，而在所述至少一个较热端热管内的所述流体在与所述至少一个热电模块的界面的至少一部分上为汽相。

38. 根据权利要求 32 所述的热电发电系统，进一步包括一个电机，其连接到所述至少一个旋转热电组件上，以使所述旋转热电组件旋转。

39. 根据权利要求 33 所述的热电发电系统，其中所述的至少一个旋转热电组件的旋转对贯穿和/或横穿所述至少一个较热端热交换器中的所述至少一种较热工作流体进行抽吸。

40. 根据权利要求 32 所述的热电发电系统，其中所述至少一个旋转热电组件包括多个热电模块，所述热电组模块中的至少一些与所述热电模块中至少另外的一些热绝缘。

41. 根据权利要求 32 所述的热电发电系统，其中所述至少一个旋转热电组件包括至少一个较热端热交换器，其中所述的较热端热交换器具有多个这样的部分，所述部分与所述较热端热交换器的其他部分基本上热绝缘。

42. 根据权利要求 32 所述的热电发电系统，其中所述至少一个旋转组件还接纳较冷工作流体以散掉废热。

43. 根据权利要求 32 所述的热电发电系统，其中至少所述较热和/或所述较冷工作流体使所述旋转热电组件旋转。

## 改进的热电发电系统及方法

### 技术领域

本发明涉及利用热电器件的发电领域。

### 背景技术

尽管很久以前人们就已经知道可用热电器件产生电力，但由于当前的发电机设计效率以及这类发电机的功率密度非常低，因此热电发电的应用还很少。

历史上，固态发电系统由位于热源和散热器之间的 TE 模块或者独立 TE 元件组成。这些部件是使用在发电机本身中不运动的部件来设计的。一般地，使用热工作流体和冷工作流体作为热源和冷源的系统采用风扇来把所述流体传递到所述组件。

在其他的应用中，压缩空气和燃料在发电机内燃烧。在另外的其他应用中，例如在汽车排放废气电能转换器中，通过排放系统将热输送到发电机。在这些设备中，通过外部风扇提供冷却剂或者通过经由翅片散热器的自由对流来散发废热。

在应用中，例如在使用核同位素作为热源的发电机中，配置单独的 TE 元件以产生电能。每个 TE 元件在热端固定到一个同位素热源上，而在冷端则固定到废热散热器上。运行期间无部件移动。

### 发明内容

与典型的以前的笨重材料相比，新的异质结构（heterostructure）热电材料、量子隧道、特薄镀膜以及沉积热电材料在更高的功率密度下运行，为获得更高的系统效率提供了可能。

具有高功率密度的热电装置的成功运行需要在 TE 模块冷端和热端具有较高的热交换速率。实现该目的的一个方式是通过对旋转进行设计以使其有助于提高流体流动速率从而提高热能产量。在一个优选实施例中，将热交换器的一部分用作风扇叶片，从而可促进工作流体流动的旋转系统能够降低进入风扇的能量、简化系统设计并缩小尺寸。

此外，通过使用热管可提高许多系统中的传热速率，这是本领域所公知的。这类设备采用双相（液相和汽相）流将含热量从一个表面传递到另一个表面。在热源表面上的散发热量之处，利用流体的汽化热来吸取热能。蒸汽流到散热器端的温度较低的表面上，在那里冷凝并释放汽化热。冷凝流体通过毛细作用和/或重力返回到热源端。

正确设计的热管是非常高效的，并且可在温差非常低的情况下传递较大的热通量。高效运行的一些关键在于，液体的返回过程应当高效，而且整个热源端应当始终是润湿的，以便总有可用来蒸发和带走热能的液体。同样地，重要的是，由于热管工作流体通常是相对较差的导热体，冷的散热器端并不积蓄液体。因此，散热器端应该有效地排出液体以保持有效的导热表面。

在此处所述的一个实施例中，正确定向的热管与旋转热交换元件结合一起，利用热交换器旋转所产生的离心力来改进性能。通过风扇和泵产生的旋转加速度可达到数千个 Gs，以便在正确设计的情况下，可将液相高效地从散热器端传送到所述热源端。由于离心力有利地提高了液相流动，较冷端比较热端更接近旋转轴线的设计能够表现出非常理想的传热特性。因此，这样的设计提高了功率密度、降低了损耗。

最后，与申请号为 09/844,818 的、名称为 Improved Efficiency Thermoelectrics Utilizing Thermal Isolation 的美国专利申请所述的热绝缘体相结合的发电机，可进一步提高性能。

所述的一个方面包括一个热电发电机，其具有至少一个旋转热电组件，该旋转热电组件具有至少一个热电模块。所述至少一个旋转热电组件接纳至少一种工作流体，并将来自该工作流体的热转换成电力。有优势的是，所述至少一个旋转热电组件包括至少一个较热端热交换器和至少一个较冷端热交换器。在一个实施例中，所述至少一个较热端热交换器具有：与所述至少一个热电模块热连通的至少一个较热端热管；以及与所述至少一个较热端热管热连通的多个热交换器翅片。在一个实施例中，所述的至少一个较冷端热交换器具有：与所述至少一个热电模块热连通的至少一个较冷端热管；以及与该至少一个较冷端热管热连通的多个热交换器翅片。在一个实施例中，所述至少一种工作流体为至少一种较热工作流体和至少一种较冷工作流体。

优选地，所述热管容纳流体，并且该热管被定向以致所述旋转热电组件旋转所产生的离心力使所述流体的液相聚集在所述热管的一部分上。例如，较冷端热管内的流体在所述至少一个热电模块的一个界面的至少一部分上为液相，而较热端热管内的流体在所述至少一个热电模块的界面的至少一部分上为汽相。

在一个实施例中，与所述至少一个旋转热电组件连接的电机使所述的至少一个旋转热电组件旋转。在另一个实施例中，所述至少一种工作流体使所述至少一个热电组件旋转。优选地，该旋转对贯穿或横穿所述热交换器的工作流体进行抽吸，或者对贯穿和横穿所述热交换器的工作流体进行抽吸。

在一个优选实施例中，所述至少一个旋转热电组件具有多个热电模块，所述热电模块中的至少一些与该热电模块中的至少一些其他的模块热绝缘。在另一个实施例中，所述的至少一个较热端热交换器具有多个与该较热端热交换器的其他部分充分热绝缘的部分。

此处所述的另一个方面包括利用至少一个热电组件发电的一种方法，其中该热电组件具有至少一个热电模块。该方法包括：使所述至少一个热电组件旋转、使至少一种第一工作流体贯穿和/或经过所述至少一个热电组件的一个第一端以形成贯穿所述至少一个热电模块的温度梯度而发电、并把来自所述至少一个热电模块的电力连通。在一个实施例中，所述方法还包括使至少一个第二工作流体贯穿和/或经过所述至少一个热电组件的第二端。可通过例如电机、工作流体本身以及任何其他可行方式等多种方式获得所述旋转。

优选地，所述至少一个热电组件具有至少一个第一端热交换器以及至少一个第二端热交换器，并且使所述至少一种第一工作流体经过的所述步骤包括，使所述至少一种第一工作流体贯穿和/或经过所述第一和/或第二端热交换器。

如同所述设备一样，在一个实施例中，至少所述至少一个第一端热交换器具有：与所述至少一个热电模块热连通的至少一个第一端热管；以及与所述至少一个第一端热管热连通的多个热交换器翅片。有优势的是，所述热管容纳流体，并被定向以致所述至少一个旋转热电组件旋转所产生的离心力使所述流体的液相聚集在所述热管的一部分

上。进一步地，至少所述至少一个第二端热交换器包括，与所述至少一个热电模块热连通的至少一个第二端热管，以及与所述至少一个第二端热管热连通的多个热交换器翅片。这个方法的配置如同所述设备一样。

所述的另一个方面包括一种热电发电系统，该系统具有至少一个较热工作流体的一个源、至少一个较冷工作流体的一个源以及具有至少一个热电模块的至少一个旋转热电组件，其中所述旋转热电组件接纳所述至少一种较热工作流体并且把来自所述较热工作流体的热量转换成电力。优选地，该系统还具有用于所述至少一种较热和所述至少一种较冷工作流体的排出装置，以及至少一个把电力从所述旋转热电组件传送到所述电气连通系统的电气连通系统。

在一个实施例中，所述至少一个旋转热电组件包括：至少一个较热端热交换器和至少一个较冷端热交换器。与前面所述的方法和设备一样，在一个实施例中，至少所述至少一个较热端热交换器具有：与所述至少一个热电模块热连通的至少一个较热端热管；以及与所述至少一个较热端热管热连通的多个热交换器翅片。同样地，在一个实施例中，至少所述至少一个较冷端热交换器可具有：与所述至少一个热电模块热连通的至少一个较冷端热管；以及与所述至少一个较冷端热管热连通的多个热交换器翅片。还可利用热绝缘体。

从以下优选实施例的更详细说明中，可明显看出本描述中的这些及其他方面的优点。

## 附图说明

图 1A—1C 示出了热电发电机的一种总体方案，其采用了热和冷流体、电机和热交换器翅片，以形成贯穿 TE 模块的温差。从热端流体流内的热能中产生电能。

图 1D 示出了用于发电机的冷端和热端工作流体运动的详细视图。

图 1E 示出了 TE 模块和热交换器的剖面图。

图 1F 示出了用于把 TE 模块产生的电能传递到外部系统的集流环组件实施例的附加细节。

图 1G 还示出了热电发电机的一种总体方案，其中工作流体的流动

和压力使发电机组件旋转，因此消除了对图 1C 和 1D 所示电机的需要。

图 2A 示出了用于在旋转固态发电机中大致轴向流体流的 TE 模块、热管和热交换器组件。

图 2B 为图 2A 组件的详细横剖面图。

图 2C 为图 2A 组件一个片段的第二视图。

图 3A 示出了用于在旋转发电机中大致径向流体流的 TE 模块、热管和热交换器组件的剖面图。

图 3B 示出了图 3A 组件详细横剖面图。

图 4 示出了轴向流动发电机，其中热和冷流体通常在相同总方向上彼此平行流动。发电机利用热绝缘体和热管以提高能量转换效率。

图 5 示出了一个径向流动发电机，其中热和冷流体通常在相同方向上彼此平行流动。发电机利用热绝缘体和热管以提高效率。

图 6 示出了一个轴向流发电机，其中热和冷流体在大致彼此相对方向上流动。有利地，TE 模块和热交换器热绝缘，以提高效率并提高功率密度。

图 7 示出了一个轴向流发电机，其中热和冷流体在大致彼此相对方向上流动。有利地，TE 模块之间热绝缘。使用热管以提高效率和功率密度。

图 8 示出了具有大致径向和轴向流的发电机。利用固体传导热交换元件，以在 TE 模块和热端翅片之间传递热量。

图 9 示出了轴向流发电机的一部分，其中电流围绕转子的旋转轴线的圆形方向上流过 TE 元件或者模块。

图 10 示出了热电发电机的系统方框图。

## 具体实施方式

在本描述中，术语“热电模块”或者“TE 模块”是指它们普通和习惯含义的广义，其中为：(1) 传统的热电模块，例如由加利福尼亚州圣地亚哥 Hi Z Technologies, Inc 制造的；(2) 量子隧道转换器；(3) 热离子模块；(4) 磁热模块；(5) 利用热电、磁热、量子、隧道和热离子效应中之一或者任何组合的部件；(6) 以上(1)到(5)的任何组合、排列、集合及其他结构。

在描述中，词语“冷”、“热”、“较冷”、“较热”等等是相对术语，而不表示任何具体温度范围。例如，冷端热交换器事实上人摸着觉得很热，但仍然比热端冷。这些术语只用于表示贯穿 TE 模块存在的温度梯度。

此外，在本申请中描述的实施例仅仅是示例，而不是对发明的限制，本发明在权利要求书中限定。

图 1A—1F 示出了用于旋转热电发电机 100 的总体方案图。图 1A 为一个透视图。图 1B 为可通过图 1A 中的槽口 126 可见的转子组件 135。图 1C 为通过旋转热电发电机 100 的剖面图。图 1D—1F 提供了该发电机各个部分的附加细节。转子组件 135（如图 1B 和图 1C 所示）由 TE 模块 101 组成，该组件与一端的热端热交换器 102（例如热交换器翅片）以及另一端的冷端热交换器 103（例如热交换器翅片）具有良好热接触。绝缘体 109 隔离热端和冷端。绝缘体 109 把转子部件刚性地连接到电机转子 110。此处出于说明的目的示出了 TE 模块 101，该模块由 TE 元件 104 和电路 129 组成。导线 123 在接触点 124、125 处把 TE 模块 101 电连接到彼此电绝缘的轴组件 130 的部分 117、119 上，TE 模块 101，热端热交换器 102，冷端热交换器 103，绝缘体 109，导线 123，电路 129 和轴部分 117、119 一起形成了刚性可旋转单元。

电机组件 111 通过轴承 144（图 1F）连接到该电机转子 110 上。集流环触头 118 与轴元件 119 电气连通，并且集流环触头 120 也与轴元件 117 电气连通。导线 122 通过电路 132 和其他没有示出的电路（例如电路板上的迹线或者其他传统的电路连接件）连接到集流环触头 118 和 120 上。导线 122 也通过电路板 112 及其他没有示出的电路连接到电机组件 111 上。

辐条 113（最好如图 1A 所示）把内壁 114（图 1C 中的）机械地固定到电机底座 116 上，从而固定该电机组件 111 上。热端流体过滤器 128 固定到外壳 131 上，而冷端流体过滤器 127 由叶片 115 支撑并被固定到外壳 131 的延伸部分 133 上。外壳上的开口 126，例如槽口，可使流体 106、108 通过外壳 131。热工作流体 105、106（图 1C 和图 1D）被封闭在由外壁 131、开口 126、绝缘体 109、过滤器 128 和 TE 模块 101 所限定的腔内。冷工作流体 107、108 通过内壁 114、叶片 115、外

壳延伸部分 133、电机底座 116 以及过滤器 127 封闭。

热流体 105 穿过热端过滤器 128 并把热传递到热端热交换器 102。因此，热端热交换器 102 和 TE 模块 101 之间的界面被加热。类似地，冷流体 107 穿过冷端过滤器 127 并从冷端热交换器 103 吸收热。因此，冷端热交换器 103 和 TE 模块 101 之间的界面被冷却。贯穿 TE 模块 101 的温度梯度(热流)产生电能。该电能通过导线 123 传送到接触点 124、125 传送到轴部分 117、119，并通过集流环触头 118、120 传递到导线 122(最好如图 1F 所示)。

作用在电机转子 110 上的电机组件 111 使该转子组件旋转。在一个实施例中，换热器 102、103 设计成在离开该转子组件的旋转轴纵向定向的翅片。在该结构中，有利的是，换热器 102、103 作为离心式风扇或者鼓风机的风扇叶片并从而连续地抽吸工作流体 105、107，以在整个 TE 模块 101 上保持温差。贯穿 TE 模块 101 的热流的一部分连续地转换为电能。热工作流体 105 在穿过热端热交换器 102 时被冷却，然后经由开口 126 作为废流体 106 流出。类似地，冷工作流体 107 在穿过冷端热交换器 103 时，被加热，然后经由开口 126 作为废流体 108 流出。

利用附图中旋转组件 135 的具体结构详细描述旋转热电发电机的优点。热交换器热电模块的转动作为一个单元允许将一个或多个换热器用作抽吸工作流体的风扇叶片。此外，在提高发电系统效率以及增加功率密度方面，可得到其他的旋转的优点和用途，这些将在下面进一步解释。

图 1D 示出了发电机 100 的冷端和热端工作流体运动的详细视图。TE 模块 101 与热端热交换器 102 和冷端热交换器 103 热连通。这两端通过绝缘体 109 隔离。热端流体 105 和 106 容纳于外壁 131 和绝缘体 109 中。类似地，冷端流体 107、108 容纳于内壁管道 114 和绝缘体 109 中。电机转子 110 刚性地固定到绝缘体 109 上，以便绝缘体 109、TE 模块 101 和换热交换器 102、103 作为一个单元运行。导线 123 把 TE 模块 101 连接到旋转集流环 118、120，其中集流环 118、120 在图 1F 的讨论中更详细描述。电机转子 110 通过轴承 144(图 IF)连接到电机驱动器 140 和轴 130(图 1F 详细示出)。导线 123 连接到 TE 模块 101

和轴 130。

对热交换器 102 加热的热流体 105 和对热交换器 103 冷却的冷流体 107 在整个 TE 模块 101 上形成温度梯度。热流体 105 被冷却并排出，而冷流体 107 被加热而排出。通过作为鼓风机或者径流式风扇的叶片的热交换器 102 元件部分的转动形成热流体 105 的运动。电机转子 110 和电机驱动器 140 产生转动。由外壳和绝缘体来引导流体流。

图 1E 示出了 TE 模块 101 和换热器 102、103 的剖面图。图中示出的热交换器 102、103 为本领域公知的折叠翅片，但也可以是任何其他合适的热交换器设计，例如，可在如下出版物中找到的任何有利的设计：Kays, William M., and London, Alexande L., Compact Heat Exchangers, 3rd Edition, 1984, McGraw-Hill, Inc。可采用热管和任何其他的技术以提高热交换。

图 1F 示出了用于把 TE 模块 101 产生的电能传送到外部系统的集流环组件实施例的附加细节。该组件由绝缘体 109 中的导线 123 组成，导线 123 中的一根电连接到内轴 119，而另一根电连接到外轴 117。电绝缘体 142 把内外轴 119、117 机械地连接起来。有优势的是，外轴 117 机械地连接到电机转子 110 和轴承 144。集流环触头 118 电连接到内轴 119 上，并且集流环触头 120 电连接到外轴 117 上。

图 1G 示出了热电发电机的可选结构，其中该热电发电机采用工作流体的流动和压力使发电机组件旋转，因此消除了对图 1C 和 1D 所示电动机的需要。

如图 1G 所示，除了风扇 150 和绝缘体 109 固定一起以形成可旋转单元外，TE 模块 101、热交换器 102、103 和包括该热电发电机转动部件的有关部件与图 1D 中相同。轴承 152、轴 130 和辐条 116、151 形成用于该转动部件的悬挂。

在运行中，工作流体 105 推动风扇 150。来自风扇的力使该转动部件旋转。在该实施例中，该旋转会吸入冷工作流体 107，从如图 2—图 7 以及图 9 的描述中所讨论的转动中可知，该旋转还提供其他的用处。

所示的风扇 150 为一个独立部件。同样的功能可通过利用其他具有热交换器或其他部件的设计来实现，其中的热交换器或者其他部件的形状和位置被设计成可以利用在较热、较冷和/或排出流体流中获得

的力来产生旋转。例如，这种系统可被用于汽车内燃机的排气流中。在这样一个实例中，本来只是废热的能量被转换为电能，并且排放流使旋转热电组件旋转。

电机转子 110，绝缘体 109、142 和轴 117、119 作为一个单元旋转并由轴承 144 支撑。集流环 118、120 把在旋转单元内产生的电能传递到外部电路上。集流环 118、120 可以是本领域公知的任何设计，而且轴 117、119 可以是任何导电的或者容纳导电导线或者元件的可行结构。电力输送部件和结构可以是把来自旋转单元的电能输送到外部电路的任何设计。

应该清楚的是，尽管图 1 示出了单个旋转组件，但多个旋转组件也是预料之中的。

图 2A 示出了用于图 1 所示形式的热电发电机的转子组件 200 的剖视图。转子组件 200 由与外热管 202 的环形阵列和内热管 203 的环形阵列良好热接触的环状 TE 模块 201 组成。热端热交换器 204 与外热管 202 具有良好热接触，而冷端热交换器 205 与内热管 203 具有良好热接触。转子组件 200 通常关于其旋转轴线 211 对称。

运行中，转子组件 200 围绕其旋转轴线 211 旋转。热流体（未示出）与热端热交换器 204 接触，热端热交换器 204 把热通量传递到外热管 202，并传递到 TE 模块 201 的外表面。一部分热通量通过 TE 模块 201 转换为电能。废热通量穿过内热管 203，然后到达冷端热交换器 205，最后到达与冷端热交换器 205 接触的冷却液（未示出）。

图 2B 是穿过热管的转子组件 200 的横截面的更详细视图。如图 2A 所示，热管 202 和 203 与 TE 模块 201 热接触。TE 元件 208 和电路 209 构成 TE 模块 201。在一个优选实施例中，热管 202、203 由容纳热交换流体的密封壳 214、215 组成。运行中，当转子组件 200 围绕轴线 211 旋转时，旋转力推动热交换流体的液相离开特定热管 202、203 的旋转轴线。箭头 210 示出了通过旋转引起的向外力的方向。例如，在热管 202 中液相 206 形成了与汽相的界面 212。热端热交换器 204 与热端热管壳 214 具有良好的热接触。类似地，冷端热管 203 具有液相的热交换流体 207 和与汽相的界面 213。较冷端热交换器 205 与冷端热管壳 215 具有良好的热连通。

由转子组件 200 旋转引起的向外力 210 强制液相 206 和 207 到达图 2B 所示的位置。热气（未示出）把来自外部热交换器翅片 204 的热传递到外部热管壳 214。热通量使热端的一部分液相 206 蒸发。由于该蒸汽的位置被稠密的液相取代，因而该蒸汽朝箭头 210 所示方向相反的方向向内运动。在与 TE 模块 201 和热端热管壳 214 的界面接触的热管 202 中的汽相流体把它的一部分热容量传递到 TE 模块 201，并凝结为液相。旋转引起的力在箭头 210 所示方向上驱动稠密的液相。随着更多的热被热端热交换器 204 吸收、传递到外部热管壳 214、然后传递到 TE 模块 201 外表面，流体循环反复进行。

类似地，来自 TE 模块 201 内侧的废热使该内热管流体的液相 207 沸腾，并向内对流到内热管壳 215 的内部。冷工作流体（未示出）把来自冷端热交换器 205 以及冷端热管壳 215 相邻部分的热散掉。这引起流体 207 的凝结。该液相由箭头 210 所示方向上的离心力驱动，并积蓄在 TE 模块 201 和内热管壳 215 界面上。该循环不断地重复，其中流体不断地在一个位置蒸发，在另一个位置凝结，并通过离心力输送回第一位置。

根据转子尺寸和转速的不同，由转子组件 201 旋转所产生的力可以是重力的几倍到数千倍。这种离心力可提高热管热交换，因此允许转子组件 200 以较少的热交换损失和较高的热通量运行。

图 2C 示出了沿着旋转轴线 211 观察的图 2A 转子组件 200 的剖面图。TE 模块 201 与外热管 202 和内热管 203 具有良好的热接触。热交换器 204、205（例如图中所示翅片）与热管 202、203 具有良好的热接触。

图 2C 示出了单独的热管部分 202、03 和 TE 模块 201。热工作流体（未示出）流过在外部热交换器翅片 204 和外热管 202 之间的通道 216。类似地，冷工作流体（未示出）流过在内部热交换器翅片 205 和内热管 203 之间的内通道 217。

图 3A 和图 3B 示出了可替换的热电发电机转子组件 300，其中工作流体在大概径向方向上流动。该剖面图示出了与热端热管 302 和冷端热管 303 具有良好的热接触的盘状 TE 模块 301。与热端热管 302 具有良好热接触的是一个热交换器 304，而与较冷端热管 303 具有良好的

热接触是一个冷端热交换器 305。转子组件 300 围绕一个中心线 310 旋转并大致关于该中心线对称。

在运行中，在例如图 1 中电机的驱动下，转子组件 300 围绕中心线 310 旋转。热工作流体（未示出）在热端热交换器 304（在本描述中为翅片）和热端热管 302 之间大概径向地向外流过，热工作流体把热传递到热交换器 304 和热端热管 302，然后传递到 TE 模块 301。类似地，冷工作流体（未示出）穿过冷端热交换器 305 和较冷端热管 303 大概径向地向外流过，冷工作流体从 TE 模块 301 把通过较冷端热管 303 对流传热的热散去。从较热端热管 302 流动到 TE 模块 301 并穿过较冷端热管 303 流出的一部分热通量通过 TE 模块 301 转换为电能。

有优势的是，热管 302、303 的旋转（在该实施例中设计为扁平的管状截面）起到风扇叶片的作用，把热和冷工作流体（未示出）向外抽吸。有优势的是，热交换器 304、305 和热管 302、303 设计成使热交换和风扇流体抽吸作用最佳化。因此，转子组件 300 既作为发电机，也作为工作流体泵。

图 3B 示出了穿过图 3A 所示转子组件 300 的热管的更详细剖视图 311。TE 模块 301 由 TE 元件 309 和电路 310 组成。TE 模块 301 与热管 302、303 具有良好的热接触。正如图 2 结构的情况，较热端热管 302 由密封壳 312 组成，其中容纳具有界面 314 的液相 306 和汽相的流体。同样地，较冷端热管 303 由密封壳 313 组成，其中容纳具有界面 315 的液相 307 和汽相的流体。热交换器翅片 304、305 与热管 302、303 具有良好的热连通。箭头 308 指向的是当该旋转组件围绕轴线 310 旋转时产生的向外的力的方向。

在运行中，该向外的力向外推动热管 302、303 内的热交换流体的液相，形成液相 306、307 和界面 314 以及 315。来自流过热端热交换器 304 的热端工作流体（未示出）的热通量使一部分流体 306 蒸发，蒸发掉的流体会在 TE 模块 301 界面处的较热端热管壳 312 处凝结。类似地，一部分热通量穿过 TE 模块 301 到达与较冷端热管壳 313 的界面，并到达较冷端热管流体 307，使流体 307 沸腾。当热通过传递转移到较冷端热交换器 305 并到达较冷端工作流体（未示出）时，汽相在冷端热管壳 313 内部的凝结。这个传热过程类似于在图 2A、2B 以及 2C 中

详细描述的传热过程。

图 4 示出了另一个旋转发电机 400 的一侧的剖面图。TE 模块 401 热连接到较冷端热交换器 402 和较热端热交换器 403。在示出的实施例中，较冷端热交换器 402 具有多段热管 404 和翅片 406。类似地，较热端热交换器 403 具有多段热管 405 和翅片 407。较冷工作流体 408、410 被封闭在由绝缘体 416、423、424 和管道 412 形成的腔内。类似地，较热工作流体 414 和 415 由绝缘体 423、424 和外部管道 411 封闭。转子绝缘体 416 刚性地连接到电机转子 417、交换器 402 的内部，从而连接到 TE 模块 401 和热交换器 403。导线 420 和覆盖物 425 刚性地连接到 TE 模块 401 上。类似地，风扇叶片组件 413 刚性地附着于 TE 模块 401 上。一个轴组件 419 附着到电机转子 417 以及轴承 418 上。一个集流环组件 421 与轴组件 419 之间电气连通。绝缘体 423 和 424 设计成迷宫式密封 422。辐条 409 把最左侧轴承 418 连接到绝缘体 424 上和管道 411 上。

由电机转子 417，绝缘体 416、423，热管 404、405，TE 模块 401，风扇叶片 413，导线 420，轴 419 和覆盖物 425 形成的组件作为一个单元旋转。风扇叶片 413 的旋转为热和冷工作流体 408、410、414、415 提供了动力。

热工作流体 414 从右侧进入并把热能传递到热端热交换器 403，然后传递到 TE 模块 401。通过风扇叶片 413 的旋转来驱动热工作流体 414 的流动。类似地，较冷工作流体 408 从右侧进入并吸取来自较冷端热交换器 402 和 TE 模块 401 的废热能量。产生的电能通过导线 420 并通过轴组件 419 和集流环组件 421 从旋转部分传送出，如图 1F 中所详细描述的。

热管 404、405 被分段，以把一部分从另一部分热绝缘开，其目的在发明名称为 "Improved Efficiency Thermoelectrics Utilizing Thermal Isolation"、于 2001 年 4 月 21 日提交的申请号 09/844,818 的美国专利申请中描述，此处将该申请以引用方式并入。在热管 404、405 内的热交换通过如上所述的离心加速度而得到提高，从而提高的系统运行的热能输送效率以及可接收的功率密度。通过利用离心力以提高热交换，使整个设备更加紧凑，同时可采用在高的热功率密度下有利地运行的

热电材料。

密封件 422 表示那些通过移到固定边界而适当地把热流体 414 从冷流体 408 隔离的任何密封结构。在一些结构中，与进口几何形状结合的风扇 413 的抽吸能力可取消对密封件 422 的需要。可替换地，如果风扇叶片 413 的外部的替代机构（未示出）提供通过热交换器 402、403 抽吸工作流体 408、414 的力，则密封件 422 可起到把较热和较冷工作流体 408、414 分离的作用。在这样实施例中，可以省略风扇 413 或者它的功能通过可替换的流体泵机构来提供。

图 5 示出了将热交换器作为风扇叶片的发电机结构。该 TE 模块和热交换器在原理上与图 3A 和图 3B 中的类似。转子组件 500 由 TE 模块 501，较冷流体热交换器 502，较热流体热交换器 503，绝缘体 515、517，辐条 508 和电机转子 509 组成，所有这些都刚性地彼此连接，以形成一个围绕轴 510 旋转的刚体单元。较冷流体热交换器 502 具有与翅片 504 具有良好热接触的热管。类似地，较热流体热交换器 503 与翅片 505 具有良好热接触的热管。绝缘体 515、517 和管道 507 形成限制较热工作流体 511、512 的腔。类似地，绝缘体 515、517 和管道 506 形成限制较冷工作流体 513、514 的腔。密封件 516 形成在绝缘体 515、517 内，以把较热工作流体 511 和较冷工作流体 513 隔开。

通过电机转子 509 提供动力使热交换器 502、503 旋转，组件 500 运行起来，随后热交换器产生抽吸作用，以通过热交换器 502、503 把热和冷流体吸出，在 TE 模块 501 上形成温度梯度。通过图 1A—1E 所示的设计，或者通过在该环境中可接受的任何其他的传递方法，将所产生的电能取出并传递到外部电路。

有优势的是，可以在单个组件内使用若干工作流体。发电机（例如图 4 所示的）可具有几个热端工作流体源，其中每个具有不同的成分和/或温度。这种情况可能发生，例如在废物发电系统中具有若干待处理废气源，该废气源具有来自锅炉、干燥炉等的废热流体。可在沿旋转轴线的一个位置处通过壁 411 引入这种多工作流体的源，其中在所述的一个位置处，热端工作流体 414 已经冷却到一定的温度，该温度使工作流体 414 与增加的工作流体结合时，可有利地产生电能。在这种环境中，热通量可在一些热管 404、405 和翅片 406、407 中变化，

以便 TE 模块 101，热管 404、405 和翅片 406、407 的结构、尺寸、形状和/或材料在流体流动的方向上的一段和下一段不同。此外，绝缘体和翅片结构可用于隔离不同的流体。最后，一种以上的冷端工作流体 408、410 可结合至少一种热端工作流体来使用。

图 6 的结构同样采用如图 4 所示的热管。图 6 中组件 600 利用了申请号为 09/844,818 美国专利申请中公开的逆流，此处通过引用将该申请并入。图 6 示出了又一个旋转热电发电机的剖面图。有优势的是，该实施例同样采用热绝缘。发电机组件 600 具有一个转子组件，该转子组件包括：一个 TE 模块 601、成对的热绝缘热交换器 602、603，带有覆盖物 607、614 的风扇组件 610、613，绝缘体 615、616、619、620、621，电机转子 617 和轴组件 618。

较热端工作流体 611、612 通过绝缘体 609、615、619、620、621 限制。较冷端工作流体 604、606 通过绝缘体 609、615、616、619、621 和管道 608 限制。辐条 605 把轴承 622 连接到绝缘体 615 上。

较冷端工作流体 604 从左侧进入，从热交换器 602 中吸收热能，从而使热交换器 602 冷却，然后通过风扇叶片 610 的离心作用被径向地向外抽吸。风扇叶片 610 可以或者不可以包括内罩 607，该内罩 607 可被用于提供结构支撑，并作为局部密封件，以保持较热工作流体 611 与较冷工作流体 606 隔离，同时帮助引导较冷工作流体 606 的流动。较热工作流体 611 沿径向地向内方向进入，把热能传送到较热端热交换器 603，然后在旋转风扇叶片 613 作用下被径向地向外抽吸。可采用覆盖物 614 以增加风扇叶片 613 的结构刚度，并作为局部的密封件，以把较冷工作流体 604 与排出的较热工作流体 612 隔离开，并帮助引导较热工作流体 612 的流动。

图 7 示出了又一个旋转热电发电机的剖面图。图 7 的结构设计成在逆流中运行。该热交换器可以或者不可以包括热管以提高热传递。

图 7 示出了一个径向流动发电机 700。转子组件由 TE 模块 701，热交换器 702、703 组成，其中该热交换器带有翅片 704、705，绝缘体 720，风扇叶片 723，电机转子 718 和轴 719。轴承 721 把轴组件 719 固定到非转动管道 717 内支架 707、辐条 722 和管道 710 上。该较热工作流体 706、709 通过内支架 707、管道 710、绝缘体 720、TE 模块 701

和排放管 711 限制。该较冷工作流体 712、713、714 通过排放管 711、716，绝缘体 720，TE 模块 701 和管道 717 限制。密封件 715 把该较热工作流体 709 从较冷工作流体 712 中隔离出来。

组件 700 利用与图 6 所示的相同的一般类型的逆流运行。该组件与热端热交换器 702 一起在大致径向上运行，其中热端热交换器 702 的翅片 704 作为旋转风扇叶片，以抽吸较热工作流体 706、709。较冷工作流体 712、713、714 响应于以下两个力的总效果，即通过热交换器 703 和翅片 705 产生的径向向外的力以及通过作用于较冷工作流体 713、714 上的风扇叶片 723 的旋转而产生的较大的径向向外的力。该反作用力的总效果将使流体 712、713、714 在图 7 所示方向上流动。由于所述的较大的叶片力由风扇叶片 723 位置而形成，因此与具有翅片 705 的热交换器 703 相比，风扇叶片更长而且径向地向外延伸远离更远。可替换地，流体 706、709、712、713、714 运动的任何部分可通过外部风扇或者泵来产生。在这样的结构中，风扇 723 可以被去掉，当然并不是必须被去掉。

通过图 1 和图 5—图 6 所述的方法和结构或者任何其他优选方式来产生并传输电能。

图 8 示出了结合了径向和轴向几何形状的发电机。该总体结构 800 具有一个旋转部分，该部分由 TE 模块 801，热交换器 802、803，热分流器 804，绝缘体 811，风道 808，风扇组件 809，覆盖物 807，电机转子 817 和轴组件 818 组成。通过覆盖物 807、绝缘体 811、风道 808 以及壁 810 来限制较冷工作流体 805、815。通过旁路 804，覆盖物 807，绝缘体 811、816 以及壁 814 来限制较热工作流体 812、813。轴承 819 把回转轴组件 818 连接到辐条 806 和壁 810。

除较冷工作流体 805 在大致轴向的方向流过热交换器 802 以外，运行与前面在图 7 中所述的类似。如在此处所示，热分流器 804 和热交换器 802、803 可以或者不可以包括热管。此外，该热交换器 802、803、TE 模块 801 和热分流器 804 可以或者不可以设计成由热绝缘元件制成，其中该热绝缘元件描述在名称为 "Improved Thermoelectrics Utilizing Thermal Isolation"、2001 年 4 月 27 日提交的申请号为 09/844,818 的美国专利申请中，此处通过引用将该专利申请并入。

图 9 示出了集成的 TE 模块和热交换器。组件 900 是一个环状阵列的一段，该环状阵列包括具有转动中心 909 的 TE 模块 901、具有翅片 904 的热交换器 902、具有翅片 905 的热交换器 903 以及和热绝缘体 908。间隙 906、907 电绝缘各段翅片 904、905，其中翅片 904、905 连接到独立的热交换器部件 902、903。当运行时，例如，一个热交换器 903 被冷却，而另一个热交换器 902 被加热，形成贯穿 TE 模块 901 的热梯度。通过所生成的热流产生电能。

在该结构中，TE 模块 901 可以是单独的 TE 部件 901，其具有电流 910，电流 910 在大致圆形的方向上绕一个环流动，组件 900 是此环的一部分。在 TE 模块 901 为单独的热电元件的那个部分中，为了流体 910 沿所示方向流动，元件 901 为 N 型和 P 型二者择一。有优势的是，热交换器 902、903 在相邻的 TE 元件 901 之间的部分上是可导电的。如果翅片 904、905 是可导电的，并且与热交换器 902、903 具有良好的电接触，则相邻翅片必须像间隙 906、907 所示的那样在彼此之间进行电绝缘。可通过在一个或者多个位置中断该环形电流，并在中断位置处连接到如图 7 所述电路上，从而取出电能。

可替换地，元件组可位于相邻的热交换器 903、902 之间，从而形成 TE 模块 901。这种 TE 模块 901 可串联和/或并联地电连接，并且可具有用于电绝缘的内部装置，从而不需要间隙 906、907。在热和冷端之间的热绝缘可通过绝缘体 908 保持。

如果热交换器 902、903 包括热管，则有优势的是，工作流体冷却内部热交换器 903，而加热外部热交换器 902。

图 10 示出了热电发电机系统 1000 的方框图。如图所示，该系统具有较热工作流体源 1002、较冷工作流体源 1004、发电机组件 1006、排放流体出口 1008 和电能出口 1010。可以利用上面公开的任何实施例，或者利用具有此处所述原理的任何类似实施例来配置发电机组件 1006。较热流体 1002 源为发电机组件 1006 提供热源。较冷流体 1004 源提供温度足够低的工作流体源，以在发电机组件 1006 中形成贯穿该热电模块的有利的温度梯度。废工作流体在出口 1008 排出发电机组件。在能量出口 1010 提供来自发电机组件 1006 的电能。系统 1000 仅仅是一般性的示例性系统，严格地，在这种方式中，本发明的发电机组件

应并入到发电系统中。

在本申请中各个单独的示例可以任何有利的方式组合。这样的组合属于本发明范围。类似地，发明名称为"Improved Efficiency Thermoelectrics Utilizing Thermal Isolation"的、申请号为09/844,818的美国专利申请，以及有关旋转热交换器的发明名称为"Thermoelectric Heat Exchanger"的申请号为09/971539的美国专利申请中的技术可与本申请结合使用以产生本发明所述的变化，而且这也属于本发明的范围。例如，在一个实施例中，热和/或冷端的热交换器被按照部分设置，这些部分与该热交换器的其他部分基本热绝缘。类似地，在一个实施例中，该热电模块的多个部分与该热电模块的其他部分热绝缘。

因此，本发明并不局限于任何特定的实施例或者具体的公开内容。相反地，发明由所附的权利要求限定，其中的术语具有常规的和习惯的含义。

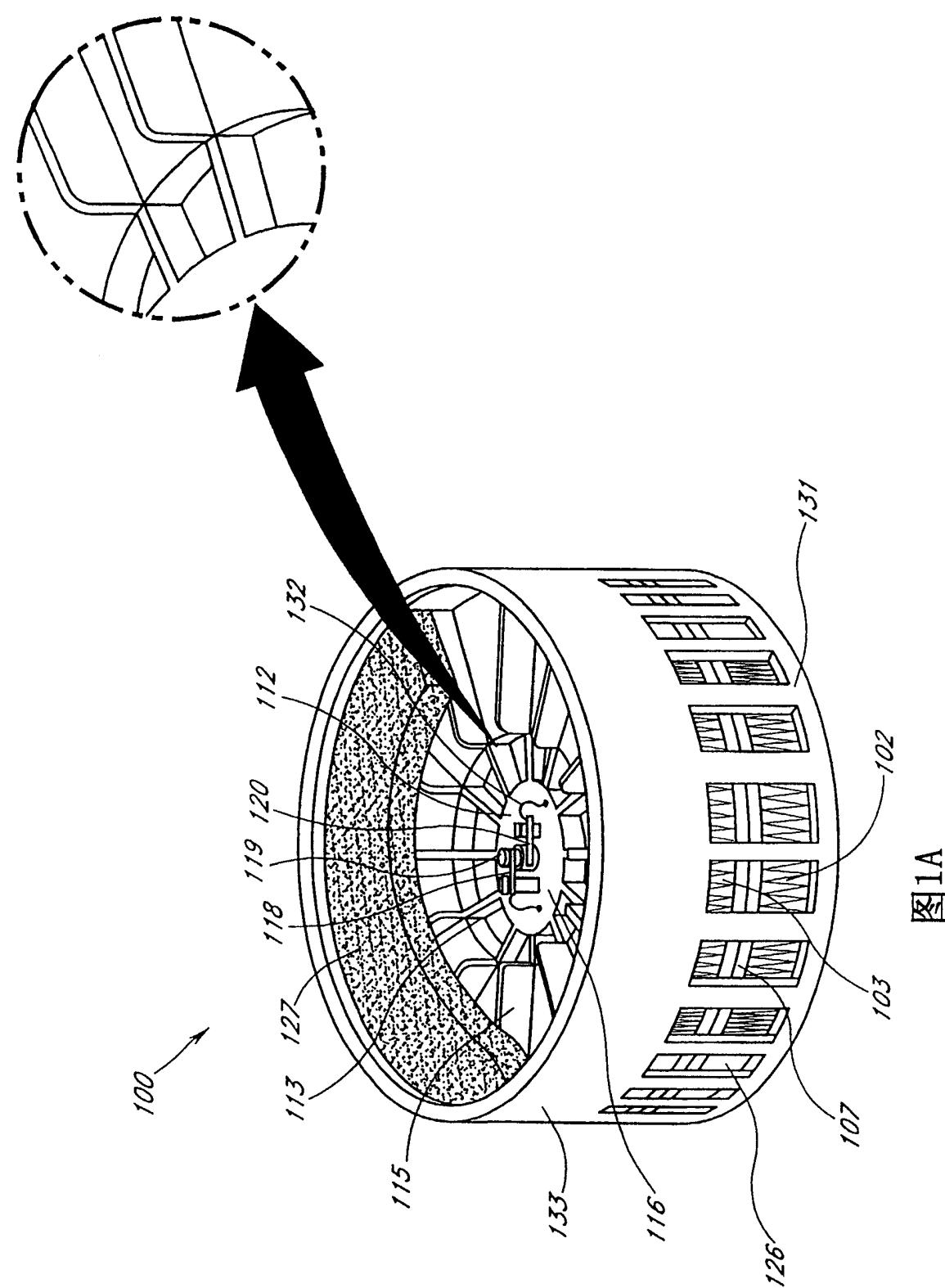


图1A

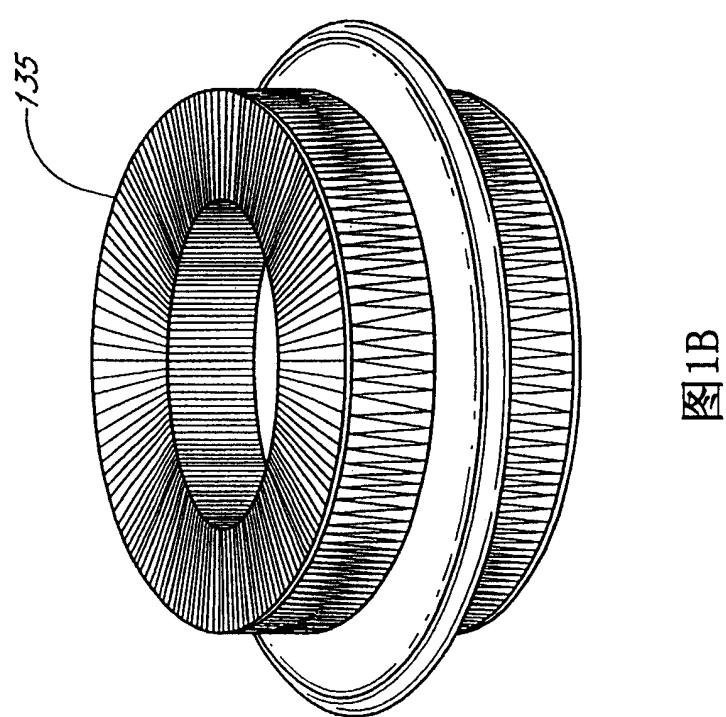


图1B

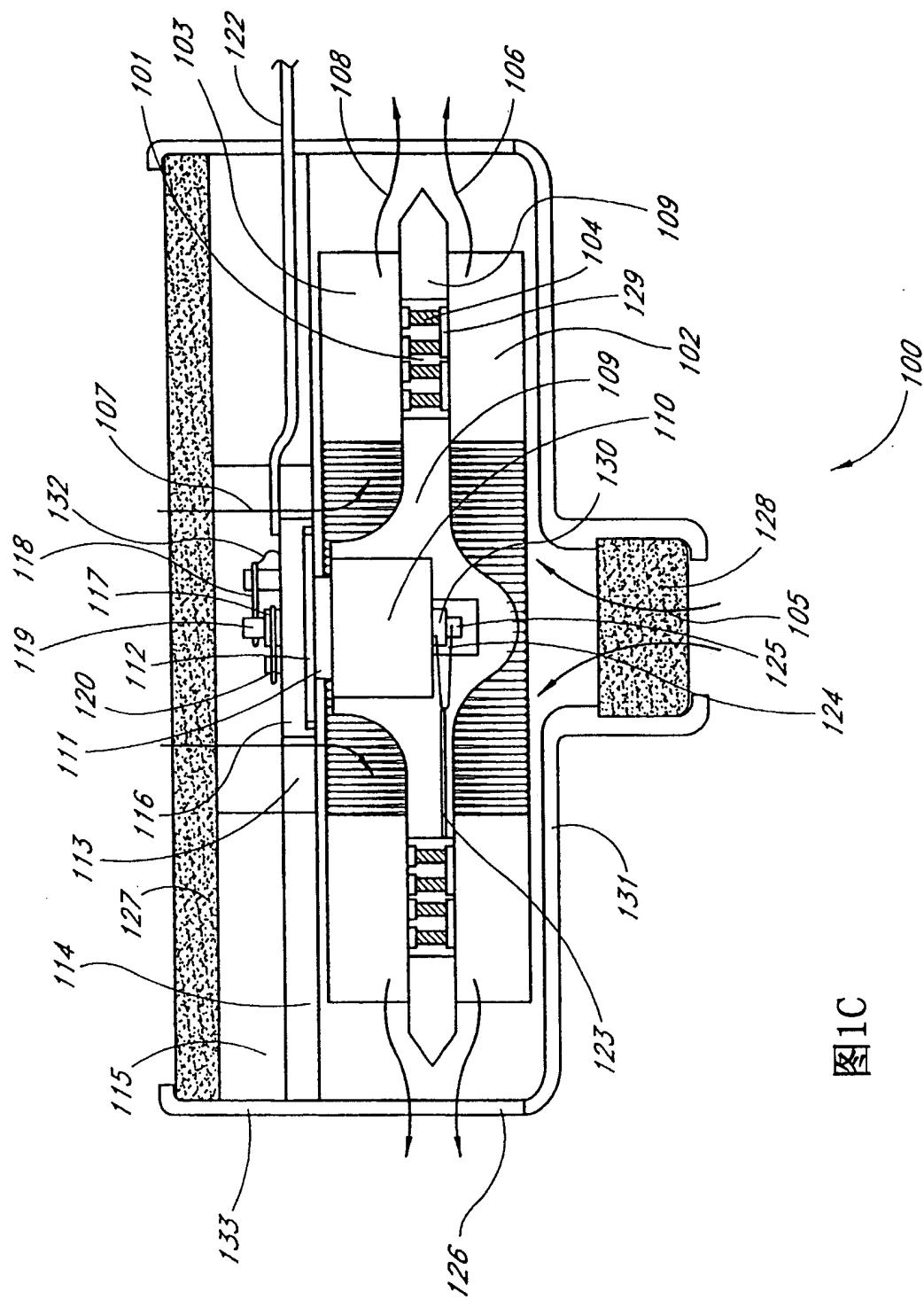


图1C

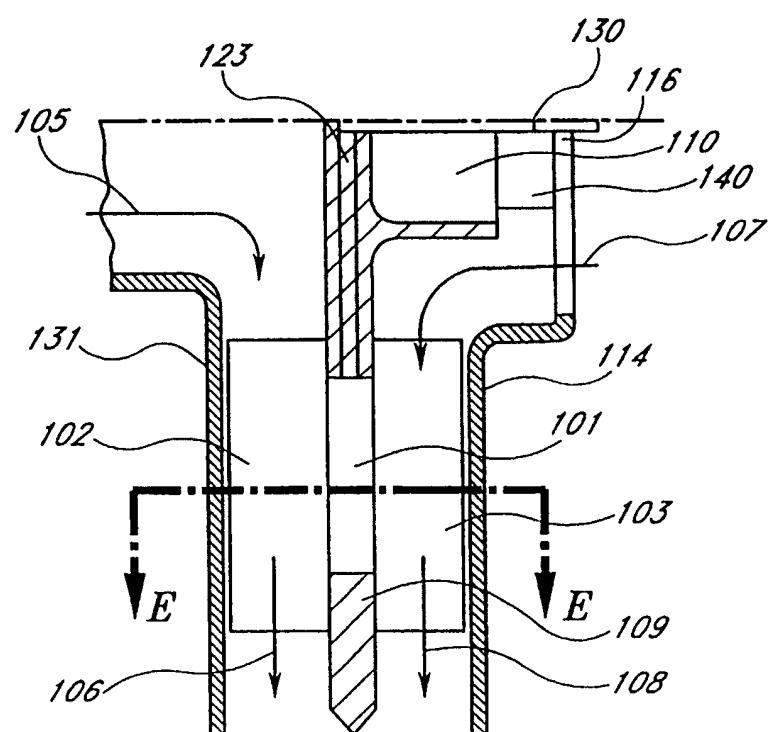


图1D

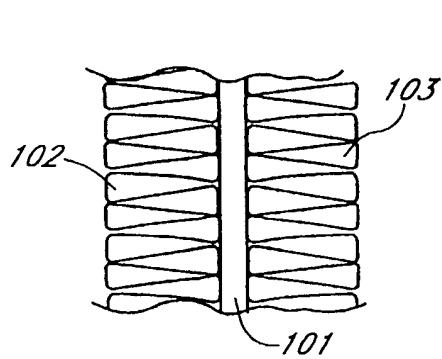


图1E

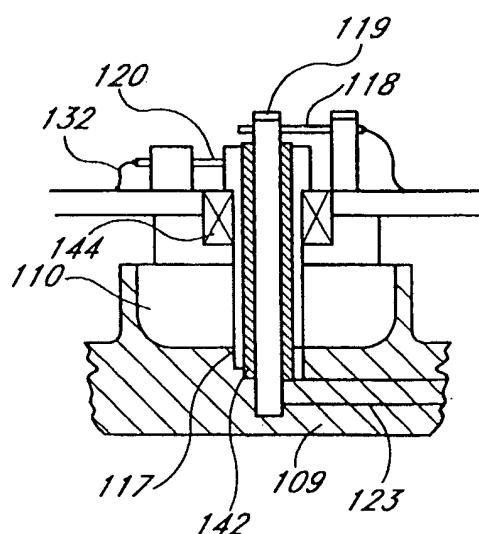


图1F

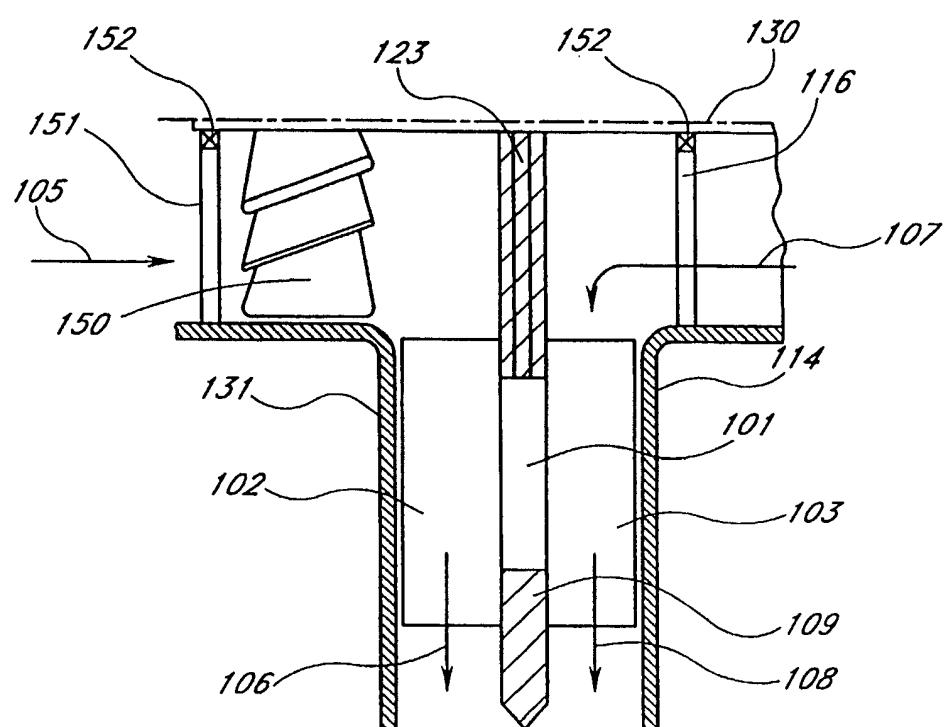


图1G

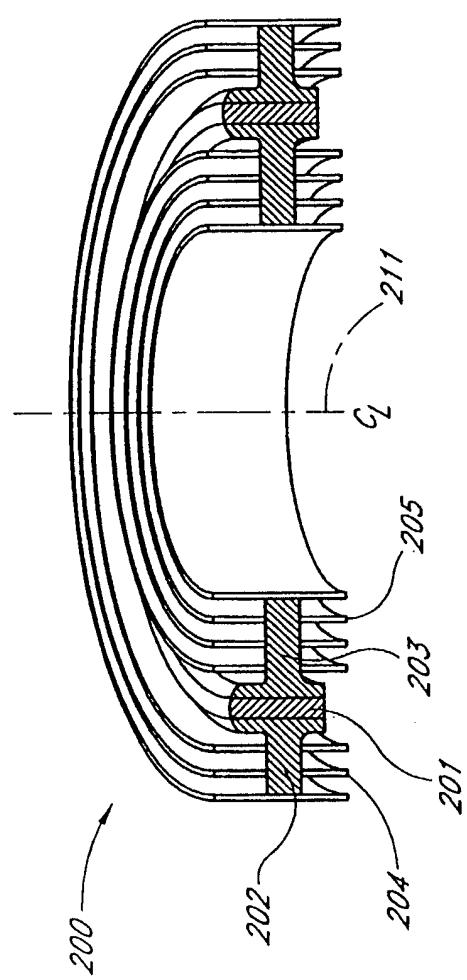


图2A

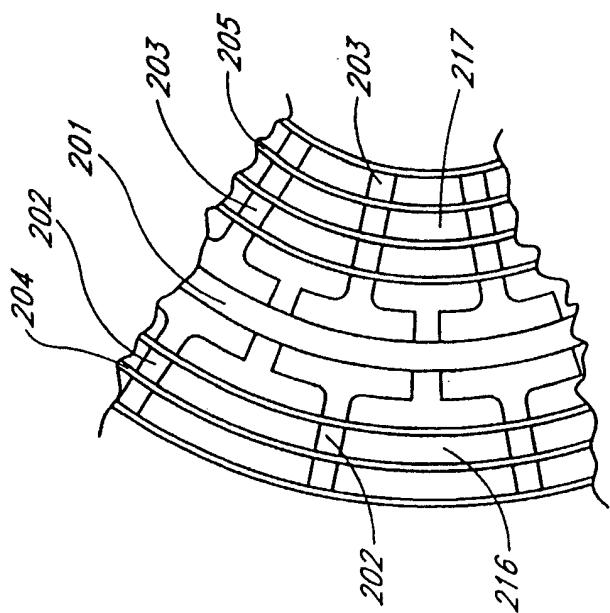


图2C

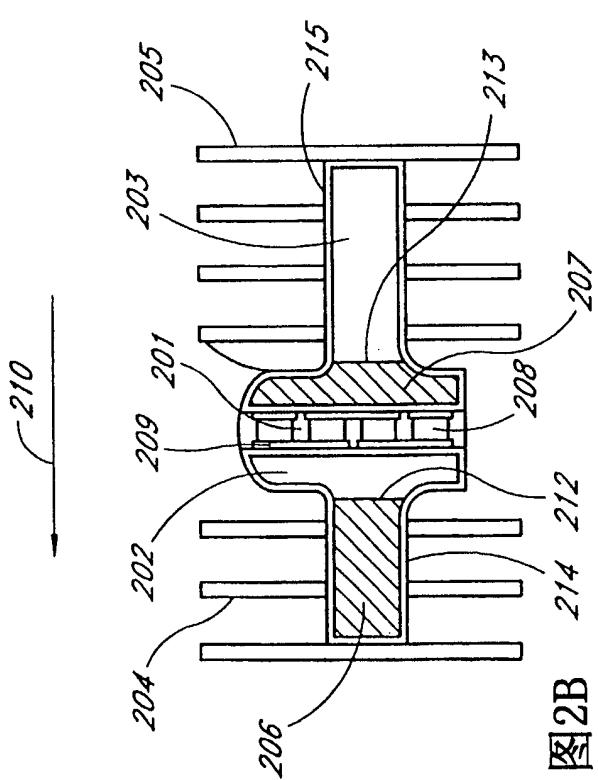


图2B

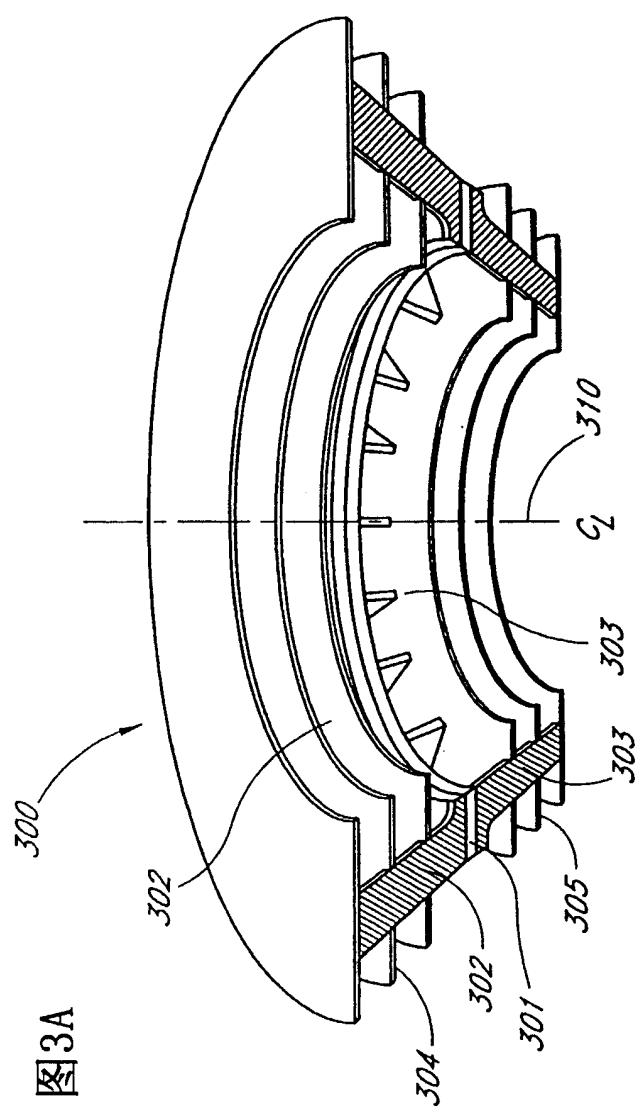


图3A

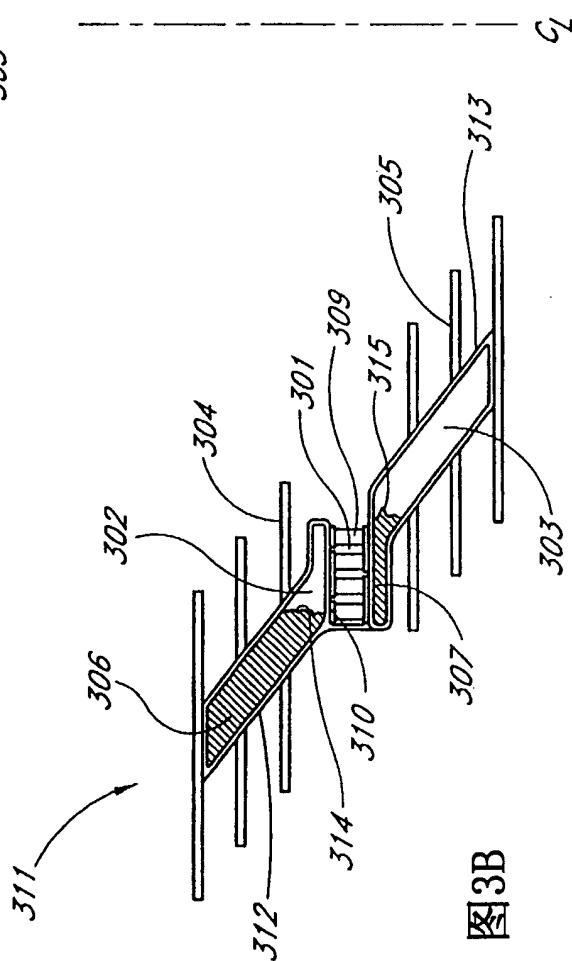


图3B

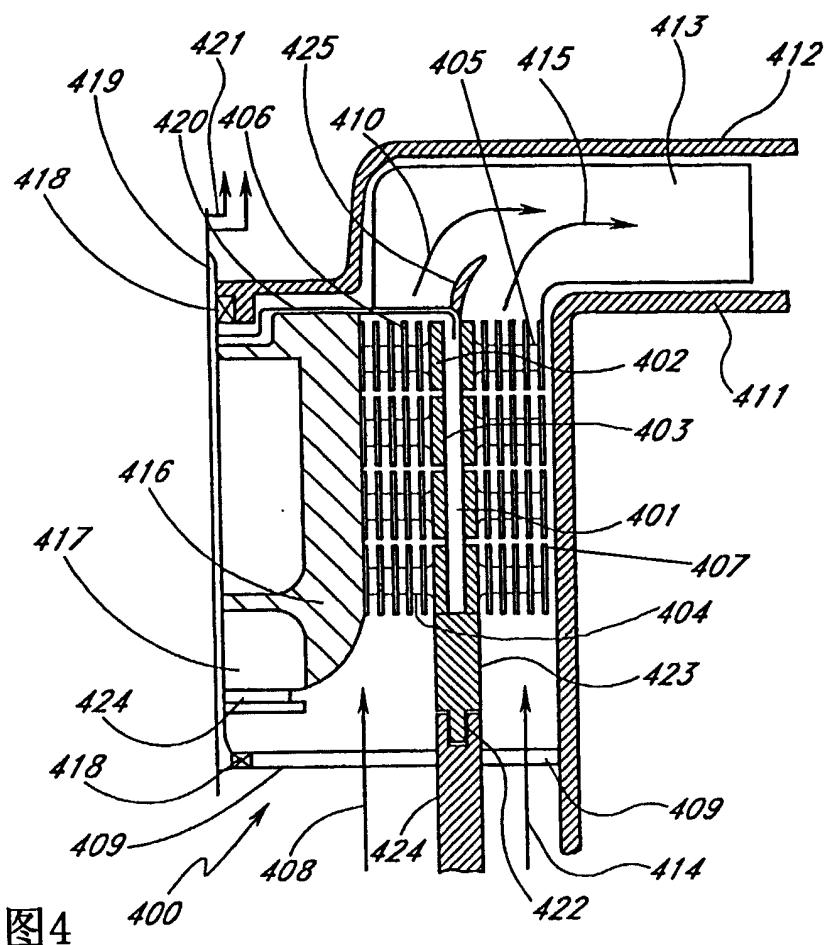


图4

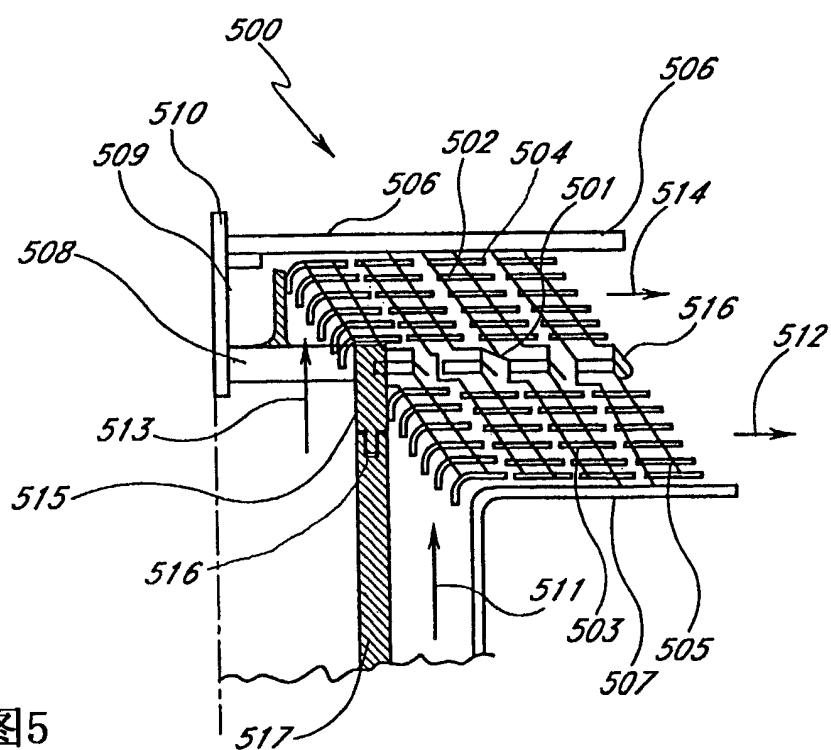


图5

图6

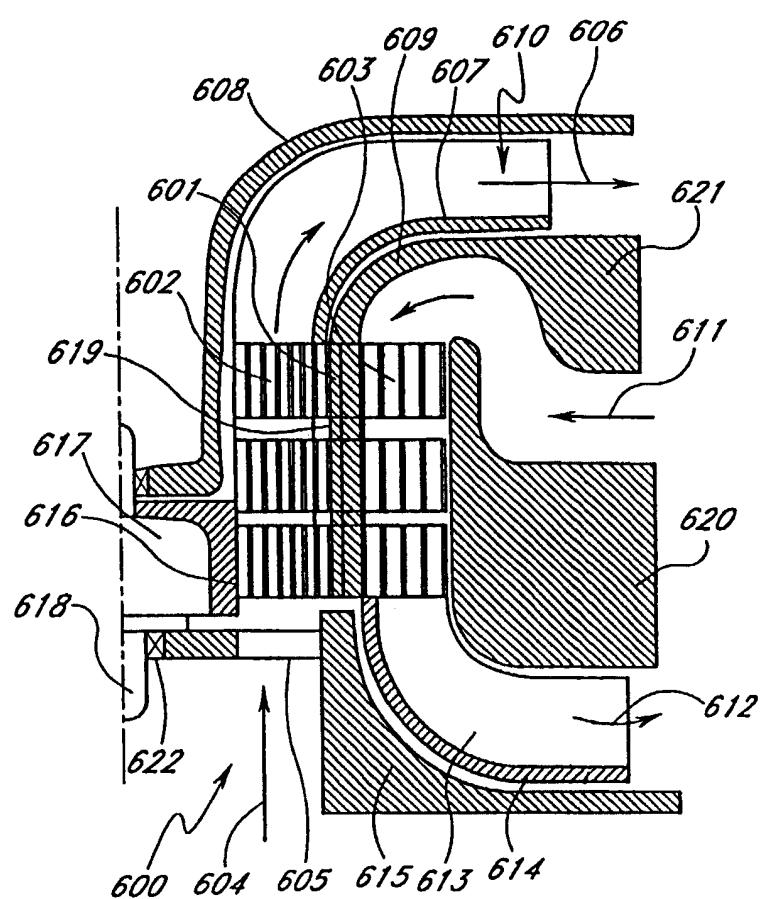


图7

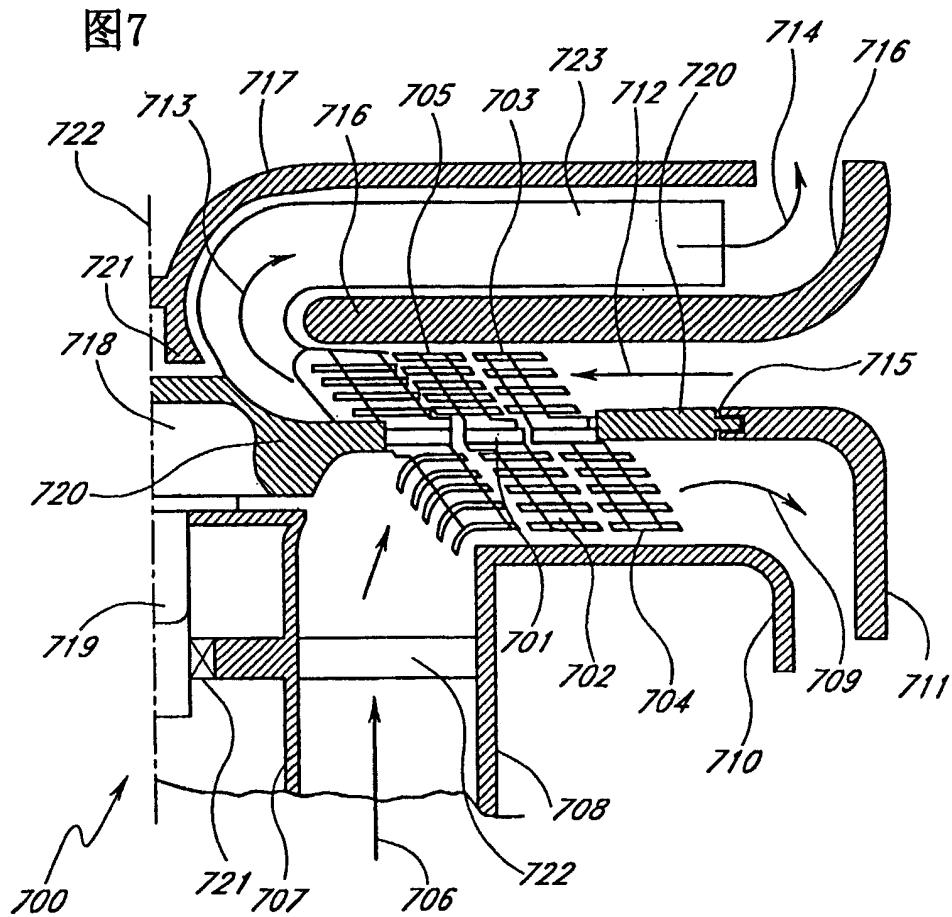


图8

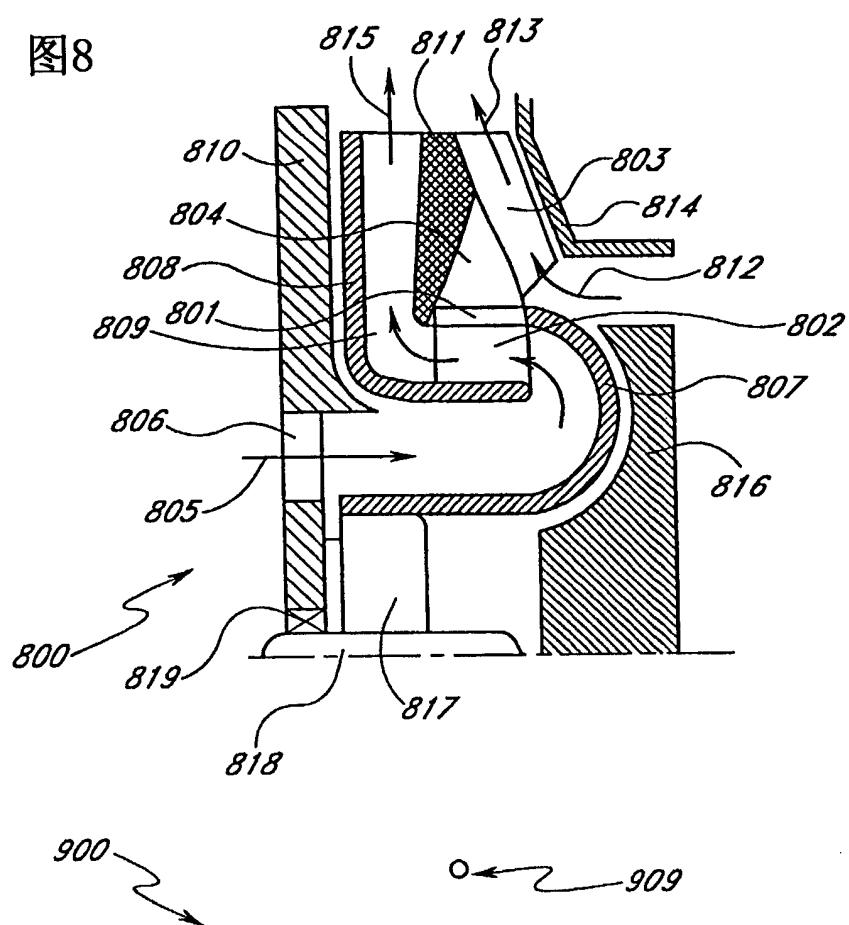
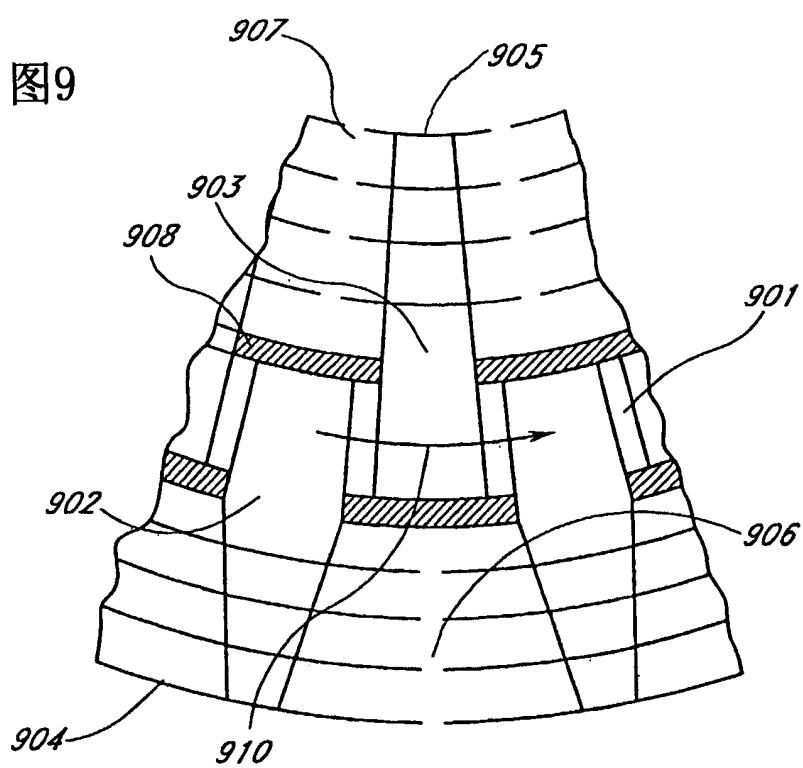


图9



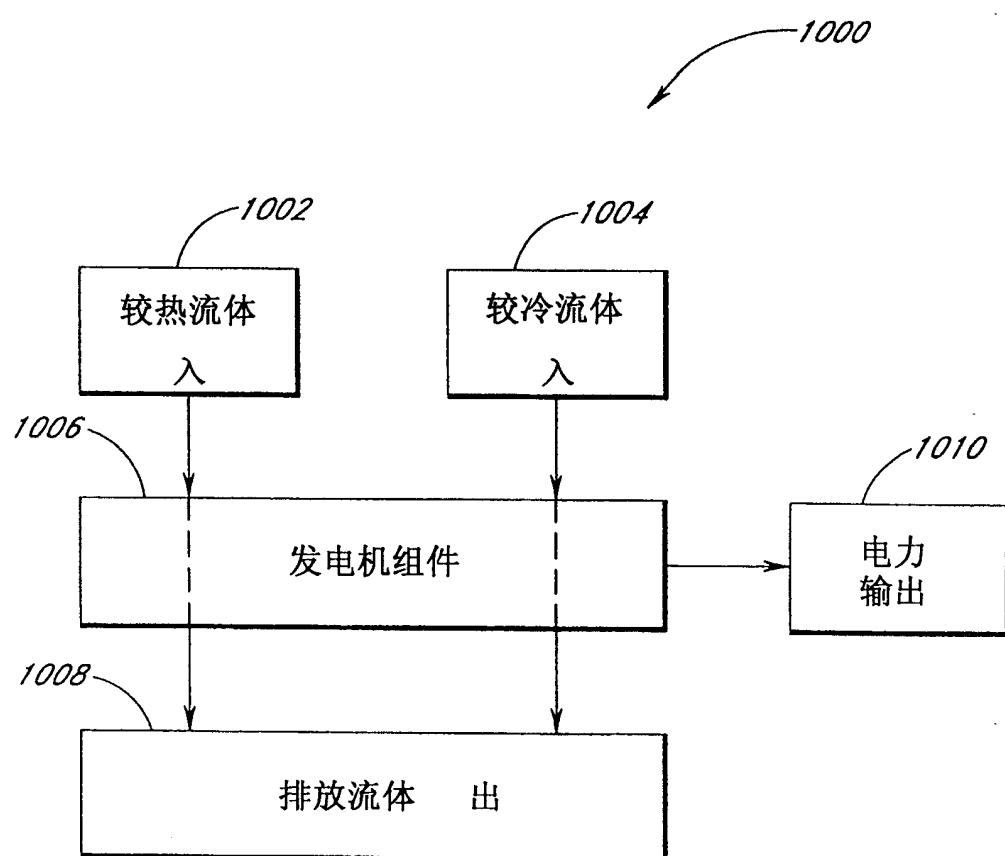


图10