

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

F02G 1/055 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200480012694.5

[45] 授权公告日 2008 年 2 月 20 日

[11] 授权公告号 CN 100370128C

[22] 申请日 2004.4.28

[21] 申请号 200480012694.5

[30] 优先权

[32] 2003.5.13 [33] JP [31] 134131/2003

[32] 2004.4.6 [33] JP [31] 112485/2004

[86] 国际申请 PCT/JP2004/006151 2004.4.28

[87] 国际公布 WO2004/101983 日 2004.11.25

[85] 进入国家阶段日期 2005.11.10

[73] 专利权人 本田技研工业株式会社

地址 日本东京

[72] 发明人 森正芳

[56] 参考文献

CN86103752A 1987.4.8

JP1294946A 1989.11.28

JP2000146336A 2000.5.26

JP2000027701A 2000.1.25

审查员 刘畅

[74] 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司

代理人 陈坚

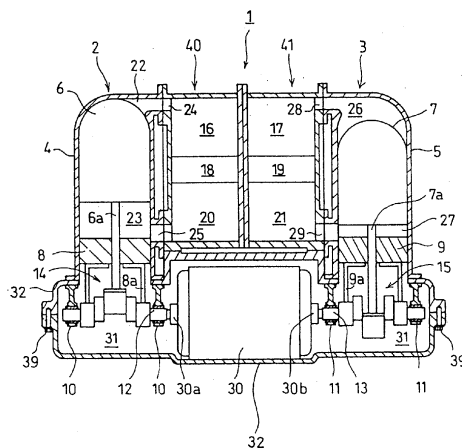
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 7 页

[54] 发明名称

多级斯特林发动机

[57] 摘要

一种安装在汽车上的多级斯特林发动机(1)，其中配气活塞(6, 7)以及动力活塞(8, 9)可滑动地串联装配在该发动机的两个气缸(4, 5)中，并且来自安装在汽车上的内燃机的废气顺序流过气缸(4, 5)，以加热在该斯特林发动机中用作工作流体的氦气。这两个气缸(4, 5)设置成彼此平行，并且加热器(16, 17)、蓄热式热交换器(18, 19)以及冷却器(20, 21)设置在所述气缸(4, 5)之间，从而可以提供扁平且紧凑的斯特林发动机。



1、一种多级斯特林发动机，其包括：

多个气缸（4，5），每个气缸在内部保持有工作流体，并且设有串联设置并装配在该气缸（4，5）中的配气活塞（6，7）和动力活塞（8或9）；多个加热器（16，17），它们分别与所述气缸（4，5）组合，以利用由热源提供的高温加热流体来加热包含在所述多个气缸（4，5）中的工作流体，所述多个加热器（16，17）的每一个与所述多个气缸（4，5）的每一个的一端连接；以及加热流体通道（33，34，35，36），其用于使加热流体通过所述加热器（16，17）；

其特征在于，在所述多个气缸（4，5）的相邻两个之间插设有多个热交换器（40，41），所述多个热交换器（40，41）包括所述多个加热器（16，17）、用于冷却所述多个气缸（4，5）内的工作流体的多个冷却器（20，21）以及多个蓄热器（18，19），每个蓄热器都插设在其中一个加热器（16，17）和其中一个冷却器（20，21）之间；并且所述多个冷却器（20，21）的每一个与所述多个气缸（4，5）的每一个的另一端连接。

2、如权利要求1所述的多级斯特林发动机，其特征在于，还包括：输出轴（12，13），其与装配在所述多个气缸（4，5）中的配气活塞（6，7）和动力活塞（8，9）相连接；与该输出轴（12，13）连接的发电机（30）；以及将该输出轴（12，13）和发电机（30）封装在其中的外壳（32，30c）。

3、如权利要求2所述的多级斯特林发动机，其特征在于，所述多级斯特林发动机具有一发动机外壳（30c），并且用于封装所述输出轴（12，13）和发电机（30）的所述外壳为该发动机外壳（30c）的一部分。

4、如权利要求1所述的多级斯特林发动机，其特征在于，所述加热流体是从内燃机排出的废气，并且所述加热流体通道（33，34，35，36）包括一上游排气管（33，34），该上游排气管在所述气缸（4，5）中的一个气缸（4）的相对两侧延伸，并且连接到与所述一个气缸（4）组合的加热器（16）的相对两侧部分上。

5、如权利要求4所述的多级斯特林发动机，其特征在于，所述加热

流体通道(33, 34, 35, 36)包括一下游排气管(35, 36), 该下游排气管用于在废气已经与所述加热器(16, 17)中的一个加热器(16)中的工作流体进行了热交换之后运送该废气, 并且该下游排气管(35, 36)在所述气缸(4, 5)中的另一气缸(5)的相对两侧延伸。

6、如权利要求1所述的多级斯特林发动机, 其特征在于, 所述多个气缸(4, 5)彼此平行地设置。

7、如权利要求2所述的多级斯特林发动机, 其特征在于, 与所述多个气缸(4, 5)的相应配气活塞(6, 7)和动力活塞(8, 9)连接的所述输出轴(12, 13)对齐, 并且所述发电机(30)安装成与所述输出轴(12, 13)的轴线对齐。

8、如权利要求1所述的多级斯特林发动机, 其特征在于, 所述多个热交换器(40, 41)结合成一个单元。

多级斯特林发动机

技术领域

本发明涉及一种紧凑型多级斯特林发动机，其中加热流体加热多个串联气缸，更具体地涉及一种汽车多级斯特林发动机，其采用从安装在汽车上的内燃机排出的废气作为加热流体。

背景技术

斯特林发动机大致分成如图 7A 至图 7D 中所示的四组。

(1) 在图 7A 中所示的 α 型斯特林发动机具有：按顺序布置的加热器 H、蓄热式热交换器 R 和冷却器 C 的串联组件；两个气缸 S_1 和 S_2 ；以及分别可滑动地装配在这些气缸 S_1 和 S_2 中的动力缸 PP_1 和 PP_2 。加热器 H、蓄热式热交换器 R 和冷却器 C 的串联组件与气缸 S_1 和 S_2 中的顶部空间连接。

(2) 在图 7B 中所示的 β 型斯特林发动机具有：气缸 S；装配在该气缸 S 中的配气活塞 (displacer piston) DP；动力活塞 PP，其与配气活塞 DP 串联连接并且装配在气缸 S 中；以及按顺序布置的加热器 H、蓄热式热交换器 R 和冷却器 C 的串联组件。加热器 H、蓄热式热交换器 R 和冷却器 C 的串联组件，与在气缸 S 中在配气活塞 DP 上方延伸的空间 S_A 和在配气活塞 DP 下方延伸的空间 S_B 连接。空间 S_A 和空间 S_B 通过加热器 H、蓄热式热交换器 R 和冷却器 C 的串联组件而彼此连通。

(3) 在图 7C 中所示的 γ 型斯特林发动机具有：配气缸 DS；配气活塞 DP，其装配在该配气缸 DS 中并且在配气缸 DS 中限定了空间 DS_A 和 DS_B ；动力缸 PS；动力活塞 PP，其装配在动力缸 PS 中并且在动力缸 PS 中限定了空间 PS_A ；以及加热器 H、蓄热式热交换器 R 和冷却器 C 的串联组件。加热器 H、蓄热式热交换器 R 和冷却器 C 的串联组件与那两个空间 DS_A 和 DS_B 连接。在配气缸 DS 中的空间 DS_B 与在动力缸 PS 中的空间 PS_A 彼此连通。

(4) 在图 7D 中所示的双作用斯特林发动机具有：四个交错气缸 S_1 、

S_2 、 S_3 和 S_4 ；四个串联组件，每个串联组件都由加热器 H、蓄热式热交换器 R 和冷却器 C 构成；旋转斜板（未示出），它们分别设置在气缸 S_1 、 S_2 、 S_3 和 S_4 的中间部分内；以及动力活塞 PP_1 、 PP_2 、 PP_3 和 PP_4 ，它们分别设置在气缸 S_1 、 S_2 、 S_3 和 S_4 中并且与旋转斜板互锁。由加热器 H、蓄热式热交换器 R 和冷却器 C 构成的每个串联组件与在其中一个相邻气缸中的顶部空间 S_A 和在另一个气缸中的底部空间 S_B 连接。

在 JP 1-294946A 中所公开的废热利用系统包括水冷内燃机和两个与该水冷内燃机组合的 β 型斯特林发动机。这两个 β 型斯特林发动机的一个利用由用于冷却水冷内燃机的冷却水提供的热量进行操作，而另一个 β 型斯特林发动机利用由从水冷内燃机排出的废气提供的热量进行操作。

这种采用冷却水和废气作为 β 型斯特林发动机的热源 of 的已知废热利用系统需要具有高密封效果的复杂管道。因此，难以以低成本形成具有小型轻便结构的废热利用系统。

虽然该废热利用系统设有两个 β 型斯特林发动机，但是因为其中一个 β 型斯特林发动机采用了其温度低于废气温度并且为 100°C 量级的冷却水作为热源，所以输出和效率较低。

作出本发明以克服那些困难，因此本发明的目的在于提供一种成本低、轻便、紧凑、可靠并且能够高效地产生出高输出的多级斯特林发动机。

发明内容

本发明提供了一种多级斯特林发动机，其包括：多个气缸，每个气缸在内部保持有工作流体，并且设有串联设置并装配在该气缸中的配气活塞和动力活塞；多个加热器，它们分别与所述气缸组合，以利用由热源提供的高温加热流体来加热包含在所述多个气缸中的工作流体，所述多个加热器的每一个与所述多个气缸的每一个的一端连接；以及加热流体通道，其用于使加热流体通过所述加热器；其特征在于，在所述多个气缸的相邻两个之间插设有多个热交换器，所述多个热交换器包括所述多个加热器、用于冷却所述多个气缸内的工作流体的多个冷却器以及多

个蓄热器，每个蓄热器都插设在其中一个加热器与其中一个冷却器之间；并且所述多个冷却器的每一个与所述多个气缸的每一个的另一端连接。

在根据本发明的多级斯特林发动机中，高温加热流体顺序流过用于加热保持在所述多个气缸中的工作流体的所述多个加热器，以加热该工作流体。因此，与设有单个气缸的单级斯特林发动机相比较，该多级斯特林发动机能够以高回收率回收加热流体的能量，以提高该多级斯特林发动机的输出。

由于均包括加热器、蓄热器和冷却器的每个热交换器插设在所述多个气缸的相邻两个之间，因此该多级斯特林发动机可以形成为简单、小型、轻便的结构。只使用一种加热流体，这样简化了结构并且降低了成本。

根据本发明的斯特林发动机还可以包括：输出轴，其与装配在所述多个气缸中的配气活塞和动力活塞相连接；与该输出轴连接的发电机；以及将该输出轴和发电机封装在其中的外壳。

因此，该多级斯特林发动机的输出轴不必设置有密封装置，从而不会受到在输出轴设有密封装置的情况下可能作用在输出轴上的磨损。因此，改善了该多级斯特林发动机的输出和耐久性，可以采用原子量较小的易泄漏气体作为工作流体，可以降低对工作流体的流动阻力，并且可以避免由于工作流体泄漏而导致的操作成本增大。

根据本发明，该多级斯特林发动机可以具有一发动机外壳，并且用于封装所述输出轴和发电机的所述外壳可以作为该发动机外壳的一部分。因此，可以简化组成部件，并且可以减少组成部件的数量从而形成结构紧凑、重量轻的多级斯特林发动机，并且可有助于降低成本。

优选地，所述加热流体是从内燃机排出的废气，并且所述加热流体通道包括一上游排气管，该上游排气管在所述气缸中的一个气缸的相对两侧延伸，并且连接到与所述一个气缸组合的加热器的相对两侧部分上。

这样，该高温废气用作加热流体，并且加热流体顺序流过所述多个加热器。因此，废气的热量可以得到有效利用，并且可以有效地转变成

电能。因此，可以减小该多级斯特林发动机的厚度，并且可以减小在相邻气缸之间的空间以形成小尺寸的多级斯特林发动机。

优选地，其中，所述加热流体通道包括一下游排气管，该下游排气管用于在废气已经与其中一个加热器中的工作流体进行了热交换之后运送该废气，并且该下游排气管在所述气缸中的另一气缸的相对两侧延伸。

因此，可以减小该多级斯特林发动机的厚度，并且可以减小在相邻气缸之间的空间以形成小尺寸的多级斯特林发动机。

在根据本发明优选实施例的多级斯特林发动机中，所述多个气缸彼此平行地设置。另外，与所述多个气缸的相应配气活塞和动力活塞连接的所述输出轴对齐，并且所述发电机安装成与所述输出轴的轴线对齐。所述多个热交换器结合成一个单元。

附图说明

图 1 为在本发明第一实施例中的多级斯特林发动机的侧视图；

图 2 为图 1 中所示的多级斯特林发动机的平面图；

图 3 为图 1 中所示的多级斯特林发动机的正视图；

图 4 为沿图 2 中的线 IV-IV 剖开的纵向剖视图；

图 5 为在本发明第二实施例中的多级斯特林发动机的纵向剖视图；

图 6 为在本发明第三实施例中的多级斯特林发动机的纵向剖视图；

以及

图 7A 至图 7D 为按照类型分的典型传统斯特林发动机的示意图。

具体实施方式

下面将参照图 1 至图 4 对本发明第一实施例中的多级斯特林发动机进行说明。

在本发明第一实施例中的两级斯特林发动机 1 与未示出的汽车内燃机组合。该斯特林发动机 1 利用从内燃机排出并且由未示出的废气排放控制装置净化的废气作为热源，使用由包括在内燃机中的冷却器冷却的

冷却水作为冷源 (heat sink), 并且使用氦气(He)作为工作流体。

参照图 1、图 2 和图 4, 该两级斯特林发动机 1 具有第一级斯特林发动机 2 (其具有立式第一气缸 4) 和立式第二级斯特林发动机 3 (其具有第二气缸 5)。第一热交换器 40 和第二热交换器 41 设置在第一气缸 4 和第二气缸 5 之间。第一气缸 4 和第二气缸 5 设置成彼此平行, 并且间隔开的距离与第一热交换器 40 和第二热交换器 41 的纵向尺寸总和基本上相等。如图 4 所示, 第一配气活塞 6 和第二配气活塞 7 分别可滑动地装配在第一气缸 4 和第二气缸 5 的上部。第一动力活塞 8 和第二动力活塞 9 分别可滑动地装配在第一气缸 4 和第二气缸 5 的下部。分别与第一配气活塞 6 和第二配气活塞 7 连接的活塞杆 6a 和 7a 分别可滑动地贯穿第一动力活塞 8 和第二动力活塞 9。

两个凸轮轴支架 10 安装于第一气缸 4 的下端, 并且两个凸轮轴支架 11 安装于第二气缸 5 的下端。凸轮轴 12 和 13 分别可转动地支承在那对凸轮轴支架 10 和那对凸轮轴支架 11 上。第一配气活塞 6 的活塞杆 6a 和第一动力活塞 8 的活塞杆 8a 通过已知的互锁机构 14 (例如, 十字头机构、菱形机构或止转棒軛 (Scotch yoke) 机构) 与凸轮轴 12 互锁。第二配气活塞 7 的活塞杆 7a 和第二动力活塞 9 的活塞杆 9a 通过与互锁机构 14 类似的已知互锁机构 15 而与凸轮轴 13 互锁。第一配气活塞 6 和第二配气活塞 7 的相应相位分别相对于第一动力活塞 8 和第二动力活塞 9 的相位提前大约 90° 。另外, 在第一配气活塞 6 和第二配气活塞 7 之间存在 180° 的相位角差。

发电机 30 插设在凸轮轴 12 和 13 之间。该发电机 30 具有分别与凸轮轴 12 和 13 连接的旋转轴 30a 和 30b。第一级斯特林发动机 2 和第二级斯特林发动机 3 操作以驱动发电机 30。

第一热交换器 40 和第二热交换器 41 沿纵向, 即沿着如图 4 所示的横向布置在第一气缸 4 和第二气缸 5 之间。第一热交换器 40 具有按照顺序向下布置的第一加热器 16、第一蓄热式热交换器 18 和第一冷却器 20。第二热交换器 41 具有按照顺序向下布置的第二加热器 17、第二蓄热式热交换器 19 和第二冷却器 21。穿过第一热交换器 40 的第一加热器 16、第

一蓄热式热交换器 18 和第一冷却器 20 形成一氦气通道。穿过第二热交换器 41 的第二加热器 17、第二蓄热式热交换器 19 和第二冷却器 21 形成一氦气通道。

第一配气活塞 6 将第一气缸 4 的内部分成第一上腔室 22 和第一下腔室 23。第一上腔室 22 和第一下腔室 23 分别通过连接通道 24 和 25 与第一加热器 16、第一蓄热式热交换器 18 和第一冷却器 20 连通。第二配气活塞 7 将第二气缸 5 的内部分成第二上腔室 26 和第二下腔室 27。第二上腔室 26 和第二下腔室 27 分别通过连接通道 28 和 29 与第二加热器 17、第二蓄热式热交换器 19 和第二冷却器 21 连通。第一上腔室 22、第一下腔室 23、连接通道 24 和 25、第二上腔室 26、第二下腔室 27 以及连接通道 28 和 29 填充有压力为 100atm. (大气压) 量级的高压氦气。

曲柄箱 32 限定有在第一气缸 4、第二腔室 5、第一冷却器 20 和第二冷却器 21 的下方延伸的密封曲柄腔室 31。该曲柄箱 32 具有一上部和一下部, 它们用螺栓 39 紧固在一起。凸轮轴 12 和 13、互锁机构 14 和 15 以及发电机 30 保持在曲柄腔室 31 中。

参照图 2, 设有排气管 33, 其用于运送从未示出的内燃机排出并且经未示出的废气净化器净化的废气。该排气管 33 朝着第一级斯特林发动机 2 延伸并且分叉成多个分支排气管 34。这些分支排气管 34 在第一级斯特林发动机 2 的顶部的相对两侧水平延伸。分支排气管 34 分别穿过第一加热器 16 的左右侧壁, 并且这些分支排气管 34 的下端通入到第一加热器 16 的废气通道中。第一加热器 16 和第二加热器 17 的相应废气通道水平延伸并且连接在一起。分支排气管 35 在第二气缸 5 的顶部的相对两侧延伸, 并且具有分别与第二加热器 17 的左右侧壁连接的上游端、和与排气歧管 36 连接的下游端。在排气歧管 36 的下游端连接有一消音器(未示出)。

参照图 1, 冷却水管 37 与用于冷却循环流过内燃机的冷却水的散热器(未示出)或另一散热器(未示出)连接, 如图 3 所示, 该冷却水管 37 沿着第一斯特林发动机 2 的右侧朝着第二斯特林发动机 3 水平延伸。冷却水管 37 的平行下游端部分分别穿过第一冷却器 20 和第二冷却器 21 的右

侧壁，并且与形成在第一冷却器 20 和第二冷却器 21 中的冷却水通道连接。冷却水回流管 38 的平行上游端部分分别穿过第一冷却器 20 和第二冷却器 21 的左侧壁，并且与第一冷却器 20 和第二冷却器 21 的冷却水通道连接。

由发电机 30 产生的能量用于驱动马达以便驱动内燃机的附件，例如压缩机、冷却水泵、润滑油泵和用于泵送动力转向流体的泵。多余的能量用于给蓄电池(未示出)充电。

在第一实施例中的多级斯特林发动机如图 1 至图 4 中所示那样构成。从内燃机排出并且由废气净化器净化的废气流动通过排气管 33 和左右分支排气管 34，并且流过贯穿第一加热器 16 的左右侧壁的分支排气管 34 的下游端部分而进入第一加热器 16 和第二加热器 17 中。废气将热量传递给在第一加热器 16 和第二加热器 17 中的高压氦气。然后，该废气流通过与第二加热器 17 的左右侧壁连接的一对分支排气管 35 而进入排气歧管 36 中。因此，在第一加热器 16 和第二加热器 17 中垂直流动的氦气被加热。

在流过散热器(未示出)的同时被冷却的冷却水，流过贯穿第一冷却器 20 和第二冷却器 21 的右侧壁的冷却水管 36 而进入第一冷却器 20 和第二冷却器 21 中。冷却水吸收了来自在第一冷却器 20 和第二冷却器 21 中垂直流动的高压氦气的热量。在冷却了氦气之后，该冷却水通过第一冷却器 20 和第二冷却器 21 的左侧壁而排放到冷却水回流管 38 中。

第一配气活塞 6 和第二配气活塞 7 的往复运动的相应相位分别相对于第一动力活塞 8 和第二动力活塞 9 的往复运动的相应相位提前 90° 。在第一配气活塞 6 和第二配气活塞 7 之间的相位角为 180° 。因此，在一级斯特林发动机 2 和二级斯特林发动机 3 中，氦气根据第一上气缸腔室 22 和第二上气缸腔室 26 的相应容积以及第一下气缸腔室 23 和第二下气缸腔室 27 的相应容积的变化，而流过第一加热器 16、第二加热器 17、第一蓄热式热交换器 18、第二蓄热式热交换器 19 以及第一冷却器 20 和第二冷却器 21。因此，氦气在第一上气缸腔室 22 和第二上气缸腔室 26 以及第一下气缸腔室 23 和第二下气缸腔室 27 之间流动。当第一上气缸

腔室 22 的容积增大时,在第一上气缸腔室 22、第一下气缸腔室 23 以及连接通道 24 和 25 中的氦气的压力增大,因此第一动力活塞 8 在氦气压力的作用下向下运动以驱动凸轮轴 12。当第二上气缸腔室 26 的容积增大时,在第二上气缸腔室 26、第二下气缸腔室 27 以及连接通道 28 和 29 中的氦气的压力增大,因此第二动力活塞 9 在氦气压力的作用下向下运动以驱动凸轮轴 13。因此,驱动发电机 30 以产生能量。

由发电机 30 产生的能量用于驱动附件(未示出),或者用于给蓄电池(未示出)充电。

由废气净化器(未示出)净化并且流进第一加热器 16 中的高温废气被用作第一级斯特林发动机 2 的热源。废气的温度在已经将废气的热量传递给第一加热器 16 中的氦气之后下降。然后,废气流进第二加热器 17 中,并且用作第二级斯特林发动机 3 的热源。由于高温废气在两级处用作热源,因此该两级斯特林发动机 1 高效地产生出高能量。

由于第一级斯特林发动机 2 和第二级斯特林发动机 3 的相应第一气缸 4 和第二气缸 5 彼此平行,因此第一加热器 16、第二加热器 17、第一蓄热式热交换器 18、第二蓄热式热交换器 19、第一冷却器 20 和第二冷却器 21 紧密垂直层叠在第一气缸 4 和第二气缸 5 之间。曲柄腔室 31 形成在第一气缸 4、第二气缸 5、第一冷却器 20 和第二冷却器 21 的下方,并且发电机 30 设置在曲柄腔室 31 的中部。因此,该两级斯特林发动机 1 结构紧凑,其形状类似于相对于与图 4 的纸面垂直的方向具有小尺寸的扁平矩形实心体。因此,该两级斯特林发动机 1 可以容易地安装在汽车的狭窄发动机室中或安装在踏板下方的死区中。

相对简单且紧凑的两级斯特林发动机 1 重量轻,并且可以低成本地制造。

第一级斯特林发动机 2、第二级斯特林发动机 3、第一加热器 16、第二加热器 17、第一蓄热式热交换器 18、第二蓄热式热交换器 19、第一冷却器 20、第二冷却器 21 以及发电机 30 封装在单个闭合外壳中,并且没有任何贯穿该外壳的旋转或滑动轴。因此,即使在采用分子量较小并且压力高达 100atm. 的高压氦气作为工作流体的情况下,该高压氦气也不

会泄漏到大气中，因此该两级斯特林发动机 1 不必补充昂贵的氦气，并且能够以较低的操作成本进行操作。由于工作流体为分子量较小的氦气，因此由于工作流体在该两级斯特林发动机 1 中的流动而导致的功率损耗较小，从而可以提高该两级斯特林发动机 1 的输出和效率。

由于发电机 30 插设在第一级斯特林发动机 2 和第二级斯特林发动机 3 之间，因此第一级斯特林发动机 2 和第二级斯特林发动机 3 的相应凸轮轴 12 和 13 较短、抗扭转、重量轻并且耐久。

虽然在图 1 至图 4 所示的两级斯特林发动机 1 的第一热交换器 40 和第二热交换器 41 分开形成，但是第一热交换器 40 和第二热交换器 41 可以安装在单个外壳中，并且，该外壳的内部可以通过相对于如图 5 所示的横向设置在外壳中部处的垂直隔壁 42，而分成分别用于第一热交换器 40 和第二热交换器 41 的空间。当第一热交换器 40 和第二热交换器 41 这样安装在单个外壳中时，可以减少组成部件的数量，从而可以简化结构。因此，该两级斯特林发动机 1 可以形成为较小尺寸，并且以低成本制造。

虽然在图 1 至图 4 中所示的两级斯特林发动机 1 中，发电机 30 安装在由包括上、下半个外壳的曲柄箱 32 限定的曲柄腔室 31 中，但是该发电机 30 可以设有高刚度发电机外壳 30c，并且该发电机外壳 30c 可以用作如图 6 所示的曲柄箱 32 的一部分。当发电机外壳 30c 用作曲柄箱 32 的一部分时，可以明显地减少曲柄箱 32 的重量和材料以实现显著的重量和成本降低。如图 6 所示，将励磁线圈 30d 安装在发电机外壳 30c 的内周边上，并且转子 30e 通过旋转轴 30a 和 30b 而支承在发电机外壳 30c 中的空间的中央部分处。

第一加热器 16 和第二加热器 17 的暴露于废气的壁面可以涂覆有废气净化催化剂，从而将第一加热器 16 和第二加热器 17 还用作废气净化装置。

尽管本发明被描述成应用于 β 型两级斯特林发动机，但是本发明也可以应用于具有三级或更多级的多级斯特林发动机、以及设有多个配气缸和多个动力缸的任意类型的多级斯特林发动机。

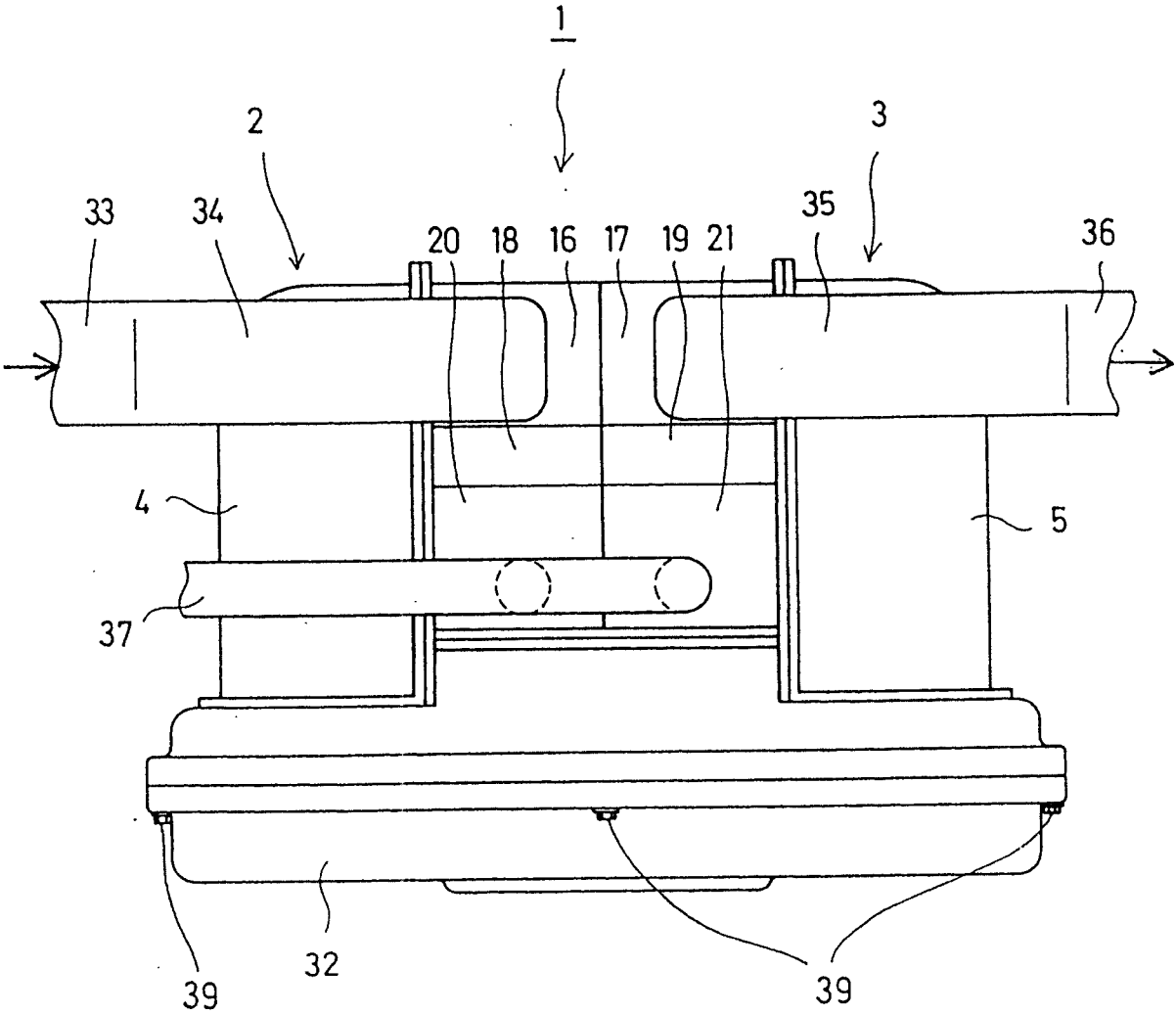


图 1

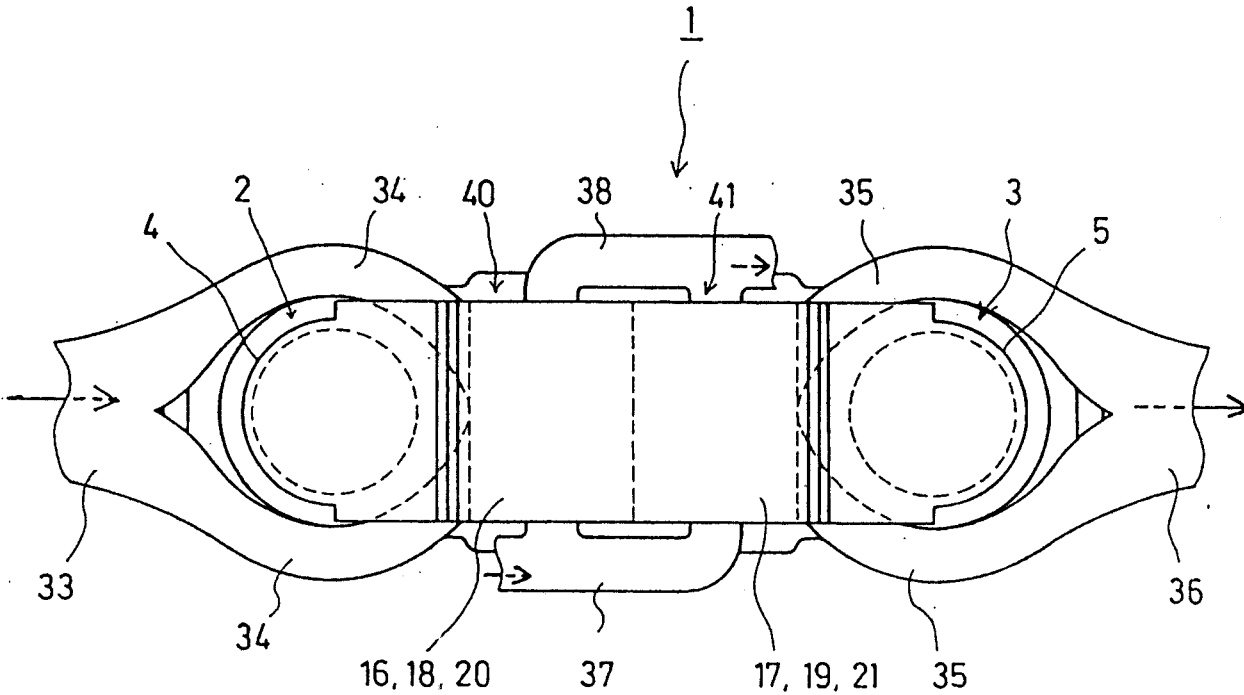


图 2

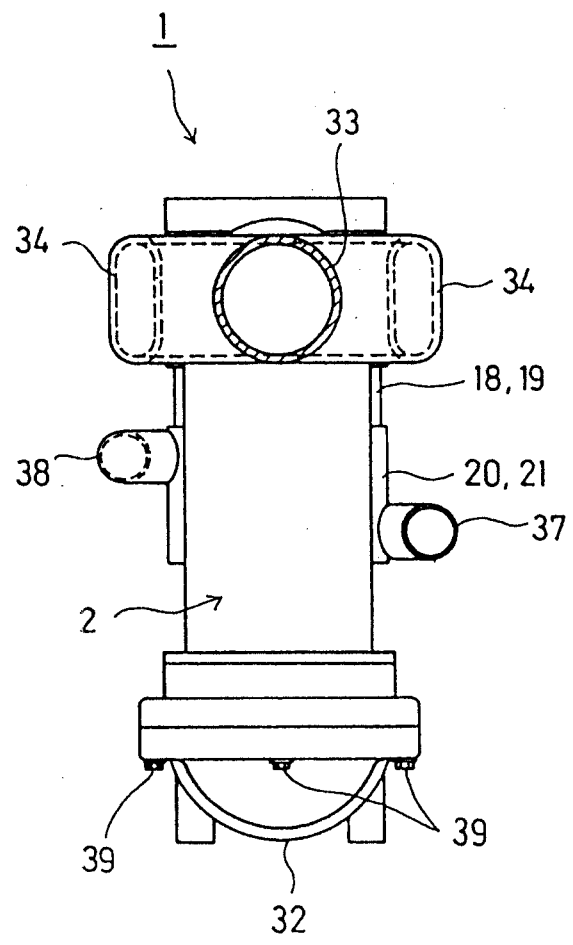


图 3

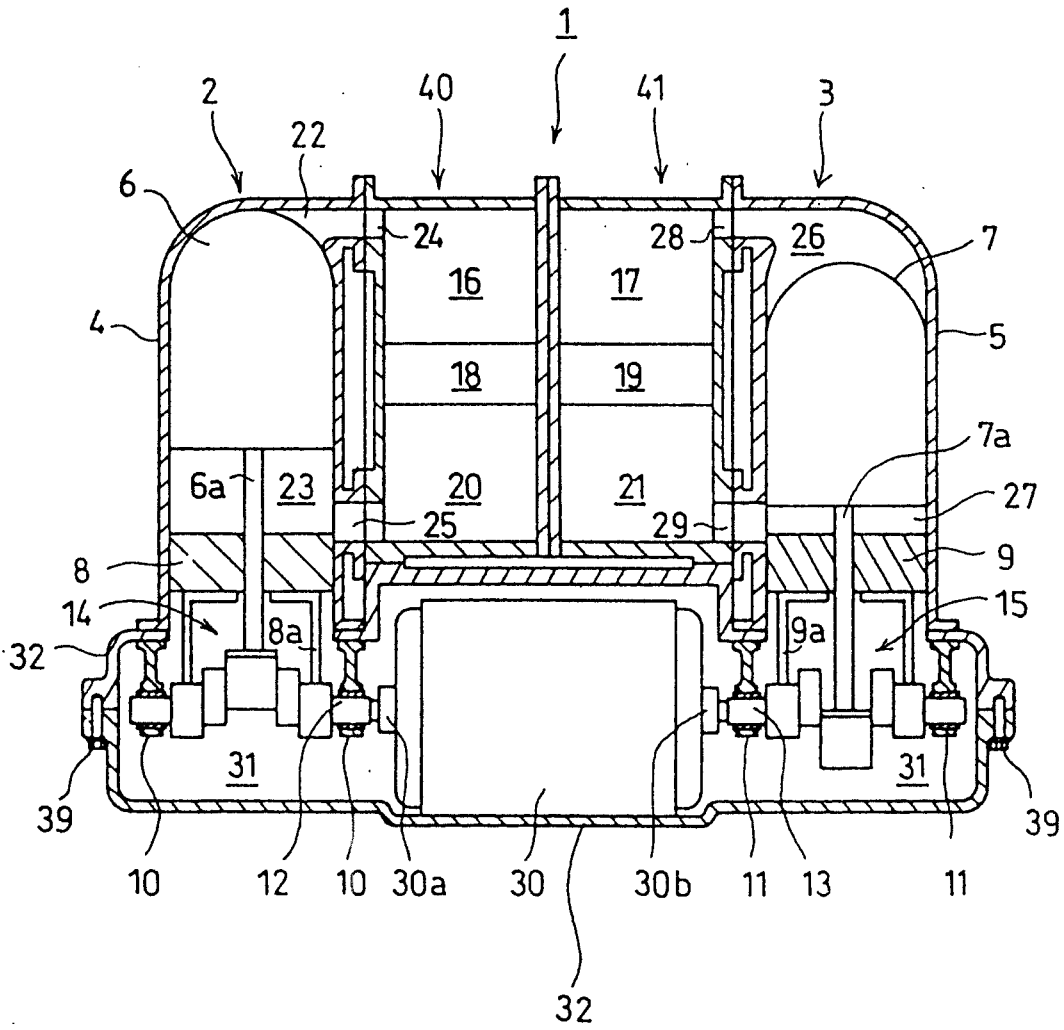


图 4

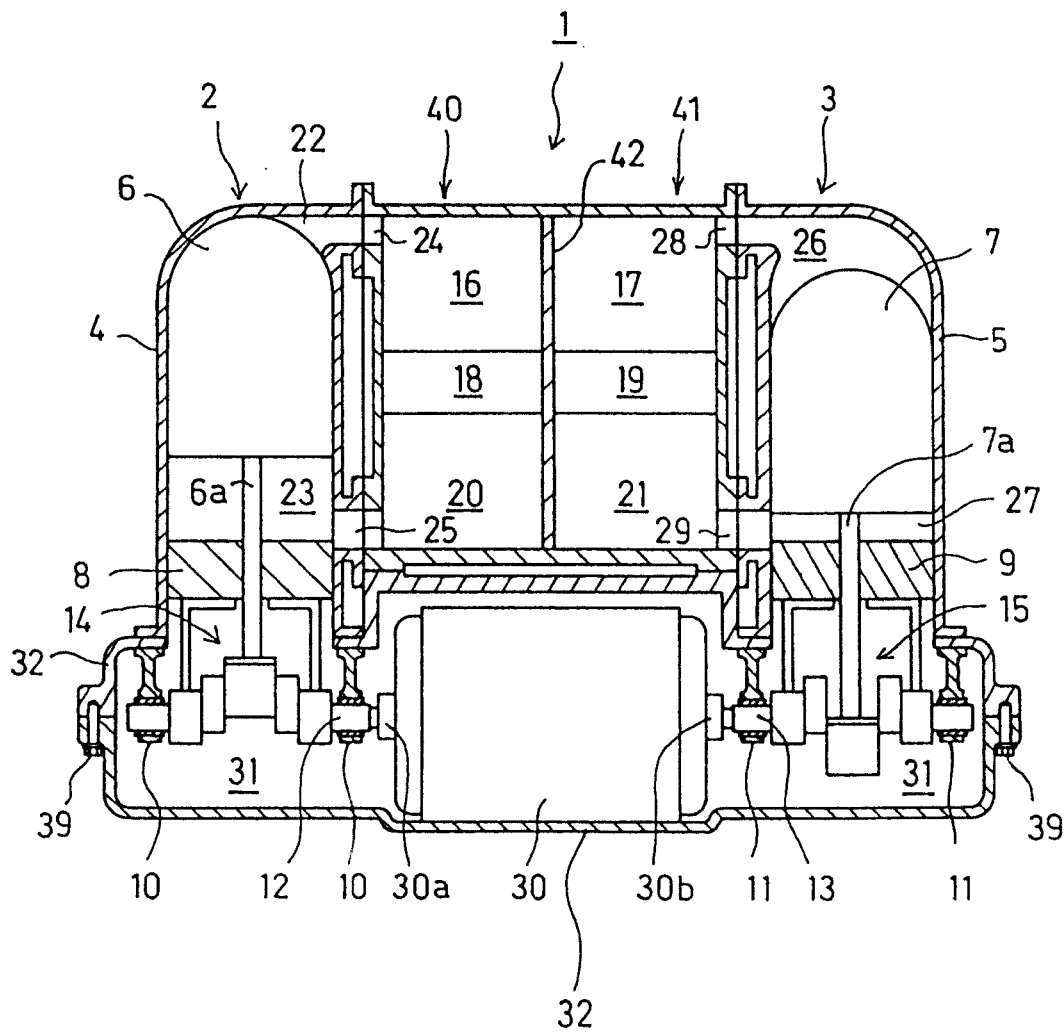


图 5

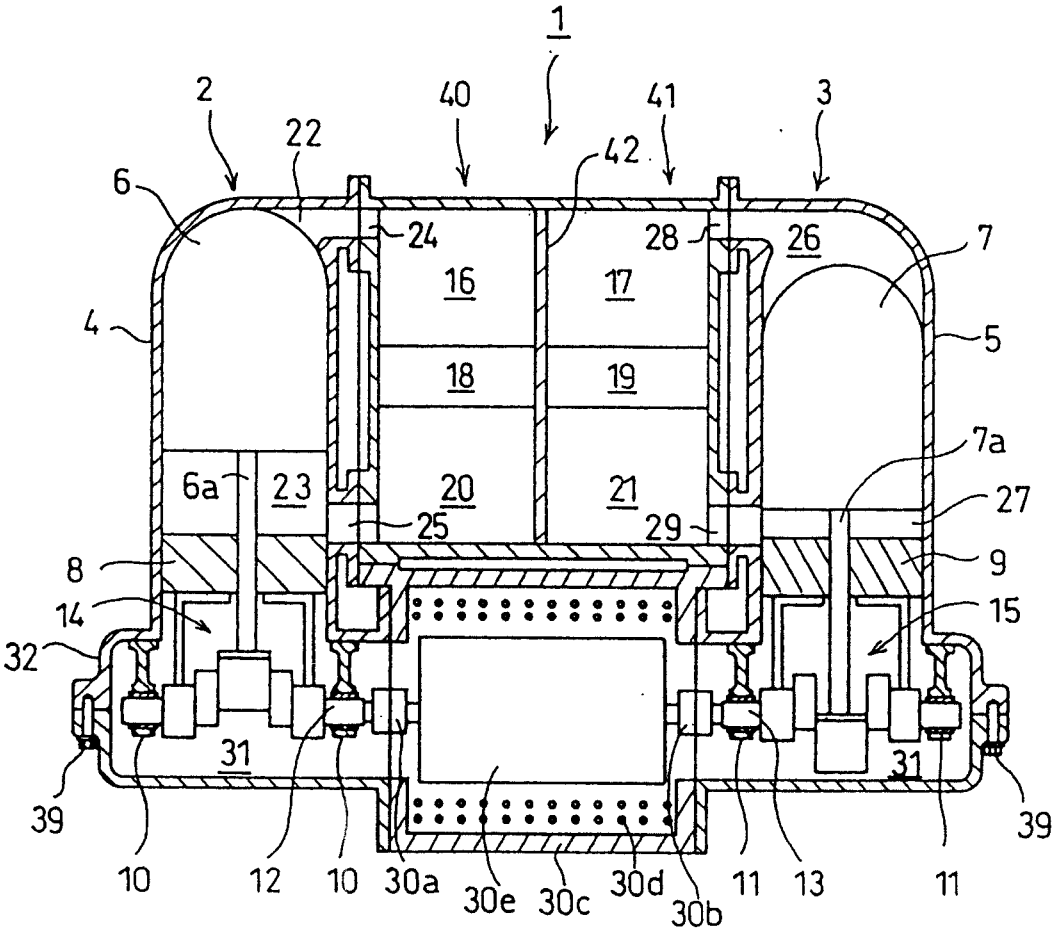
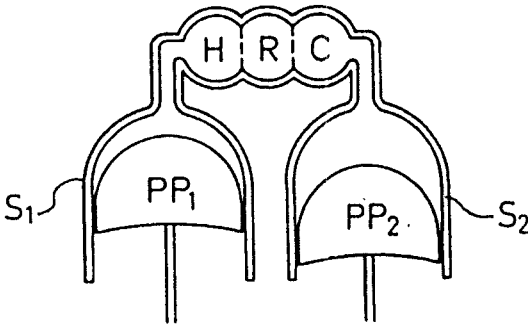
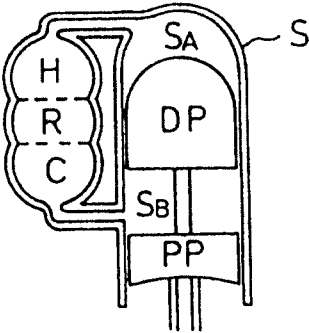


图 6



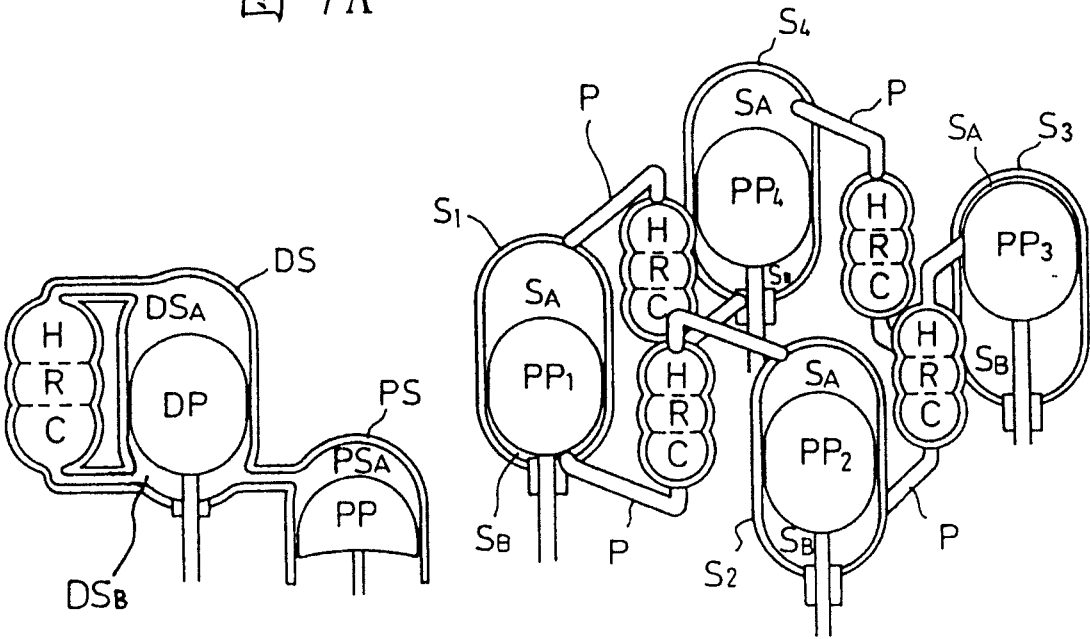
α 型

图 7A



β 型

图 7B



γ 型

图 7C

双作用型

图 7D