

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200610026481.9

[51] Int. Cl.

H01M 8/00 (2006.01)

B60L 11/18 (2006.01)

[43] 公开日 2007 年 11 月 14 日

[11] 公开号 CN 101071864A

[22] 申请日 2006.5.12

[21] 申请号 200610026481.9

[71] 申请人 田云

地址 550001 贵州省贵阳市云岩区友谊路 120
号 10 栋 9-33 号

[72] 发明人 田云

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司
代理人 徐迅

权利要求书 2 页 说明书 16 页 附图 1 页

[54] 发明名称

车用燃料电池混合动力装置

[57] 摘要

本发明提供了一种车用燃料电池混合动力装置，包括：燃烧电池单元，包括燃料电池以及相应管道；燃气轮机单元，包括燃烧室、压缩机、透平机、发电机及其相应管道。本发明的燃料电池汽车动力装置具有推广价值、运行稳定、并能够使用氢气以外的能源。

1. 一种车用燃料电池混合动力装置，其特征在于，它包括：

-燃料电池单元(1)，包括设在主燃料管道(12)上的燃料电池堆栈(11)，所述燃料电池堆栈(11)上设有供空气流入的阴极入口(11a)、供燃料流入的阳极入口(11A)、供空气流出的阴极出口(11b)、供燃料流出的阳极出口(11B)；

-燃气轮机单元(2)，包括依序设置的燃烧室(21)、压缩机(22)、透平机(23)、发电机(24)，

其中燃气轮机单元(2)中的燃烧室(21)连通所述燃料电池单元(1)中的阳极出口(11B)，燃气轮机单元(2)中的压缩机(22)连通所述燃料电池单元(1)中的阴极出口(11b)；

且所述的燃料电池堆栈(11)为固态氧化物燃料电池。

2. 如权利要求1所述的动力装置，其特征在于，所述动力装置还设有选自以下的任意一种装置或其组合：

(i) 燃料旁路单元(3)，包括供燃料流入所述燃烧室(21)的燃料旁路(31)；

(ii) 空气旁路单元(4)，包括供空气流入所述压缩机(22)的空气旁路(41)；

(iii) 蒸汽发生单元(5)，包括蒸汽发生器(51)，所述蒸汽发生器(51)产生的蒸汽与燃料混合后进入燃料电池的阳极入口(11A)。

3. 如权利要求1或2所述的动力装置，其特征在于，还包括热量回收单元(6)，所述热量回收单元(6)包括：

与所述透平机(23)连通并用于回收所述透平机(23)排气的空气回热器(61)和燃料回热器(62)，使得所述回收的排气加热燃料电池堆栈进口端(11a)的空气和/或加热燃料电池堆栈进口端(11A)的燃料；

所述热量回收单元(6)连通蒸汽发生单元(5)，使得所述回收的热量用于发生蒸汽。

4. 如权利要求1或2所述的动力装置，其特征在于，燃烧电池单元的所述燃烧电池单元(1)和燃气轮机单元(2)的功率比为3:1 - 1:1之间。

5. 如权利要求1或2所述的动力装置，其特征在于，采用的燃料为碳氢化合物燃料，包括天然气、甲醇、煤气。

6. 一种车用燃料电池混合动力装置的启动方法，其特征在于，启动时，燃料分别通过主燃料管道(12)和燃料旁路(31)进入燃气轮机单元(2)中的燃烧室(21)，

空气分别通过燃料电池堆栈(11)和空气旁路(41)进入燃气轮机单元(2)中的压缩机(22)，然后进入燃烧室(21)，

燃料和压缩空气混合后在燃烧室(21)燃烧，推动透平机(23)发电，使得汽车启动。

7. 一种车用燃料电池混合动力装置的负荷调整方法，其特征在于，通过空气旁路(41)和燃气旁路(31)的流量调整汽车负荷，所述汽车负荷调整过程的时间为1—5秒。

8. 一种含有如权利要求1所述的动力装置的汽车，包括驱动电动机(7)，电动机调速控制装置、传动装置、行驶装置、转向装置和制动装置。

9. 一种如权利要求1所述的燃料电池汽车动力装置的用途，其特征在于，用于电动汽车的动力来源。

10. 一种燃料电池堆栈的用途，所述的燃料电池堆栈为固态氧化物燃料电池，其特征在于，所述的燃料电池堆栈被用作汽车动力源。

车用燃料电池混合动力装置

技术领域

本发明涉及一种动力装置，具体地涉及交通工具的动力装置。

背景技术

目前世界上现有的燃料电池汽车研究与开发都是基于质子交换膜燃料电池 (PEMFC), 包括直接甲醇燃料电池 (DMFC)。然而, 由于以下原因, 基于质子交换膜燃料电池的电动汽车或者燃料电池混合动力汽车很难在短时间内商业化:

(1) 造价高昂。由于使用贵金属 (铂) 作催化剂, 质子交换膜燃料电池造价很高;

(2) 在质子交换膜燃料电池设计上, 由于需要控制操作温度及湿度在一个很窄的范围内, 而燃料电池本身又产生水蒸汽和热, 因此控制很难;

(3) 氢气来源问题。氢气不存在于自然中, 需要有电解水或者其他燃料重整获得, 而在此过程中, 必然消耗其他优质能源 (电) 或者化石能源, 因而降低能源效率或者产生污染; DMFC 使用甲醇作为燃料, 通过甲醇重整获得氢气, 而甲醇制取成本高, 且有毒性; 化石能源重整产生的一氧化碳也会使催化剂中毒或者需要添置气体净化装置;

(4) 氢气存储问题。氢气液化温度接近绝对零度, 很难液化; 氢气吸收合金的研制刚开始, 价格高且存储量小。

(5) 加气站建设问题。氢气加气站建设费用高于普通汽油加油站几十倍, 很难普及;

(6) 汽车启动过程很慢;

(7) 汽车负荷调整慢。

综上所述, 本领域缺乏一种具有推广价值、稳定的、并能够使用氢气以外能源的燃料电池汽车动力装置。因此, 本领域迫切需要开发这样一种装置。

发明内容

本发明的一个目的在于获得具有推广价值、稳定的、并能够使用氢气以外能源的燃料电池汽车动力装置。也即提供了一个减少汽车污染，减少能源消耗(提高能源利用效率)，以及降低对石油的过度依赖的解决方案。

本发明的另一个目的在于提供一种快速的车用燃料电池混合动力装置的启动方法。

本发明的还有一个方面提供一种快速的车用燃料电池混合动力装置的负荷调整方法。

本发明还有一个方面提供一种减少污染的含有动力装置的汽车。

本发明再有一个方面提供一种燃料电池汽车动力装置的用途。

本发明还有一个方面提供一种燃料电池堆栈的用途。

在本发明的第一方面，提供了一种车用燃料电池混合动力装置，它包括：

-燃料电池单元，包括设在主燃料管道上的燃料电池堆栈，所述燃料电池堆栈上设有供空气流入的阴极入口、供燃料流入的阳极入口、供空气流出的阴极出口、供燃料流出的阳极出口；

-燃气轮机单元，包括依序设置的燃烧室、压缩机、透平机、发电机，

其中燃气轮机单元中的燃烧室连通所述燃料电池单元中的阳极出口，燃气轮机单元中的压缩机连通所述燃料电池单元中的阴极出口；

且所述的燃料电池堆栈为固态氧化物燃料电池。

在本发明的一个优选例中，所述固态氧化物燃料电池堆栈为包括启动燃烧器和燃料重整器的固态氧化物燃料电池堆栈。

在一个优选实施方式中，本发明的动力装置，还设有选自以下的任何一种装置或其组合：

(i) 燃料旁路单元，包括供燃料流入所述燃烧室的燃料旁路；

(ii) 空气旁路单元，包括供空气流入所述压缩机的空气旁路；

(iii) 蒸汽发生单元，包括蒸汽发生器，所述蒸汽发生器产生的蒸汽与燃料混合后进入燃料电池的阳极入口。

在一个优选实施方式中，本发明的动力装置，还包括热量回收单元，所述热

量回收单元包括：

与所述透平机连通并用于回收所述透平机排气的空气回热器和燃料回热器，使得所述回收的排气加热燃料电池堆栈进口端的空气和/或加热燃料电池堆栈进口端的燃料；

所述热量回收单元连通蒸汽发生单元，使得所述回收的热量用于发生蒸汽。

在一个优选实施方式中，本发明的动力装置中，燃烧电池单元的所述燃烧电池单元和燃气轮机单元的功率比为 3:1 - 1:1 之间。

在一个优选实施方式中，本发明的动力装置采用的燃料为碳氢化合物燃料，包括天然气、甲醇、煤气。

在本发明的一个优选例中，采用的燃料为天然气。

在本发明的一个优选例中，所述燃烧电池单元(1)的操作温度为 700-1000 °C。

在本发明的一个优选例中，所述动力装置的电效率为 55%-65%。

在本发明的一个优选例中，所述动力装置中的氢气利用率为 80±5%。

本发明另一方面提供一种车用燃料电池混合动力装置的启动方法，启动时，燃料分别通过主燃料管道和燃料旁路进入燃气轮机单元中的燃烧室，空气分别通过燃料电池堆栈和空气旁路进入燃气轮机单元中的压缩机，然后进入燃烧室，

燃料和压缩空气混合后在燃烧室燃烧，推动透平机发电，使得汽车启动。

在本发明的一个实施例中，所述方法的启动时间为 0.5-2 分钟。

本发明再有一个方面提供一种车用燃料电池混合动力装置的负荷调整方法，通过空气旁路和燃气旁路的流量调整汽车负荷，所述汽车负荷调整过程的时间为 1-5 秒。

本发明还有一个方面提供一种含有动力装置的汽车，包括驱动电动机，电动机调速控制装置、传动装置、行驶装置、转向装置和制动装置。

本发明再有一个方面提供一种燃料电池汽车动力装置的用途，用于电动汽车的动力来源。

本发明还有一个方面提供一种燃料电池堆栈的用途，所述的燃料电池堆栈为固态氧化物燃料电池，所述的燃料电池堆栈被用作汽车动力源。

附图说明

图 1 为本发明的燃料电池混合动力装置的发电流程图；

图 2 为安装有本发明的燃料电池混合动力装置的交通工具的一个具体实施方式，其分系统布置示意图。

具体实施方式

本发明人经过广泛而深入的研究，通过改进燃料电池汽车动力装置的配置及流程，获得了包括燃烧电池单元和燃气轮机单元的动力装置的集成特性，并意外地发现其非常适合应用推广，特别是可以使用天然气作为燃料，而且电效率高，故特别适合作为电动汽车的动力装置。此外在一个具体实施方式中还针对汽车操作特性，提出相应的针对启动及负荷调整的完整控制方案，而得到了新的高效动力装置。在此基础上完成了本发明。

燃料

本发明的燃料可以采用各种碳氢化合物燃料，包括但不限于气态燃料，例如：沼气、液化石油气、煤气，天然气，甲醇。优选天然气。

采用天然气作为燃料的好处在于，首先天然气容易得到。天然气可以从自然界中获取，而氢气不存在于自然界中，需要用电解水或者其他化石燃料经过重整获得，而在此过程中，必然消耗其他优质能源(电)或者化石能源，因而降低能源效率或者产生污染；其次是天然气储存技术成熟，容易储存，而氢气很难压缩，并且液化温度接近绝对零度，很难液化；氢气吸收合金的研制刚开始，价格高且存储量小；再次是可以利用现有天然气加气站，而氢气加气站建设费用高于普通汽油加油站几十倍，很难普及。

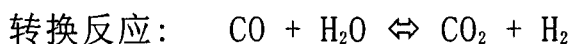
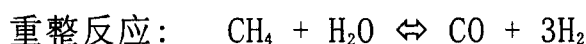
固态氧化物燃料电池

本发明采用的燃料电池为固态氧化物燃料电池(Solid Oxide Fuel Cell, SOFC)。燃料电池由阴极,阳极,以及夹在阴极和阳极中间的电解质组成。较佳地,SOFC 电极材料阳极主要包括添加了导电金属(如镍 Ni)的氧化钇稳定的氧化锆(Yttrium (Y2O3) Stabilized Zirconia (ZrO2), 缩写为 YSZ), 阴极主要包括镧化合物(如锰酸镧, 钴酸镧和铁酸镧), 电解质主要包括氧化钇稳定的氧化锆(YSZ)或者参杂了钪的氧化锆(Scandium Doped Zirconia, 简写 SDZ)。更佳地, 本发明所使用的电池中阳极采用添加了镍的氧化钇稳定的氧化锆(Ni-ZrO2), 阴极采用锰酸镧(LaMnO3), 电解质用氧化钇稳定的氧化锆(YSZ)。

所述固态氧化物燃料电池(堆栈)通常包括启动燃烧器和燃料重整器。

较佳地, 本发明的固态氧化物燃料电池为内部重整固态氧化物燃料电池。例如, 较佳地, 所述启动燃烧器和燃料重整器集成设置在燃料电池堆栈的内部。操作时, 燃气和空气分别通过燃料电池堆栈上设置的阳极入口和阴极入口进入燃料电池堆栈中的启动燃烧器, 经过燃料重整器重整后再流经燃料电池堆栈的阳极和阴极, 产生电化学反应后的气体通过堆栈上设置的阳极出口和阴极出口分别进入燃烧室和压缩机。启动燃烧器只在堆栈冷态启动时使用, 在正常运行及热待机状态或热态启动时是关闭的, 此时燃料和空气将绕过启动燃烧器直接进入燃料重整器和燃料电池堆栈。

在重整过程的一个例子中, 燃料为天然气, 主要成分为甲烷(CH₄)。操作中, 天然气的重整包括两个平衡反应:



其中固态氧化物燃料电池内部重整的平衡常数由温度决定, 因而氢气的生成量亦主要由温度决定, 也即氢气生成的多少和反应温度有很大的关系。水蒸气与天然气的摩尔浓度比在 2.1 - 2.5 之间。正常运行时, 反应需要的热量由燃料电池堆栈电化学反应放出的热量提供, 不需要外部热源。

固态氧化物燃料电池的操作温度较佳地为 700-1000℃。

经过重整后的燃料包含氢气, 一氧化碳, 水蒸气, 二氧化碳和剩余的天然气。流

经阴极的氧化物为氧气，可以采用纯氧或者空气，本例中采用空气。空气流经阴极时，从阴极获得电子，形成氧离子。氧离子穿越电解质到达阳极，与氢气反应并释放出电子，电子经外部回路流向阴极，因而产生电能。固态氧化物燃料电池的发电效率理论上可以达到70%-80%，实际上在工程应用中其发电效率在40%-50%。

固态氧化物燃料电池氢气利用率较佳地为 $80 \pm 5\%$ 。本发明的“燃料利用率”指参与化学反应的燃料占总输入燃料的比例。

本发明的固体氧化物燃料电池的制造及维护成本低于低温燃料电池如质子交换膜燃料电池（Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC），若用于制造汽车，则制造成本远低于低温燃料电池汽车。此外，本发明的固体氧化物燃料电池比低温燃料电池寿命长，易于制造，不存在电池被污染的问题。

在一个优选实施方案中，采用了内部重整固态氧化物燃料电池，其可以使用燃料电池的发热来内部重整天然气以获得燃料电池所需的氢气，而对于PEMFC，如果使用氢气以外的燃料，则需要一个单独的外部重整器以及相应的高温热源。

此外，由于本发明采用的固体氧化物燃料电池为高温燃料电池，较佳地，其操作温度可达700-1000℃，因此可以高效地使用燃料电池的发热来内部重整天然气以获得燃料电池所需的氢气。

燃气轮机单元

本发明的燃气轮机单元包括燃烧室、压缩机、透平机、发电机及其相应管道，所述燃烧室连通所述燃料电池单元中燃料电池堆栈的阳极出口，所述压缩机连通所述燃料电池单元中燃料电池堆栈的阴极出口。

燃烧室、压缩机、透平机、发电机及其相应管道按照本领域技术人员公知的结构进行设置。例如，在一个实施方案中，压缩机、燃烧室、透平机、发电机依序连接：空气在压缩机中增压后，流经压缩机出口进入燃烧室，在燃烧室中与燃料合并燃烧，产生的高温气体进入透平机，驱动透平机转动，透平机再带动与之相连的发电机并产生电能。

本发明中燃气轮机单元利用了燃料电池单元中产生的热能。燃气轮机单元的发电量与燃料电池单元的发电量构成整个动力装置的发电量。

燃气轮机的发电量可占整个动力装置的 25% -35%。整个动力装置的电效率可达 55—65%（基于燃料低热值 LHV）。

热量回收单元

本发明的热量回收单元包括：与所述透平机连通并用于回收所述透平机排气的空气回热器和燃料回热器，使得所述回收的排气加热燃料电池堆栈进口端的空气和/或加热燃料电池堆栈进口端的燃料。所述热量回收单元连通蒸汽发生单元，使得所述回收的热量用于发生蒸汽。

设置时，先用空气回热器回收透平机排气的热量，再用燃料回热器回收，由于空气流量远远大于燃料流量，根据不同配置，约为 18-25 倍以上，因此必须先加热空气，以获得较佳的燃料与空气温差。

使用时，透平机排气中的热量首先被空气回热器回收，用于加热空气，加热后的空气进入燃料电池堆栈；透平机排气中的热量继续被燃料回热器回收，用于加热燃料（例如天然气），加热后的燃料进入燃料电池堆栈；最后，透平机排气中的剩余热量用于加热蒸汽发生单元中的蒸汽发生器，使得其中的水发生蒸汽，所述蒸汽进入燃料电池堆栈作为燃料内部重整所需的蒸汽。

综上所述，本发明的燃气轮机充分利用高温燃料电池的废气，因此混合动力电动汽车的综合电效率高于低温燃料电池电动汽车，也远高于常规内燃机（柴油机/汽油机）汽车，节省了能源。而且由于使用清洁能源（天然气）为燃料，属于洁净排放，因此比常规柴油机，汽油机汽车减少了污染。由于既使用了清洁能源（天然气），并且能量转换效率又是汽油/柴油内燃机 2-3 倍，因此其每公里排放物很低。比较普通内燃机汽车，其行使中每公里排放二氧化碳减少 60% 左右（从 192 g/km 减少到大约 75g/km）；没有挥发性有机化合物（VOC）排放；没有破坏臭氧层的氮氧化物（ N_2O ）排放。

启动方法

本发明的启动方法中，启动过程中，根据燃料电池堆栈的设计，少量燃料和空气通过主燃料管道和主空气管道进入燃料电池堆栈启动燃烧器，其余的燃料通过燃料旁路进入燃气轮机单元的燃烧室，其余的空气通过空气旁路进入燃

气轮机压缩机，然后进入燃烧室；燃料和压缩空气混合后在燃烧室燃烧，产生高温高压气体，推动透平机发电，驱动电动机使得汽车启动。此处的主燃料管道是指：燃料通过燃料电池单元(阳极)、到燃烧室之间设置的管道。

此处的主空气管道是指：空气通过燃料电池单元(阴极)、到压缩机、然后到燃烧室之间设置的管道。

由于采用了上述方法进行启动，因此汽车的启动时间由燃气轮机的启动时间决定。本发明的启动方法的时间为 0.5—2 分钟。较佳地 0.5—1 分钟。本发明所指的“启动时间”是指：从启动初期到燃气轮机负荷稳定(最大负荷工况)的时间。

其中，启动初期进入主燃料管道和燃料旁路的燃料的用量比根据动力系统的设计而定，例如根据燃气轮机/燃料电池功率比特性而确定。一般燃料旁路与主燃料管道用量之比为 0—40%。此外，燃料旁路中的流量可以从启动初期的 100% 到稳定负荷(最优工况下)的 0%(完全关闭燃料旁路)。

启动初期进入主空气管道和空气旁路的空气的用量比根据燃料电池堆栈的设计温度和燃气轮机/燃料电池功率比而定，一般空气旁路与主空气管道的用量比为 70%—255%。

启动初期空气流量与燃气流量的比例为 40—50 倍，较佳地为 45 倍。在逐渐加热燃料电池堆栈至工作温度和增加燃料电池功率达到设计值的同时，空气流量与燃气流量的比例逐渐减少为 18—30 倍。调节燃料和空气的比例大小根据燃料特性变化，启动过程和运行过程的不同，以及燃气轮机/燃料电池堆栈的功率比，燃气轮机和燃料电池堆栈各自的运行温度的设定的不同而变化。

由于采用独特的控制方法，可以使本发明的汽车具备快速启动能力，解决了通常燃料电池电动汽车启动慢的问题。特别是使燃料电池堆栈和微型燃气轮机的输出功率可以分别单独控制，从而保证了汽车在能快速满足符合调整的需求的同时，并且使整个系统始终处于效率优化状态。

负荷调整方法

本发明的负荷调整方法，通过调整空气旁路的空气及对应的燃气旁路的燃料流量调节汽车负荷，负荷调整时间 1—5 秒之间。

本发明所述的“负荷调整时间”是指从汽车负荷变化指令输入初期到达到新的稳定负荷的时间。

负荷调整时，由于可以通过燃料旁路单元提供额外的燃料从而获得燃气轮机额外的功率，从而缩减了负荷调整的时间。同时对空气旁路单元的相应操作使得燃气轮机单元保持设计的燃烧温度和效率而又不致影响燃料电池堆栈的操作温度。

燃气轮机的功率在 50% -100% 之间变化，以此满足汽车负荷的变化。

这个负荷调节能力的大小由燃料电池堆栈的额定负荷，以及设定的燃气轮机/燃料电池功率比确定。通常，如果设定的燃气轮机/燃料电池功率比越大，这负荷调节能力越强，然而系统在稳态运行时的整体能源转换效率则会降低，因此需要在负荷调节能力和混合系统整体转换效率上取得平衡。这个平衡主要需要考虑的是汽车的用途(客车/轿车，公路状况等)和客户的需求。

通常，调整初期进入燃料旁路的燃料和主燃料管道的用量比为 0%—40%。

启动初期进入空气旁路与主空气管道的空气的用量比 70%—255%。

启动初期空气流量与燃气流量的比例为 40—50 倍，较佳地为 46 倍。在正常负荷时，空气流量与燃气流量的比例降低为 18—30 倍。在一个典型的系统配置中，当燃气轮机/燃料电池堆栈功率比为 33%时，其正常负荷运行时空气总流量是燃料的 19 倍左右。然而，在进行系统的设计时，如果设定的燃气轮机/燃料电池堆栈功率比增大(大于 33%)，则其在正常负荷运行时空气总流量与燃料流量比也会增大。

汽车

本发明的车用燃料电池混合动力装置用于汽车，特别是电动客车和轿车。

本发明的车用燃料电池混合动力装置也可以用于移动式发站，军用移动发电系统，无人驾驶飞机，潜水艇动力系统等

以下结合具体实施例，进一步阐明本发明。应理解，这些实施例仅用于说明本发明而不用于限制本发明的范围。下列实施例中未注明具体条件的实验方法，通常按照常规条件，或按照制造厂商所建议的条件。比例和百分比基于摩尔量 (mol)，除非特别说明。

实施例 1：车用天然气燃料电池混合动力装置及其汽车

车用天然气燃料电池混合动力装置

参见图 1 的动力装置的配置及流程图，车用天然气燃料电池混合动力装置由燃料电池单元 1、燃气轮机单元 2、燃料旁路单元 3、空气旁路单元 4、蒸汽发生单元 5、热量回收单元 6 组成。其它还包括输送泵 A、输送泵 B 等附属设备。

燃料电池单元 1 包括设在主燃料管道 12 上的燃料电池堆栈 11 (包括内置的启动燃烧器和燃料重整器，图中未示)，所述燃料电池堆栈 11 上设有供空气流入的阴极入口 11a、供燃料流入的阳极入口 11A、供空气流出的阴极出口 11b、供燃料流出的阳极出口 11B。

燃气轮机单元 2 包括依序设置的燃烧室 21、压缩机 22、透平机 23、发电机 24，其中燃气轮机单元 2 中的燃烧室 21 连通所述燃料电池单元 1 中的阳极出口 11B，燃气轮机单元 2 中的压缩机 22 连通所述燃料电池单元 1 中的阴极出口 11b。

燃料旁路单元 3，包括供燃料流入所述燃烧室 21 的燃料旁路 31。

空气旁路单元 4，包括供空气流入所述压缩机 22 的空气旁路 41。

蒸汽发生单元 5，包括蒸汽发生器 51，所述蒸汽发生器 51 产生的蒸汽与燃料混合后进入燃料电池的阳极入口 11A。蒸汽发生器 51 的水来自与其连通的蒸汽冷凝器 52。

热量回收单元 6 包括与所述透平机 23 连通并用于回收所述透平机 23 排气的空气回热器 61 和燃料回热器 62，使得所述回收的排气加热燃料电池堆栈进口端 11a 的空气和/或加热燃料电池堆栈进口端 11A 的燃料。热量回收单元 6 连通蒸汽发生单元 5，使得所述回收的热量用于发生蒸汽。

在图 1 是动力系统的流程图，给出了详细的燃料，空气，水和水蒸气在系统中的连接及系统如何利用燃料电池堆栈以及微型燃气轮机的热能。这个系统中燃料电池堆栈 11 是在循环的上部，而微型燃气轮机 2 则处于循环的下部。

由图 1 可知，本发明的动力装置的动力源包括燃料电池 1 (SOFC) 和微型燃气轮机 2。系统的燃料优选天然气。由于高温燃料电池 1 具有高达 50% 的电

转换效率(理论上可达 70%~80%),而微型燃气轮机 2 又利用了燃料电池 1 的余热及剩余燃料,因此在正常运行工况时不需要额外的燃料(在特定的燃气轮机/燃料电池堆栈功率比及额定工况下;在其他情况下,如设定了较大的功率比或者在非额定工况时,则可能需要开启燃料旁路以供应额外燃料),因此整个系统电效率达到 55%~65%。这个效率远高于其他类型的汽车,如内燃机汽车,混合动力汽车(内燃机+蓄电池),质子交换膜燃料电池(PEMFC)汽车等。

发电装置是燃料电池 1 与燃气轮机 2 组成的混合发电系统,这是一个具有预热,回热及天然气重整的复杂高效发电系统。燃料电池 1 的操作温度在 700°C-1000°C,微型燃气轮机燃烧室 21 工作温度在 1100°C 左右。根据不同燃料电池和燃气轮机的要求,其燃料及空气的进口压力可能有很小的差别,一般在 1 bar 左右。

燃料(即天然气)分两路分别进入燃料电池堆栈的阳极 11A 以及燃气轮机的燃烧室 21。进入燃气轮机的燃烧室 21 的燃料用于负荷调整和控制。额定负荷工况下,在进入燃料电池堆栈阳极 11A 前,燃料从常温加热到大约 500°C。燃料经过内部重整后产生氢气。内部重整的化学反应平衡常数由堆栈的运行温度决定(反应平衡常数可以描述为温度的函数),因而氢气的生成量亦主要由温度决定。在燃料电池中发生电化学反应,氢气与穿过电解质的氧离子结合生成水并产生电和热。通过调整进入燃料电池堆栈的空气量,可维持燃料电池堆栈操作温度在 700-1000°C。燃料电池堆栈的氢气利用率保持在 80% 左右。燃料电池进口处空气(阴极)与天然气(阳极)的摩尔流量比大约是 12:1,这可以使得燃料电池维持所需的反应温度和反应浓度。燃料电池阳极的排气 11B 大部分是生成的水蒸气(摩尔浓度约 70%),并含有未反应的甲烷,一氧化碳和氢气,各占 10% 左右,将导入微型燃气轮机燃烧室,与压缩空气混合燃烧后驱动透平机 23 产生电力。

微型燃气轮机的排气从透平机中排出,具有很高的温度(~600°C),用于加热进口的空气和燃料。空气被热回收器加热后,流经启动燃烧器和燃料电池堆栈 11,在启动燃烧器中被进一步加热至设定温度(如 800°C 左右,由堆栈性能设计确定),并加热燃料电池堆栈 11。当燃料电池堆栈 11 温度达到内部重整几点化学反应所需的温度时(~700°C),启动燃烧器关闭,燃料将直接流向内部重

重整器和燃料电池堆栈阳极 11A, 在内部催化重整反应下生成氢气, 一氧化碳和二氧化碳。氢和氧在燃料电池堆栈 11 反应后, 燃料电池堆栈 11 温度继续升高, 直至工作温度(700°C -1000°C)。固态氧化物燃料电池堆栈 11 的启动过程根据燃料电池型式(平板/管状)和材料热负荷特性, 目前在 10~30 分钟内。

在系统正常运行时, 燃料旁路 31 既可以处于关闭状态以获得最佳效率, 也可以根据系统设计的要求, 将部分燃料直接用于微型燃气轮机 2, 这样可以增加微型燃气轮机 2 所占的负荷比重, 增加启动及负荷调整能力。然而, 正常运行(设计工况)时, 如果燃料旁路 31 的流量过高, 会使整个系统的效率下降。根据燃气轮机/燃料电池堆栈负荷比确定, 可以是零流量, 此时系统具有最高的效率; 在其他负荷比设计下, 也可能达到全部燃料消耗量的 30%或者更多, 但是, 正如以上所述, 当燃料旁路流量大于零时, 系统的负荷调节能力增强, 但系统整体电效率会下降。因此燃料旁路 31 的流量和主燃料管道 12 流量的较佳比例在 0%—40% 之间。对于汽车应用来说, 较佳的在 10%—30%, 最佳的 15%—25%。对于固定式电站应用来说, 则最佳为 0%。

为配合燃料旁路的调节, 空气旁路 41 亦根据预先设定的优化值自动调节进入微型燃气轮机的空气量, 以使得微型燃气轮机 2 保持设计的燃烧温度和效率。因为这部分空气不经过燃料电池堆栈, 因而不影响燃料电池堆栈的操作温度和化学反应。燃料电池堆栈 11 的操作温度将由通过燃料电池堆栈阴极 11a 的空气流量来调整。

通过分别控制燃料旁路 31 和空气旁路 41, 可以单独控制燃料电池堆栈和微型燃气轮机的运行温度, 反应浓度和输出功率, 使得两者都运行在较高效率, 而整个系统的输出功率也满足负荷要求。

在燃料电池堆栈 11 正常运行后, 燃料电池堆栈 11 将尽量保持在额定负荷, 微型燃气轮机 2 将相应调整负荷以满足总体负荷要求。

汽车启动控制方法

启动时, 燃气(即天然气)分别通过主燃料管道 12 进入燃料电池堆栈 11 启动燃烧器和燃料旁路 31 管道进入微型燃气轮机燃烧室 21, 空气则分别通过燃料电池堆栈 11 和空气旁路 41 进入微型燃气轮机压缩机 22, 燃料和压缩空气

混合后燃烧，推动透平机 23 发电，汽车立即启动。在此情况下，汽车的启动时间将由微型燃气轮机启动时间决定，其启动时间为 0.5-2 分钟左右。

汽车运行中的负荷控制

同时针对以上系统，为解决汽车运行中负荷快速调整问题，提出了以下方案：

汽车在正常工况时，燃料旁路 31 处于关闭状态或者只有小部分流量。然而，汽车需要加速或者爬坡时需要大于正常运行功率，此时可以通过燃料旁路单元 3 提供额外燃料到微型燃气轮机 2 (同时相应增加空气旁路的流量以满足燃气轮机对燃烧温度的控制)，因而可以即刻获得额外功率，这避免了调整燃料电池堆栈 11 而需要的较长的时间。同时，燃料电池堆栈也将逐渐进行功率调节，以使得整个系统效率达到此功率下的优化值。

同时，空气分两路分别进入燃料电池堆栈的阴极 11a 以及微型燃气轮机的压缩机 22。进入微型燃气轮机的压缩机 22 的空气用于调节燃烧温度及进行负荷控制。在进入燃料电池堆栈阴极 11a 前，空气从常温加热到大约 650°C，进入燃料电池堆栈阴极 11a 的空气在电化学反应下产生氧离子，氧离子穿越电解质与氢气结合，释放出的电子通过外部电路到达阴极，因而产生电力。燃料电池堆栈阴极出口 11a 的空气进入微型燃气轮机的压缩机 22 前，与旁路空气混合后温度大约在 400-500°C。空气压缩后进一步在燃烧室 21 中加热至 1100°C 左右，驱动透平机 23 产生电力。

微型燃气轮机 2 的排气温度在 600°C 度左右，排气分别加热燃料电池堆栈进口端 11a，11A 的空气和燃料，温度降至大约 400°C，然后再在蒸汽发生器 51 加热水产生水蒸气，水蒸汽导入燃料电池内部重整器与燃料进行重整以产生电化学反应所需的氢气。排气中含有电化学反应生成的水，在冷凝器 52 中被回收，循环使用。

整个系统总发电量为燃料电池与燃气轮机的发电量之和。由于微型燃气轮机充分利用了高温燃料电池堆栈的排气热能，并产生额外的电力，因而整个系统的电效率可以达到 55%-65%。

这个混合动力系统的功率可以根据实际需要任意调整。它既可以用于固

定电站(数百 kW 到数 MW)，也可以用于汽车动力系统。根据现有主要部件的设计功率，通常整个汽车系统的功率在 20kW 以上。对于电动汽车，其功率需求一般为 60kW-150kW (轿车)或者 150kW-250kW(客车，巴士)。

对于给定的功率，也可以根据系统的运行要求，调整燃料电池与燃气轮机的功率大小，主燃料流量，旁路燃料流量，主空气流量，旁路空气流量及换热器热交换量都会相应发生变化，但各子系统的压力及操作温度是基本上固定的，保持设计值，如燃料电池堆栈在 700-1000℃，微型燃气轮机燃烧室温度在 1100℃ 左右。

例如，对于普通家用轿车，如果整个汽车所需的电功率是 80kW，那么该系统在标准设计工况下的主要参数如下表所示：

燃料电池堆栈功率 (kW)	燃料电池堆栈空气流量 (kg/h)	燃料电池堆栈燃料消耗量 (kg/h)	微型燃气轮机功率 (kW)	微型燃气轮机旁路燃料消耗量 (kg/h)	微型燃气轮机旁路空气消耗量 (kg/h)
60	111.5	10.0	20	0	78.5

在系统仿真试验中，该混合系统的设计工况效率达到了 60% (基于低热值 LHV)。

在启动及符合调节的操作运行中，如上所述，本系统已经采用了灵活的负荷分配和控制方法；然而，在系统的最初设计上，例如燃料电池与燃气轮机的功率比，也可以灵活变化。例如，对于上述 80kW 轿车动力系统，也可以采用以下设计参数：

燃料电池堆 栈功率 (kW)	燃料电池堆 栈空气流量 (kg/h)	燃料电池堆 栈燃料消耗 量(kg/h)	微型燃气 轮机功率 (kW)	微型燃气 轮机旁路 燃料消耗 量(kg/h)	微型燃气轮 机旁路空气 消耗量 (kg/h)
50	92.9	8.33	30	3.71	237.6

这个方案和前一个方案相比，由于燃气轮机/燃料电池堆栈功率比的增加，使得汽车启动及负荷调节性能都获得提高。然而，由于微型燃气轮机本身也消耗了部分燃料，其设计工况下整体效率只有前一个方案的 83%。在实际情况中，需具体考虑汽车用途及客户需求，在快速启动及快速负荷调整和系统效率间达到一个平衡。在这个平衡下，因该即满足了汽车启动所需要的最小功率，又可以使得稳定负荷下燃料旁路与主燃料旁路流量之比最小，以达到较高的系统效率除非根据汽车用途和客户要求，设计的稳定负荷下燃料旁路与主燃料旁路流量之比为 0，否则没有关闭旁路的过程，只有调节旁路流量的过程。对于其他的功率输出要求，可以相应地改变以上的设计参数即可。

天然气车用燃料电池混合动力装置的汽车

参见图 2，给出了天然气驱动车用燃料电池混合动力电动汽车的主要部件布置图。包括燃料电池单元 1、燃气轮机单元 2、蒸汽发生单元 5、热量回收单元 6，还包括电动机 7、汽车控制系统 8、天然气储气罐 9。其它图中未示出的装置包括电动机调速控制装置，传动装置，行驶装置，转向装置，制动装置等。所有装置的安装也可以根据现有技术的公知技术进行调整。

其中天然气储气罐 9 及汽车电子控制系统 8 位于汽车尾部，燃料电池单元 1 及燃气轮机单元 2，热量回收单元 6(包括回热器 61/62，图中未示)，蒸汽发生单元 5 包括蒸汽发生器 51(或雾化器)，凝结器 52 位于车前部。

本发明的系统首次提出了将高温燃料电池 SOFC 用于汽车应用。在汽车中，燃料系统还包括高压天然气储气罐 9，天然气分配控制系统(图中未示)，加气装置(图中未示)。

驱动电动机采用直流串激电动机或者直流无刷电动机(DCBM)。

电动机调速控制装置采用晶闸管斩波调速。

由于采用电动机的启动及调速换向，传统内燃机汽车的离合器，变速器，倒档，差速器都可以省去。

控制系统 8 按照本文描述的控制策略，根据外部负荷要求和系统的不同运行工况(启动, 稳定运行及负荷调节等工况)，控制输入量(主/辅燃料供应和主/辅空气供应)，并接受来自各个组件的运行温度，压力，流量，功率，气体浓度，外部负荷大小等参数的反馈，用本领域技术人员公知的方法分别对各个输入量作进一步的调整。

在本发明提及的所有文献都在本申请中引用作为参考，就如同每一篇文献被单独引用作为参考那样。此外应理解，在阅读了本发明的上述讲授内容之后，本领域技术人员可以对本发明作各种改动或修改，这些等价形式同样落于本申请所附权利要求书所限定的范围。

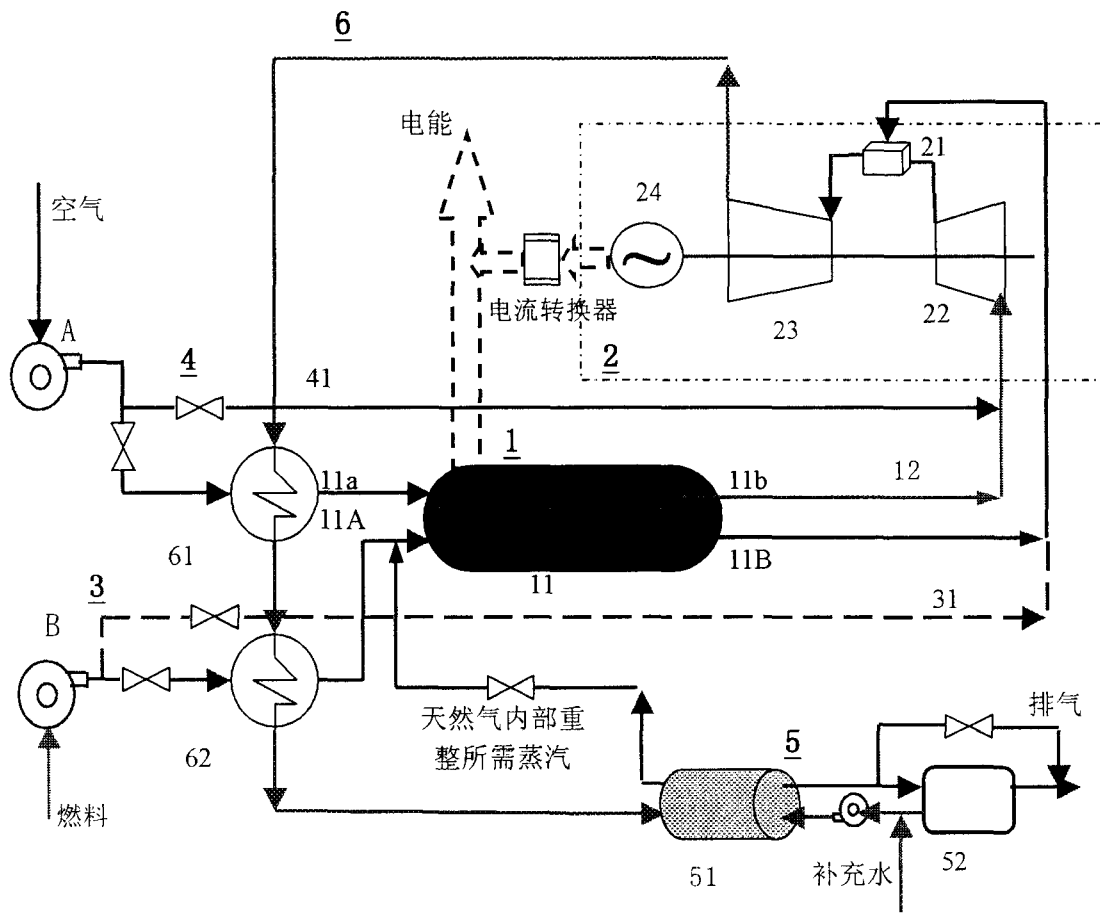


图 1

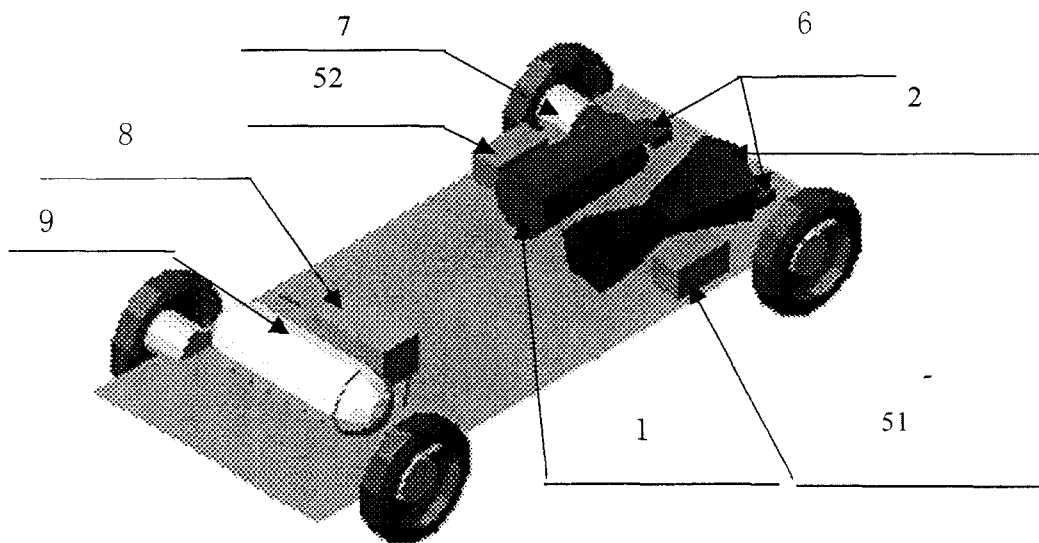


图 2