

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
H01M 8/04 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02819082.3

[45] 授权公告日 2006 年 10 月 18 日

[11] 授权公告号 CN 1280935C

[22] 申请日 2002.8.30 [21] 申请号 02819082.3

[30] 优先权

[32] 2001.8.31 [33] AU [31] PR7406

[32] 2001.8.31 [33] AU [31] PR7407

[86] 国际申请 PCT/AU2002/001184 2002.8.30

[87] 国际公布 WO2003/019707 英 2003.3.6

[85] 进入国家阶段日期 2004.3.29

[71] 专利权人 塞拉米克燃料电池有限公司

地址 澳大利亚维多利亚

[72] 发明人 斯科特·N·巴雷特

兹翁科·拉齐克

审查员 张晓琳

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所

代理人 刘志平

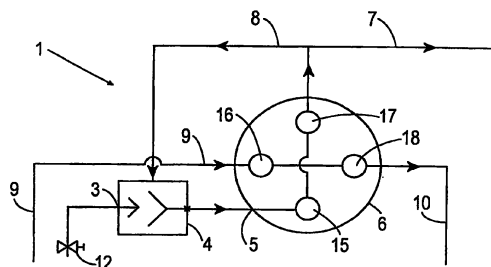
权利要求书 4 页 说明书 16 页 附图 3 页

[54] 发明名称

废气再循环的燃料电池系统和方法

[57] 摘要

一种燃料电池系统(1)和方法,在这种方法中利用燃料废气再循环管(8)和喷射泵(4)使燃料电池堆(6)中燃料废气再循环到该电池堆燃料侧的入口(5)。在入口(3)的主燃料气流形成喷射泵的原动力,该喷射泵(4)具有几何结构可变的喷嘴,从而可在主燃料中夹带不同比例的燃料废气,这样在电池堆的输出功率下调时,保持要求的燃料流量绕过燃料电池堆的阳极侧,并有利于提高电池堆的燃料利用率。



1. 一种燃料电池系统，包括：用燃料和含氧气体产生电能的燃料电池组件；连接于该燃料电池组件的主燃料管；装在主燃料管上适合于由主燃料流驱动的喷射泵，该喷射泵具有喷嘴、在喷嘴下游的夹带室和夹带室下游的混合管；燃料废气再循环管，该循环管从燃料电池组件通到夹带室，用于将燃料废气输送到夹带室；以及在主燃料管上的质量流量控制装置，位于喷射泵的上游，用于控制流到喷射泵的主燃料流量，其特征在于，该喷射泵的喷嘴具有可调的横截面积，从而可以提供主燃料从其流过的可变面积，由此可以改变夹带室中由主燃料夹带的燃料废气的比例。

2. 如权利要求 1 所述的燃料电池系统，其特征在于，喷射泵的喷嘴包括固定横截面的喷嘴孔和圆锥形阀体，该阀体可相对于喷嘴孔进行轴向调节，以改变喷嘴的横截面积。

3. 如权利要求 2 所述的燃料电池系统，其特征在于，阀体和喷嘴孔的横截面选自圆形和椭圆形。

4. 如权利要求 2 所述的燃料电池系统，其特征在于，阀体和喷嘴孔有相应的径向翼部或突出部分。

5. 如权利要求 2 所述的燃料电池系统，其特征在于，该喷嘴孔和夹带室中混合管的入口具有相同的横截面形状。

6. 如权利要求 2 所述的燃料电池系统，其特征在于，当阀体完全从喷嘴孔退出时，该喷嘴孔的横截面积大于夹带室中混合管入口的横截面积。

7. 如权利要求 1 所述的燃料电池系统，其特征在于，燃料废气再循环管从燃料电池组件伸出的燃料废气管上分支出来。

8. 如权利要求 1 所述的燃料电池系统，其特征在于，燃料废气再循环管将所有燃料废气输送到喷射泵中，该喷射泵具有在夹带室的排气口，以便排放过量的燃料废气。

9. 如权利要求 1 所述的燃料电池系统，其特征在于，该系统操

作在 40kPa 或者更低的主燃料压力下。

10. 如权利要求 1 所述的燃料电池系统，其特征在于，燃料源在一个源供应压力下将燃料输送到系统；位于喷射泵上游的装在主燃料管上的质量流量控制装置包括压力调节器，该压力调节器是可调的，从而可以在不超过该源供应压力的压力范围内将主燃料输送到喷射泵。

11. 如权利要求 1 所述的燃料电池系统，其特征在于，该质量流量控制装置包括泵，该泵由位于喷射泵上游的装在主燃料管上的流量传感器控制。

12. 如权利要求 1 所述的燃料电池系统，其特征在于，燃料电池组件是许多燃料电池组件中的一个组件，各个组件具有相应的主燃料管，以及装在该主燃料管上的适合于由主燃料流驱动的相应上述喷射泵，该燃料电池系统还包括相应的燃料废气再循环管线，该管线从各个燃料电池组件通到相关喷射泵的夹带室，用于将燃料废气输送到夹带室；各个喷射泵喷嘴的横截面积单独调节，从而形成主燃料从其流过的可变面积，由此可以改变在各个喷射泵中由主燃料夹带的燃料废气的比例。

13. 如权利要求 12 所述的燃料电池系统，其特征在于，相应质量流量控制装置配置在各个主燃料管上，位于相关喷射泵的上游，用于控制流到上述喷射泵的主燃料流量。

14. 如权利要求 12 所述的燃料电池系统，其特征在于，相应主燃料管从总的上燃料管分支出来，质量流量控制装置配置在总的主燃料管上。

15. 如权利要求 1 所述的燃料电池系统，其特征在于，该燃料电池组件或各个组件包括多个燃料电池堆。

16. 一种操作燃料电池系统的方法，在这种方法中，再循环从燃料电池组件流出的燃料废气，其特征在于，燃料废气利用喷射泵被夹带在主燃料流中，主燃料流流过该喷射泵的喷嘴，并与主燃料流混合；通过调节喷射泵喷嘴的横截面积，因而调节流过该喷嘴的主燃料流的

横截面积，便可改变输送到燃料电池组件的主燃料和燃料废气的混合流中燃料废气的比例。

17. 一种在燃料电池系统中用于调节输送到燃料电池组件的燃料流中蒸汽比例的方法，该方法包括利用喷射泵使燃料废气夹带在主燃料气流中，并与该气流混合，由此使燃料电池组件中的包含蒸汽的燃料废气再循环，该主燃料气流流过该喷射泵的喷嘴，其特征在于，通过调节喷射泵喷嘴的横截面积，因而调节主燃料气流流过该喷嘴的横截面积，改变输送到燃料电池组件的主燃料和燃料废气的混合流中的燃料废气的比例。

18. 如权利要求 16 或 17 所述的方法，其特征在于，该喷射泵能够在流过喷射泵喷嘴的主燃料流不夹带任何燃料废气的状态下工作。

19. 如权利要求 18 所述的方法，其特征在于，可以冲洗燃料电池组件，方法是调节喷射泵喷嘴，使其不夹带任何燃料废气，并用冲洗气流代替主燃料流。

20. 如权利要求 19 所述的方法，其特征在于，可以冲洗出燃料电池组件和喷射泵之间废气再循环管线中的燃料废气，方法是，使冲洗气体从喷射泵经废气再循环管线流到废气排出口。

21. 如权利要求 16 或 17 所述的方法，其特征在于，喷射泵仅仅再循环要夹带在主燃料流中的那部分燃料废气。

22. 如权利要求 16 或 17 所述的方法，其特征在于，所有燃料废气通过喷射泵再循环，过量的燃料废气经废气排出口从喷射泵排出。

23. 如权利要求 16 或 17 所述的方法，其特征在于，在喷射泵的上游进行主燃料流的质量流量控制。

24. 如权利要求 23 所述的方法，其特征在于，质量流量控制包括在降低主燃料流量时，以及减少主燃料流流过喷射泵喷嘴的横截面积使混合流中的燃料废气比例增加时，增加输送到喷射泵的主燃料流的输送压力。

25. 如权利要求 16 或 17 所述的方法，其特征在于，方法包括调节喷射泵喷嘴的横截面积，以便在燃料电池组件中的燃料电池阳极侧

保持选定的压差范围。

26. 如权利要求 24 所述的方法，其特征在于，在燃料电池组件的整个操作条件范围内，燃料电池阳极侧的压差变化不超过约 10%。

27. 如权利要求 16 或 17 所述的方法，其特征在于，该方法包括利用喷射泵关闭主燃料流。

28. 如权利要求 16 或 17 所述的方法，其特征在于，该喷射泵的作用是在主燃料源和燃料电池组件之间提供压降，由此使燃料电池组件与系统废气压力的变化相隔离。

29. 如权利要求 16 或 17 所述的方法，其特征在于，燃料电池系统包括许多燃料电池组件，各个组件具有相应的喷射泵，以便将燃料废气再循环到相应的组件；各个喷射泵喷嘴的横截面积可单独调节，从而可改变流过该喷嘴的主燃料流的横截面，由此可以独立地调节输送到相应燃料电池组件的主燃料和燃料废气的混合流中的燃料废气的比例。

30. 如权利要求 29 所述的方法，其特征在于，各个喷射泵喷嘴的不同调节用来控制流过该喷射泵的相应主燃料流量。

31. 如权利要求 16 或 17 所述的方法，其特征在于，该燃料电池组件或各个组件包括多个燃料电池堆。

废气再循环的燃料电池系统和方法

发明领域

本发明涉及废气再循环的系统和方法，该系统和方法特别用于燃料电池，但不是唯一用于燃料电池。

发明背景

最纯粹化学反应方面看，燃料电池用氢气和氧气发电，以蒸汽形式存在的水是副产品。然而不可避免地采用碳氢化合物燃料例如天然气或者更高(C_2+)烃类燃料作氢源，并用空气作氧源，该碳氢化合物燃料在燃料电池组件的上游受到重整。

固体氧化物燃料电池的一个优点是，为了在各个燃料电池的阳极侧用镍催化剂进行碳氢化合物燃料的内部蒸汽重整，700-1000℃的工作温度范围是足够高的。因为固体氧化物燃料电池的阳极通常是镍基的例如镍基陶瓷合金，所以可以在阳极上进行至少部分内部蒸汽重整。

碳氢化合物燃料的内部蒸汽重整，对于燃料电池组件的工作效率，特别是在使放热燃料电池反应与吸热重整反应的平衡方面具有优点。然而，碳氢化合物燃料的完全内部重整由于重整反应的吸热作用将趋向于过分冷却燃料电池，并在预加热燃料混合物期间造成碳的沉积，所以已经提出即进行碳氢化合物燃料的蒸汽预重整，又进行内部蒸汽重整。在 Ceramic Fuel Cells Limited 公司的国际专利申请 WO 01/13452 和 PCT/AU02/00128 中已说明这种系统的例子。

输送到燃料电池组件的燃料气流中必须存在蒸汽，以便进行内部蒸汽重整反应，在输送的燃料中蒸汽和碳的比(S/C)是重整反应中的一个重要参数。另外，在燃料气流中，蒸汽的存在还趋向于降低碳在镍催化剂上的沉积。

已经提出再循环燃料电池组件例如一个或多个燃料电池堆中的废气，以便提供内部重整反应所需的蒸汽。在操作蒸汽本身充分的燃料

电池系统时，使流出组件阳极侧的废气再循环，并与进入的主燃料气流混合。这样做的另一个优点是，可以克服燃料电池组件燃料利用率的限制。

利用一种装置可以实现燃料电池系统中燃料废气的再循环，这种装置必须能在高温下工作。为将阳极废气引入到进入的燃料气流中，不同的燃料电池研究人员已经提出各种装置。由一些燃料电池系统开发人员支持的一种方案已经采用喷气泵，例如欧洲专利申请 EP0673074 所述。在所有这些方案中，进入燃料或者主燃料气流经几何结构固定的精确加工的喷嘴排出。由此得到的高速喷射气流在夹带室中产生真空，由此经该夹带室的抽吸口抽入再循环的燃料废气。这两种气流在喷射泵的混合管中混合，并流到燃料电池组件的阳极侧进气管。

如上所述的喷气泵为了优化燃料电池系统的热效率只有一个单一的燃料利用率设计条件，使得由喷射泵抽入的再循环废体积在理论上正比于主燃料气流的体积（容易发生由系统中温差、主气流和再循环气流的相关密度变化以及在循环气流中蒸汽体积变化造成的不成比例的变化）。

这意味着，为了操作电力输出降低因而下调燃料输送量的燃料电池系统，在传统上降低通过燃料电池组件的燃料体积流量。这种低的流量很难在整个燃料电池组件内保持均匀流量分布。不均匀的燃料分布将导致在燃料电池组件中的各个电池之间的不均匀燃料利用率。最大局部燃料利用率是限制燃料电池安全操作（无损害操作的）一个因素。

按照燃料利用率控制阳极废气再循的量可以得到一种优点。为了保持燃料电池组件中的热平衡，燃料电池系统需要在组件的整个输出功率操作范围内改变燃料利用率水平。燃料利用率的变化改变了阳极废气的蒸汽量，因而直接影响需要达到适当 S/C 比所需的再循环阳极废气的量。

除止之外，如世界上天然气分配管路遇到的，用气高峰和低峰将

会引入碳氢比变化的主燃料气流。这种变化是季节性的，因为整个市场的天然气的需求在一年中是变化的。这种碳氢比的变化也改变了阳极废气再循环量与主燃料质量流量比的要求，而且不能用上述喷射泵满足这种要求，除非对最坏的情况设计喷射泵，因此碳氢比变化将降低效率。

为形成变化的再循环率，上述使用喷射泵的这些方案面临很大的困难。在线调节再循环量不是现成的，在气流斜坡上升时，系统具有（可利用蒸汽质量流的）共振时间，这种共振时间限制了燃料流的斜坡上升流量。当由燃料电池组件产生更多的蒸汽量时，又需要再循环更多的蒸汽，以满足增加燃料流量的蒸汽需求。在正常操作中，需要大量的过量蒸汽流，以便达到快速跟踪负载的能力和系统原料燃料气体成份变化的安全系数。当采用上述喷射泵时，对于燃料电池系统的热效率，这是一个很大的缺点。

其它的燃料电池系统开发者已经提出采用高温气体鼓风机使再循环废气和新的燃料气体进行适当混合，以达到阳极废气循环。然而，废气的高温使得采用鼓风机很不理想，特别需要热交换器来冷却鼓风机上游的燃料气体，然后在鼓风机的下游再加热燃料气体。除了在这些温度下操作的材料问题例如金属的蠕变和疲劳而外，鼓风机还具有一般机械磨损以及操作噪音和振动造成的缺点。

高温空气鼓风机具有能使主燃料与再循环燃料废气的比发生变化的优点。然而，当燃料电池系统工作在电力输出急剧下降（降低发电量）时，需要大量废气再循环，以便保持要求的燃料体积流量流到燃料电池组件。这种大量废气再循环需要最大的鼓风机负载，因此要求最大的电力负载。当输出电力因季节性特征而下调，同时又需要最高的鼓风机功率时，大大减少了燃料电池系统的发电效率。

本发明的一个目的是克服燃料电池系统中再循环燃料废气已知方案的上述缺点。按照本发明，采用一种喷射泵可以达到上述目的，该喷射泵具有喷嘴面积可变的结构，这喷射泵适合在主燃料进入喷射泵的混合管时控制燃料喷射的横截面积，由此可以控制作用在主燃料气

流上的动能。因此可以控制在喷射泵中由主燃料气流夹带的再循环燃料废气的比例。

称为面积可调的原动氢喷射器的喷射泵已在 Fox Valve Development Company 公司 (Dover, New Jersey, United States of America) 出的小册子“燃料电池的氢喷射器”中提出用在燃料电池方面, 用于再循环最高温度为 500°F (260°C) 的氢气、蒸气和空气。然而这些装置采用了在阻塞 (音速) 流动状态下工作的可变位阀针和阀座装置, 以便测量高压原动流量。因此, 已提出将这些装置用来控制在几百千帕主气流压力下的质量流量。如上所述, 这种应用不能够独立于原动的或者主气流流量改变再循环气流的流量, 因此不能改变夹带的再循环气体比例。

发明概要

按照本发明, 提供一种燃料电池系统, 该系统包括: 用燃料和含氧气体发电的燃料电池组件; 接在燃料电池组件上的主燃料管; 装在主燃料管中适合于由主燃料气流驱动的喷射泵, 该喷射泵具有喷嘴、在喷嘴下游的夹带室和在夹带室下游的混合管; 燃料废气再循环管道, 从燃料电池组件伸出, 通到夹带室, 用于输送燃料废气; 质量流控制装置, 装在主燃料管道上, 位于喷射泵的上游, 用于控制流向喷射泵的主燃料流量; 其中喷射泵的喷嘴其横截面是可调的, 从而可以提供面积变化的主燃料气流, 由此可以改变在夹带室中由主燃料夹带的燃料废气的比例。

按照本发明, 还提供一种操作燃料电池系统的方法, 在这种方法中, 使燃料电池组件中的燃料废气再循环, 其中利用喷射泵使燃料废夹带在主燃料气流中, 主燃料电池气流流过喷射泵的喷嘴并与主燃料气流混合, 其中通过调节喷射泵喷嘴的横截面积, 因而调节主燃料气流流过的横截面积, 改变输送到燃料电池组件的主燃气和燃料废气混合流体中的燃料废气的比例。

因此由本发明得到的夹带作用和主燃料气流的质量流速不成比例。这和用在燃料电池系统中典型喷射泵的特性不同, 典型喷射泵具

有固定的几何结构，不改变主燃料气流的横截面。当固定主燃料气流的横截面时，主燃料气流和夹带的循环气流在整个流量范围内基本上是成比例的。

改变再循环气流与主燃料气流的比例可以改变流向燃料电池组件的燃料气流中的 S/C 的比。另外，按照本发明，提供一种用于调节输送到燃料电池系统中燃料电池组件的燃料气流中蒸汽比例的方法，该方法包括再循环燃料电池组件中含蒸汽的燃料废气，方法是利用喷射泵将燃料废气夹带和混合在主燃料气流中，主燃料气流流过该喷射泵的喷嘴，其中通过调节该喷射泵喷嘴的横截面积，因而通过调节流过主燃料气流的横截面积，改变流向燃料电池组件的主燃料和燃料废气混合气流中的燃料废气的比例。

在优选实施例中，喷射泵喷嘴包括固定横截面的喷嘴孔和矛形阀体，该阀体可相对于喷嘴孔沿轴向进行调节，从而可以改变喷嘴的横截面积。G. H. Priestman 和 J. R. Tippetts 的题为“在高温废气内部再循环中应用面积可变的喷射泵”的论文 (Journal of the Institute of Energy, December 1995, 68, pp213-219) 已经提出用在炉子系统中再循环废气的这种面积可变喷射泵，此论文已作为参考文献包含在本文中。

在喷射泵优选实施例中的阀体和喷嘴孔可以具有任何适当的横截面形状，但是这种形状最好是圆形的、椭圆形的和有翼部的。一般说来，喷嘴孔和从夹带室伸出的混合管的至少一个入口基本上具有同样的横截面形状。

该喷射泵能够在主燃料气流流过喷射泵喷嘴 10 时不夹带任何燃料废气的条件下操作。在喷射泵的优选实施例中可以达到这种状态，不用在燃料废气再循环管道上配置关闭阀门，方法是形成喷嘴孔，使得在阀体完全从喷嘴孔退出时，该阀孔的横截面积大于从夹带室伸出的混合管的入口横截面积。这种结构在清洗燃料电池组件时具有很重要的优点，因为在用清洗气体代替主燃料气体时可以调节喷射泵，使其不夹带任何燃料废气，该清洗气体是不燃烧的气体例如惰性气体。

如果燃料电池组件中的一个或者多个燃料电池由于某种原因发生破裂时，空气可能从该电池的阴极侧流到阳极侧，导致阳极的破坏。在不存在再燃料废气时，这种阳极破坏只限于一个或多个已破裂的电池。然而，在再循环燃料废气时，侵入燃料废气中的空气可能使燃料电池组件的整个燃料侧受到氧气的污染。一般说来，可以在污染的燃料废气由主燃料气流再循环之，前识别这样氧气污染。然而如果受污染的燃料废气夹带在清洗气体中，则燃料侧的清洗气体仍将使燃料侧受到氧的污染，调节喷射泵，使其不夹带任何燃料废气，即可消除燃料侧污染的危险。

在这种冲洗中，最好使冲洗气体从喷射泵经废气再循环管流到废气排出口，这样便可以排出废气再循环管线中位于燃料电池组件和喷射泵之间的燃料废气。燃料废气再循环管线可以从燃料电池组件伸出的燃料废气管道上分叉出来，并只将要夹带的那部分燃料废气输送到喷射泵，在这种实施例中，原动的清洗气体可以直接流过燃料电池组件并且在燃料泵设定在不夹带任何燃料废气时可以向相反方向沿燃料废气再循环管流动。这种配置可以减小冲洗操作的共振时间，并能减小冲洗所需的气体量。

在另一实施例中，燃料废气再循环管将所有的燃料废气输送到喷射泵，该喷射泵在夹带室中具有废气排出口，以便排出过量的燃料废气。当喷射泵调节成不夹带任何燃料废气时，所有燃料废气将通过喷射泵的废气出口排出。在此实施例中，当喷射泵调节成不夹带任何废气时，在清洗操作中，所有原动清洗气体可以用喷射泵输送到燃料电池组件，并从该组件经燃料废气再循环管线流到喷射泵的废气排出口。

将所有废气输送到喷射泵的再循环管线和在夹带室中具有废气出口以便排出过多废气的喷射泵的这种装置，已经应用于除燃料电池系统外的其它废气再循环系统，并且是有利的，因为直接通过夹带室循环所有废气在结构上比已知的循环系统更简单。按照本发明的这一方面，提供了一种再循环废气的系统，该系统包括用燃料产生废气的组件、连接于该组件的主燃料管线、装在该主燃料管道上并适合于由主

燃料流体驱动的喷射泵、从该组件通到喷射泵夹带室以便输送组件中所有燃料废气的燃料废再循环管道以及在夹带室中的废气排出口，其中喷射泵的喷嘴具有可调的横截面积，从而使主燃料气体经喷嘴流出的面积是可变的，由此可以改变在夹带室中由主燃料夹带的燃料废气的比例，过多的燃料废气经废气排出口排出。

应当认识到，上面和下面关于燃料电池系统使用喷射泵的讨论一般还适用于任何其它系统以及如上一节所述的用燃料产生废气的组件。

在燃料电池系统中，本发明的优点在于，可以在操作期间使再循环燃料废气的质量流量随主燃料流量比例变化，并在于在正常操作期间可以使系统工作在最小的再循环流量，其优点还在于，可以很好地响应斜坡上升的燃料流量和电力输出。当降低发电量因而需要较低的燃料流量时，几何结构可变的喷射泵将会提供更多的再循环燃料废气，以稀释主燃料气流，并在整个输出电力下调范围内保持将要求的燃料流量输送到燃料电池组件。在最小输出电力时，增加了输送到燃料电池组件的燃料质量流量，从而有助于燃料的分布，并可以达到比用其它方式可能达到的更大的电力输出下调范围。如果没有这种结构，则降低电力输出操作期间，流到燃料电池组件中的燃料流量低，并在该组件中形成不良燃料分布，最后将造成在一个和多个燃料电池中局部缺少燃料，并不可逆转地损坏阳极，因为阳极受到氧化。因此本发明的方法最好包括调节喷射泵喷嘴的横截面积，以便在燃料电池组件的整个燃料电池两端保持选定的差动压力范围。

使用本发明的系统和方法时，在燃料电池组件的不同操作条件下，阳极侧的差动压力的变化从满功率操作条件到低功率输出操作条件其变化不超过约 25% 比较好。该差动压力的变化不大于约 15% 更好，最好不大于约 10%。

应当在喷射泵的上游进行主燃料气流的质量流量控制。在使用喷射泵的很多状态下，当降低主燃料流量和降低主燃料气流通过喷射泵喷嘴的横截面积，以便增加混合气流中燃料废气的比例时，可以在喷

射泵的上游进行主燃料气流的质量流量控制，方法是增加流到喷射泵的主燃料气流的输送压力。无论如何，这种情况是存在的，例如在降低燃料利用率时以及降低主燃烧气流流过喷射泵喷嘴的横截面积，以便独立于主燃料流量增加混合气流中燃料废气的比例时。由此可以改变燃料废气和主燃料气流的比例，以满足燃料电池组件的化学反应要求和适配组件的操作状态。

主燃料气流可以采用例如在燃料电池系统中的吹风机或者泵输送到喷射泵。然而，主燃料最好是已经经过局部预重整的天然气，这种天然气以例如 40kPa 的压力输送到燃料电池系统。流量控制装置可以包括压力调节器，该调节器将压力下调到喷射泵所需要的压力，以便控制要求的质量流量。通常在燃料的预加热处理、预重整处理和/或者脱流处理的上游进行质量流量的控制。可以用任何合适的方法来测量实际的质量流量。例如在冷区域可以用流量传感器（散热传感器、涡流传感器或者孔流量传感器等）测量流量。在一个实施例中，采用质量流量测量计进行质量流量控制，这种测量计具有整体的传感器、流量控制阀和/或者压力调节器。在另一实施例中，质量流量控制装置包括用流量传感器控制的泵，该流量传感器装在主燃料管上，位于喷射泵的上游。当需要增加主燃料气流压力，以保持要求的质量流量时，此实施例是有效的。

喷射泵的作用最好在主燃料源和燃料电池组件之间形成一种压差，由此使燃料电池组件与燃料电池组件废气压力的变化隔离，这种废气压力的变化是例如由于烟道效应或者内部瞬变状态造成的。在优选实施例中，可以采用例如喷射泵，使圆锥形的阀体完全插入喷嘴孔，由此可方便地关掉主燃料气流。

在燃料电池系统的一个实施例中，燃料电池组件是许多燃料电池组件中的一个组件，各个组件具有相应的主燃料管以及相应的适合于由该主燃料气流驱动的相应上述喷射泵，燃料电池系统还包括燃料废气再循环管路，该循环管路从各个燃料电池组件通向有关喷射泵的夹带室，以便将燃料废气输送到夹带室，各个喷射泵喷嘴的横截面积可

以个别调节，从而形成面积可变的主燃料气流，因而可以改变各个喷射泵中由主燃料夹带的燃料废气的比例。

采用许多燃料电池组件时，相应的质量流量控制装置可以装在各个主燃料管路上，位于相关喷射泵的上游，以便控制流到上述喷射泵的主燃料流量。可以从总的主燃料管路上分叉出相应的主燃料管路，质量流量控制装置可以配置在总的主燃料管路上。

当燃料电池系统包含许多燃料电池组件，而各个组件具有相应的喷射泵，以便将燃料废气输送到相应的组件时，本发明方法的一个有利特征是可以个别调整各个喷射泵喷嘴的横截面，以改变主燃料气流流过的横截面，由此可以调节流向相应燃料电池组件的主燃料和燃料废气混合气流中燃料废气的比例。

最好再循环从各个相应燃料电池组件中排出的燃料废气，但是也可以将从一个或者多个其它燃料电池组件中排出的燃料废气混合起来，然后使混合的燃料废气再循环到所有这些燃料电池组件。

一个或者各个燃料电池组件最好包括许多燃料电池堆，各个堆最好包括许多固体氧化物燃料电池，各个相邻的一对燃料电池由气体分离板分开。

与相应燃料电池组件相关的许多喷射泵中的各个泵最好由总燃料源供给主燃料。如果主燃料流量不变化，则喷射泵的差动调节将使主燃料气流按比例分配到这些泵。调节喷射泵喷嘴的横截面积将改变该喷射泵的流动阻力，当各个喷射泵的压差相同时，主燃料气流在各个喷射泵之间将按均衡变化。

附图的简要说明

下面参照仅作为举例的附图更详细说明本发明燃料电池系统和方法的实施例，这些附图是：

图 1 是示意系统配置图，示出燃料电池堆废气再循环的一个实施例；

图 2a 和 2b 局部截面示意透视图，示出用在图 1 系统中的可替代喷射泵；

图 3 是示意系统配置图，示出燃料电池堆废气再循环的第二实施例；

图 4 是局部截面示意图，示出图 3 所示系统的燃料侧。

详细说明

参考图 1，主要的或者原动的碳氢化合物燃料气流经燃料管 2 输送到几何结构变化的喷射泵 4 的入口 3，然后流到燃料电池堆 6 的燃料管 15 的燃料入口 5。该燃料然后绕过组件中各个燃料电池的阳极，并经燃料废气管道 17 排到废气管 7。燃料废气的一部分从管道 7 引出，沿再循环管道 8 进入喷射泵 4，与通过管道 2 的原动/主燃料气流混合。当燃料通过电池堆时，空气也从空气输入管 9 流到空气入口管 16，并流过电池堆，在电池堆中空气绕过电池堆中各个燃料电池的阴极，然后经空气支管 18 排到空气排出管 10。

碳氢化合物燃料通常用天然气或者更重的烃类燃料，该燃料已经在喷射泵 4 上游的蒸汽预重整器（未示出）中进行部分蒸汽预重整。另外，在喷射泵 4 的上游，最好在预重整器的上游配置流量控制装置 12。如果输送的燃料是天然气，则在约 40kPa 的源压力下将天然气输送到燃料电池系统 1，在这种情况下，质量流量控制装置 12 包括流量传感器，该传感器连接于压力下降控制阀，调节该阀可以在主燃料入口 3 处提供要求的质量流量。或者，装置 12 可以是例如流量传感器，该传感器连接于可以提供要求质量流量的变速泵。

燃料电池堆 6 可以是燃料电池组件中若干固体氧化物燃料电池堆中的一个堆，喷射泵 4 将主燃料和再循环燃料废气的混合气流输送到该电池堆。在优选实施例中，喷射泵 4 可以将燃料气流分送到 4 个这样的燃料电池堆 6。收件人众所周知固体氧化物燃料电池的燃料电池堆，为了方便起见，下面不再进一步说明这种电池堆。

下面参考图 2a，图中示意示出喷射泵 4 的一个实施例 20。该喷射泵 20 具有主体 22，该主体形成进气室 24、夹带室 26、横截面面积恒定的混合管 28 和燃料气流排出口 30。在混合管 28 和出口 30 之间的张开部分通过小角度汇合成出口和下游管道的形状的尺寸，从而将混

合管中的动能还原成静压力。主燃料入口 3 通到进气室 24，该进气室通过喷嘴孔 32 与夹带室 26 连通。燃料废气再循环管 8 通过孔 34（图 2a 中只能看到一部分）进入夹带室，而夹带室通过进气口 34 与混合管 28 连通。

矛形阀体 38 可以沿轴向伸过进气室 24，并由未示出的装置支承，以便进行轴向调节。调节装置可以包括螺纹调节装置，利用这种装置可以转动阀体，使其前进和后退。进气室 22 由喷射泵主体 22 端部 40 上的壁（未示出）封闭，锥形阀体 38 可以在密封状态穿过该壁，因为矛形阀体 38 轴向伸过进气室 24，所以主燃料进气管从横向方向进到进气室中。

矛形阀体 38 在其前端具有圆锥形的矛头 42，该矛头可以伸入到喷嘴孔 32，从而与该喷嘴孔形成主燃料气流的面积可变的喷嘴。然而，可以轴向调节阀体 38，使得圆锥形的前端 42 可以完全嵌入到喷嘴孔 32 中，使喷嘴关闭，或者可以从该喷嘴孔中完全退出该前端。

在图中示出的喷嘴孔 32、矛形的阀体 38、混合管 28 和混合管入口 36 的横截面是圆形的，但该横截面可以是例如椭圆形的。喷嘴孔 32 的直径为 d ，该直径大于横混合管 28 入口的直径 D ，因此喷嘴孔的横截面面积大于混合管入口的横截面面积。矛形阀体的圆锥前端 42 其锥角约为 40° 。在未示出的另一实施例中，可以用圆的前端例如抛物面端部代替圆锥形前端 42。该圆形前端最好在一个很小的角度范围内与阀体的其余部分并合，例如在 $0^\circ-5^\circ$ 的范围内并合，从而达到对喷嘴关闭位置的准确控制。

图 2b 中示出喷射泵 4 的另一实施例 44。该喷射泵 44 基本上与喷射泵 20 相同，为方便起见，下面只说明与喷射泵 20 不同的地方。该喷射泵 44 具有矛形阀体 46，该阀体具有圆锥形的前端 48，该前端具有加大的径向翼部或者突出部分 50。该喷嘴孔 52 具有相应的横截面，因此矛形阀体的前端可以封闭该喷嘴，或者可以完全从喷嘴中退出。另外，虽然未示出，但是混合管 54 和其入口 56 具有相应的横截面形状，该横截面的面积小于喷嘴孔的横截面面积。混合管入口 56 的相应

叶片形横截面形状可以逐渐地通过扩散部分 58 或者混合管 54 中扩散部分与燃料出口 30' 并合。这种叶半形结构或者有肋片的结构可以增强再循环燃料废气的被夹带和混合。

为方便起见,下面说明燃料电池系统 1 的喷射泵 20 的操作。和先前提出的用喷射泵进行燃料电池废气再循环的系统一样,当矛形阀体 38 进入喷嘴孔,限制喷嘴的横截面积时,喷射泵进气室 24 中的主燃料可由喷嘴孔 32 改变喷入夹带室的主燃料喷射流的横截面积和增加该喷射流的速度。因此,在喷嘴上游的主燃料气流的压力便局部转换成在喷嘴上的动能,并在喷嘴的两侧形成压差。这种压差可以降低夹带室中主燃料气流的压力到低于再循环燃料废气入口 8 处的燃料废气压力,由此可以将燃料废气抽入到夹带室中,并进入管子 28,在管子中这两个气流相混合。然后,混合气流的动能在横截面积减小的混合管下游恢复成压力。

向前将矛形阀体 38 移喷嘴孔 32 可以增加喷嘴两端的压差,从而使更大比例的燃料废气抽入到夹带室 26 中,并进入混合管 28。在利用流量控制装置 12 降低流到喷射泵和燃料电池堆的主燃料流量,降低燃料电池堆的电力输出时,在电力输出下调期间,这样便能使基本上恒定的差动压力保持在燃料电池堆中的燃料电池阳极的两端。将主燃料保持在这种低的质量流量需要增加原动压力,调节压力调节装置可以实现这种增加。

从喷嘴孔 32 部分退出矛形阀体 38 可以降低喷嘴两端的压差,结果,较小部分的燃料废气从燃料废气再循环管道 8 中被带走。

如果需要调节燃料利用率,保持燃料电池系统中的热平衡,则需要调节由燃料废气再循环的蒸汽比例。调节喷嘴的横截面积,因而调节喷嘴两端的压差而不调节上游流量控制装置可以实现这种调节。下面再进一步说明,为了保持热平衡,在燃料电池堆输出电力的整个操作范围内,燃料电池系统要求燃料利用率水平发生变化。利用率的变化将改变电池堆阳极废气中蒸汽的比例。因此,可以应用再循环废气比例的变化对此进行补偿,通过调节喷嘴横截面的直径和喷嘴两端的

压差可以改变再循环废气的比例。

想在电池堆的燃料侧保持基本上恒定的差动压力，以便确保在降低主燃料流量时在整个电池堆上保持适当的燃料流量分布时，所需的蒸汽与碳的比例超过在输出电力操作范围内由再循环废气适当保持的比例。因此，可以在系统的输出电力范围采用高的燃料利用率，这是有利的，因为在较低燃料利用率时，加入蒸汽稀释燃料趋向于降低燃料电池的电力输出。按照本发明，由于流动分布较均匀，具有较高的质量流量，而且在电池堆中具有较低的温度梯度，所以可以减轻主燃料低流量时燃料利用率的限制。

取决于系统的设计和电力输出状态，典型的燃料利用率为25%-70%。在65%的燃料利用率的情况下，在电池堆燃料侧上保持基本上恒定差动压力的条件下，在40%的系统电力输出40%时，该蒸汽与碳的比可以在例如约2.25-4.8之间变化。在这些条件下，在上游预重整器上采用比为1的恒定S/C比进行的模拟试验已经显示出，当S/C之比在电池堆上是2.25时，在燃料电池堆上流量的变化，在电池堆上的S/C比为2.25，而喷射泵主燃料入口压力为40kPa时，从341L/min变化到在在电池堆上S/C之比是4.8，而喷射泵主燃料入口压力为40kPa时的196L/min。这代表主燃料流量以L/min为单位的的变化。电池堆的实际体积流量仍保持大约相同，从而可以在燃料侧的两端保持要求的差动压力，但是压力可能稍微增加或降低，这受到温度和燃料利用率的影响（这种影响改变气体组份）。

下面说明图1所示燃料电池系统实施例的模拟实验，假定燃料电池的功率和热平衡约为40kW。另外，在输出功率降低到40%的条件下，作为例子，假定恒定燃料利用率为65%，在这种利用率条件下，系统可以保持热量自持。假定由上游质量流量控制操作确定的主燃料流量可以从例如再循环气体压力得到40kPa的原动压力。

在输出功率降低时，主燃料流量降低到36%的摩尔流量，然后调节喷射泵，将再循环的废气体积流量增加35%的摩尔流量，以补充流到电池堆中主燃料流量的降低。

结果流到电池堆的混合流量减小到 90%的全功率电池堆入口摩尔流量。因此，虽然在电池堆上可观察到稍微降低的摩尔流量，但是这种降低与主燃气摩尔流量的 64%降低不成比例。在燃料电池堆阳极侧的差动压力保持在全功率差动压力的 77%。压力的不成比例的变化有利于在电池堆上保持均匀的温度梯度和均匀的流动分布。

下面说明上述燃料电池系统的另一例子，差别是，通过上游的质量流量控制装置，主气流可以利用 75kPa 原动压力。在这种情况下，可以利用高再循环气体压力或者利用作为上游质量流量控制装置一部分的变速鼓风机来提供原动压力。

在输出功率降低到 38%的情况下，以 65%恒定的燃料利用率作例子，在这种情况下，系统可以是热量自持的。

在这种情况下，主气流量降低到全功率摩尔流量的 36%，而在再循环废气的体积流量增加 76%的摩尔流量，方法是，调节喷射泵，以补足流到电池堆的主燃料流量的降低。由此流到电池堆的混合液体的摩尔流量增加 12%，超过全功率操作期间所用的流量，所以可以在燃料电池堆的阳极侧保持全功率设计的目标差动压力。

改变燃料利用率来保持热量平衡的方法还可以进一步降低系统的输出功率，同时保持热量平衡。上面例子已经证明，可以在最大燃料利用率操作的范围内采用喷射泵。

一般说来，在降低主燃料摩尔流量时，用燃料电池堆 6 的燃料废气来增加要求的阳极侧体积燃料流量，可以使燃料电池的功率输出下调范围扩大，同时可以保持适量流量，以达到燃料均匀分布。换言之，（1）由于下调期间要求功率输出降低而使输出到燃料电池堆的主燃料量降低，或者（2）燃料利用率改变，或者（3）例如季节性需求时造成供应燃料中主燃料的氢和碳的比改变时，均可容易地通过改变输送到电池堆的主燃料和再循环废气混合气流中废气的比例进行补偿。这样便可确保电池堆阳极侧具有足够的蒸汽供应和通过的流量，以继续有效的操作，否则，不充分的燃料分布将使个别的电池受到损害，并必须停机。

在某些情况下，输送到电池堆 6 的燃料气流中完全不需要再循环的废气，为此，喷射泵 20 设计成使得小 d 大于 D 。当操作喷射泵，使得流过喷嘴的主燃料气流的横截面积大于混合管入口 34 的横截面积时，该燃料气流中便不夹带任何废气。在空气已经漏入到燃料电池中一个电池的燃料侧时，例如由于电池的破裂等造成的这种渗漏时，这种操作模式是特别有利的，因为包含氧气的燃料废气可能使电池整个堆受到损害，如果通过电池堆进行再循环的话。在正常使用燃料电池系统时，或者甚至在一个燃料电池中发生渗漏之后冲洗系统时，都可能发生这种问题。

为了进行“冲洗”操作，用冲洗气体（最好是惰性气体）代替主燃料，将其输送到喷射泵 20 的进气室 24，并调节喷射泵的喷嘴，将矛形阀体 38 从喷嘴孔 32 中退出，使得冲洗气体不夹带任何废气。然后使冲洗气体流过燃料电池堆阳极侧，以对其进行冲洗。另外，在小 d/D 大于 1 时，可以利用“溢出”的惰性气体，迫使一部分惰性气体从夹带室 26 反向流到排放管 7，从而通过使流体在再循环管 8 中的反向流动，从系统 1 中完全排出废气。电池堆 6 和再循环管 8 中的冲洗气体可以经废气管 7 排出。

图 3 示出本发明燃料电池系统的第二实施例 60。图中示出的再循环废气系统 60 其配置大体与图 1 所示的系统 1 相同，经流量控制装置 68，燃料管 62 将主燃料输送到几何结构可变的喷射泵 66 的入口 64，然后再输送到燃料电池堆 72 的燃料入口 70。该燃料同样绕过燃料电池堆中各个燃料电池的相应阳极，并排到排气管 74。空气输入管 76 和空气排出管 78 配置成使空气流过电池堆的阴极侧，以便使电池堆 72 发电。

然而，系统 60 没有从图 1 所示排气管 7 分叉的再循环管 8，因为从电池堆接出的排气管 74 直接进入喷射泵 66。从喷射泵 66 接出的再循环废气排出管 80 可以使没有流过电池堆 72 的废气排出系统 60。

下面参考图 4，图中仅示出系统 60 的燃料侧，可以看到，喷射泵 66 类似于图 2a 所示的喷射泵 20（或者图 2b 所示的喷射泵 44），下

面仅说明它们的差别。喷射泵 66 具有加大的夹带室 82，所有的燃料废气均由排气管 74 输送到该夹带室中，而再循环废气排出管 80 经燃料电池系统排出夹带室中的燃料废气。除所有废气流过夹带室而外，喷射泵 66 的操作方式与喷射泵 20 的操作方式完全一样。

系统 60 和参照图 1 说明的系统相比具有另一优点，即排气管 74 直接通到喷射泵，因而不需要再铺设管道，不需利用排气管 7 分支出来的再循环管 8 来单独抽吸废气。

技术人员应当看到，本发明除上述具体说明的实施例而外，可以进行改变和改型。应当明白，本发明包括符合其精神和范围的所有这些改变和改型。本发明还包括所有在本说明中提到的，或者以单独方式或共同方式指出的所有步骤、特征、组份和化合物，并包括所有上述步骤和特征中任何两个和多个的任何和所有结合。具体是，系统 60 适用于用燃料产生废气的组件中利用废气循环的其它方面，不一定限于具体用在燃料电池工艺方面。

在通篇说明中以及下面的权利要求书中，除非上下文需要，词“包含”以及其语法变型词应当被理解为包括所说的总体或者步骤，或者成组的总体或者步骤，但不排除任何其它的总体和步骤，或者成组的总体和步骤。

在本说明中提到的任何先有技术不能也不应当看作为一种承认，或者看作为任何形式的暗示：该先有技术形成普通的一般知识的一部分。

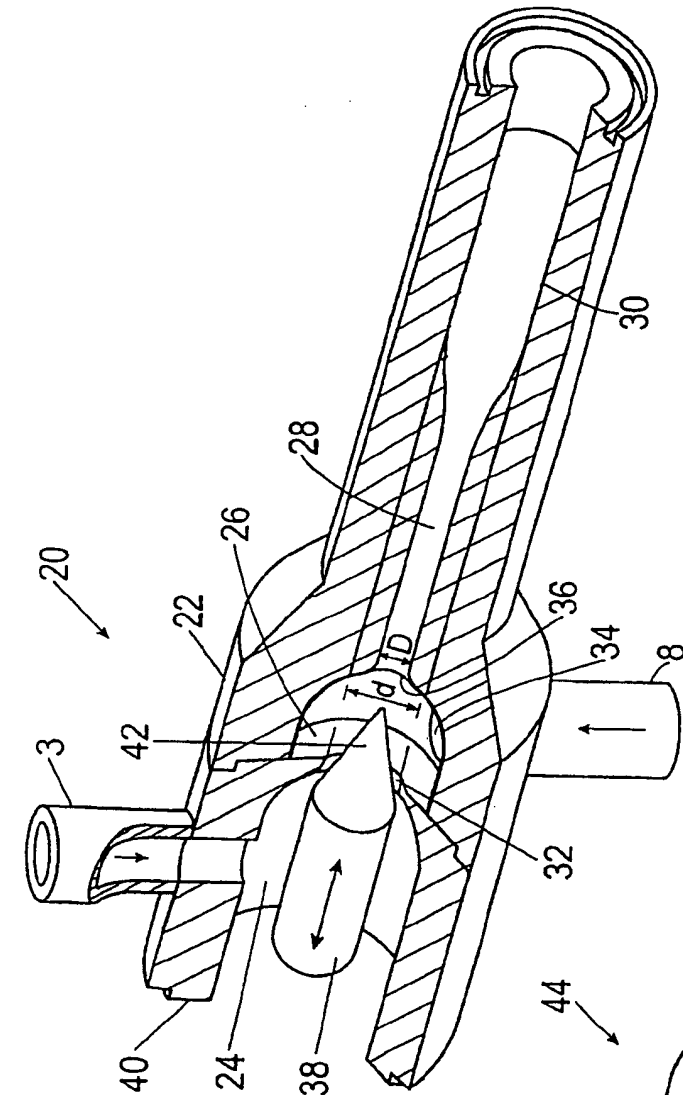


图 2a

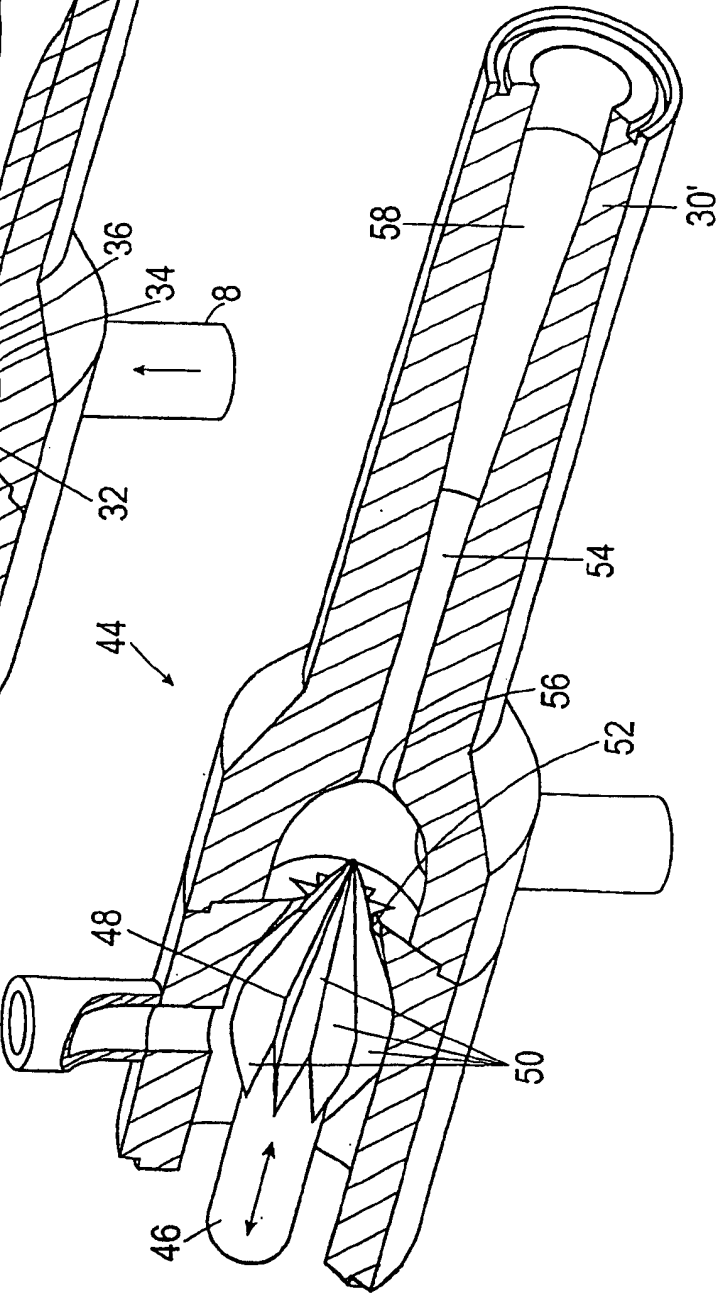


图 2b

图 3

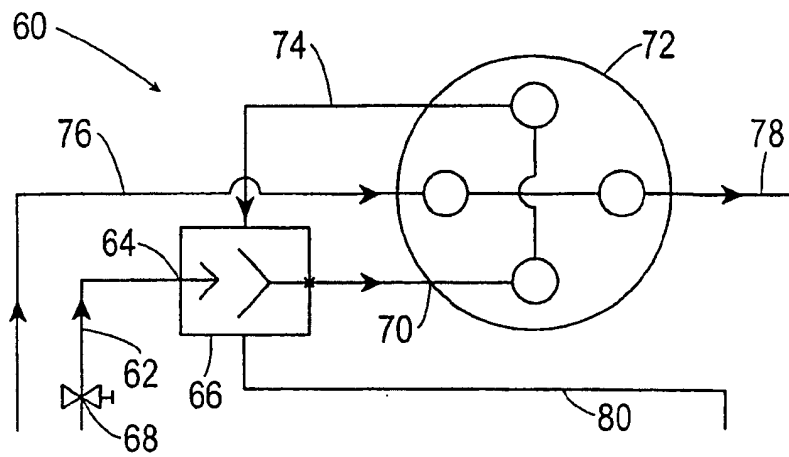


图 4

