

[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 200710106487.1

[45] 授权公告日 2010 年 1 月 20 日

[11] 授权公告号 CN 100583527C

[22] 申请日 2007. 6. 1

[21] 申请号 200710106487.1

[30] 优先权

[32] 2006. 6. 1 [33] US [31] 11/445362

[73] 专利权人 通用汽车环球科技运作公司

地址 美国密执安州

[72] 发明人 D·A·阿瑟 M·辛哈

[56] 参考文献

CN1612396A 2005.5.4

JP2002-164069A 2002.6.7

US2005/0186457A1 2005.8.25

US2005/0095474A1 2005.5.5

审查员 余碧涛

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 温大鹏

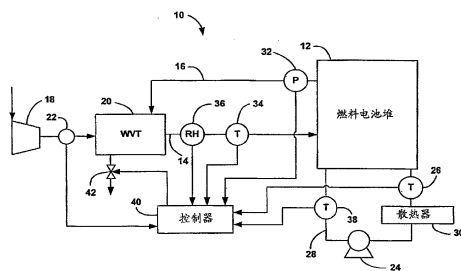
权利要求书 3 页 说明书 8 页 附图 3 页

[54] 发明名称

用于使瞬变期间的相对湿度偏移最小化的多
压力状态控制

[57] 摘要

一种用于燃料电池堆的控制系统，所述控制系统通过降低动态压力范围且因此降低动态的阴极出口气体的相对湿度范围，从而对燃料电池堆功率瞬变期间的阴极出口气体的相对湿度进行控制以提供更好的阴极出口气体相对湿度控制。在一个实施例中，所述控制系统基于燃料电池堆功率瞬变期间的燃料电池堆电流密度利用第一更窄阴极压力范围以提供更好的阴极出口气体相对湿度控制，且基于低电流密度和稳态电流密度期间的燃料电池堆电流密度利用第二更宽阴极压力范围以通过减少压缩机寄生现象而改进系统效率。



- 1、一种燃料电池系统，所述燃料电池系统包括：
接收阴极入口空气流并输出阴极排气流的燃料电池堆；
用于将所述阴极入口空气流供应至所述燃料电池堆的压缩机；
接收来自所述压缩机的所述阴极入口空气流和来自所述燃料电池堆的所述阴极排气流的水蒸汽输送装置，所述水蒸汽输送装置利用所述阴极排气中的水蒸汽对所述阴极入口空气进行湿化；和
用于控制所述阴极排气流的相对湿度以便控制所述阴极入口空气的相对湿度的控制器，如果所述燃料电池堆的电流密度低于预定值，则所述控制器基于由所述燃料电池堆产生的电流密度而在第一阴极压力范围内运行，且如果所述燃料电池堆的电流密度高于所述预定值，则所述控制器基于由所述燃料电池堆产生的电流密度而在第二阴极压力范围内运行，其中所述第二压力范围比所述第一压力范围更窄。
- 2、根据权利要求1所述的系统，其中如果所述燃料电池堆的电流密度低于所述预定值或处于稳态运行状态下，则所述控制器在所述第一压力范围内运行，且如果所述燃料电池堆的电流密度高于所述预定值且处于功率瞬变状态下，则所述控制器在所述第二压力范围内运行。
- 3、根据权利要求2所述的系统，其中所述功率瞬变是向上的功率瞬变。
- 4、根据权利要求3所述的系统，其中当所述电流密度低于所述预定值或处于稳态时，所述控制器在所述向上功率转变之后在一定时长内保持所述阴极压力处于所述第二压力范围内。
- 5、根据权利要求4所述的系统，其中所述时长为60秒。
- 6、根据权利要求1所述的系统，其中所述第二压力范围在整个燃料电池堆电流密度范围内提供了比所述第一压力范围更高的压力。
- 7、根据权利要求1所述的系统，进一步包括位于阴极排出管线内的回压阀，所述控制器打开和关闭所述回压阀以改变所述阴极压力。
- 8、根据权利要求1所述的系统，其中所述第一压力范围提供了更高的系统效率且所述第二压力范围提供了更好的阴极排气相对湿度控制。
- 9、根据权利要求1所述的系统，其中所述第一压力范围为102kPa-143kPa且所述第二压力范围为120kPa-143kPa。

- 10、根据权利要求1所述的系统，其中所述预定值为 $0.1\text{A}/\text{cm}^2$ 。
- 11、一种燃料电池系统，所述燃料电池系统包括：
接收阴极入口空气流并输出阴极排气流的燃料电池堆；和
用于控制所述阴极排气流的相对湿度以便控制所述阴极入口空气流的相对湿度的控制器，如果所述燃料电池堆的电流密度低于预定电流密度或处于稳态运行状态下，则所述控制器在第一阴极压力范围内运行，且如果所述燃料电池堆的电流密度高于所述预定值且处于动态循环中，则所述控制器在第二阴极压力范围内运行。
- 12、根据权利要求11所述的系统，其中所述第一压力范围为 102kPa - 143kPa 且所述第二压力范围为 120kPa - 143kPa 。
- 13、根据权利要求11所述的系统，其中所述预定值为 $0.1\text{A}/\text{cm}^2$ 。
- 14、根据权利要求11所述的系统，其中当所述电流密度低于所述预定值或处于稳态时，所述控制器在所述动态循环之后在一定时长内保持所述阴极压力处于所述第二压力范围内。
- 15、根据权利要求14所述的系统，其中所述时长为60秒。
- 16、根据权利要求11所述的系统，其中所述第二压力范围在整个燃料电池堆电流密度范围内提供了比所述第一压力范围更高的压力。
- 17、根据权利要求11所述的系统，其中所述第二压力范围比所述第一压力范围更窄。
- 18、根据权利要求11所述的系统，其中所述第一压力范围提供了更高的系统效率且所述第二压力范围提供了更好的阴极排气相对湿度控制。
- 19、一种用于控制燃料电池堆的阴极压力的方法，所述方法包括：
如果所述燃料电池堆的电流密度低于预定电流密度或处于稳态电流密度下，则利用第一阴极压力范围；并且
如果所述燃料电池堆的电流密度高于所述预定值且处于动态循环中，则利用第二阴极压力范围。
- 20、根据权利要求19所述的方法，其中所述第二压力范围比所述第一压力范围更窄。
- 21、根据权利要求19所述的方法，其中所述第一压力范围为 102kPa - 143kPa 且所述第二压力范围为 120kPa - 143kPa 。
- 22、根据权利要求19所述的方法，其中所述预定值为 $0.1\text{A}/\text{cm}^2$ 。

23、根据权利要求 19 所述的方法，进一步包括当所述电流密度低于所述预定值或处于稳态时，在所述动态循环之后在一定时长内保持所述阴极压力处于所述第二压力范围内。

24、根据权利要求 19 所述的方法，其中所述第二压力范围在整个燃料电池堆电流密度范围内提供了比所述第一压力范围更高的压力。

25、根据权利要求 19 所述的方法，其中所述第一压力范围提供了更高的系统效率且所述第二压力范围提供了更好的阴极排气相对湿度控制。

用于使瞬变期间的相对湿度偏移最小化的多压力状态控制

技术领域

本发明主要涉及一种用于控制来自燃料电池堆的阴极排气的相对湿度的系统和方法，且特别是，本发明涉及一种用于控制来自燃料电池堆的阴极排气的相对湿度的系统和方法，所述方法包括基于燃料电池堆功率瞬变期间的燃料电池堆电流密度改变阴极压力的运行范围。

背景技术

氢由于其清洁以及可用于在燃料电池中高效发电的性能而是一种非常有吸引力的燃料。氢燃料电池是包括阳极和阴极以及位于其间的电解质的电化学装置。阳极接收氢气且阴极接收氧或空气。氢气在阳极产生离解以产生自由氢质子和电子。氢质子通过电解质到达阴极。氢质子在阴极与氧和电子进行反应以产生水。来自阳极的电子不能通过电解质，且因此在被传送至阴极之前被引导通过负载而作功。

质子交换膜燃料电池（PEMFC）是一种普遍采用的用于车辆的燃料电池。质子交换膜燃料电池通常包括固体聚合物电解质质子传导膜，如全氟磺酸膜。阳极和阴极通常包括担载在碳颗粒上且与离聚物混合在一起的极细分散的催化颗粒，所述催化颗粒通常为铂（Pt）。催化混合物被沉积在膜的相对侧上。阳极催化混合物、阴极催化混合物和膜的组合限定出膜电机组件（MEA）。膜电机组件的制造成本相对较为昂贵且需要特定条件以实现有效运行。

多个燃料电池通常被组合在燃料电池堆中以产生所需功率。例如，用于车辆的典型燃料电池堆可具有两百或更多叠置在一起的燃料电池。燃料电池堆接收阴极输入气体，所述阴极输入气体通常为在压缩机的作用下受力通过燃料电池堆的空气流。燃料电池堆并未消耗所有的氧且一些空气作为阴极排气被输出，所述阴极排气可包括作为燃料电池堆副产物的水。燃料电池堆还接收阳极氢输入气体，所述阳极氢输入气体流入燃料电池堆的阳极侧。

燃料电池堆包括位于燃料电池堆中的多个膜电机组件之间的一系列双极板，其中双极板和膜电机组件位于两块端板之间。双极板包括

用于燃料电池堆中的相邻燃料电池的阳极侧和阴极侧。阳极气体流道被设置在双极板的阳极侧上，所述阳极气体流道允许阳极反应剂气体流至相应的膜电机组件。阴极气体流道被设置在双极板的阴极侧上，所述阴极气体流道允许阴极反应剂气体流至相应的膜电机组件。一块端板包括阳极气体流道，且另一块端板包括阴极气体流道。双极板和端板由传导材料如不锈钢或传导复合材料制成。端板将由燃料电池产生的电力传导出燃料电池堆。双极板还包括供冷却流体流动通过的流道。

过高的燃料电池堆温度可能损伤膜以及燃料电池堆中的其它材料。燃料电池系统因此采用热子系统以控制燃料电池堆的温度。特别是，冷却流体被泵送通过燃料电池堆中的双极板中的冷却流体流道以带走燃料电池堆的废热。在正常的燃料电池堆运行过程中，基于燃料电池堆负载、环境温度和其它因素控制泵速，以使得燃料电池堆的运行温度被保持处于最佳温度例如 80°C 。散热器通常被设置在燃料电池堆外部的冷却剂回路中，所述散热器使受到燃料电池堆加热的冷却流体得到冷却，其中受到冷却的冷却流体循环返回并通过燃料电池堆。

正如本领域中易于理解地，燃料电池膜在特定的相对湿度（RH）下运行以使得膜两端的离子电阻足够低从而有效地传导质子。通过控制多个燃料电池堆的运行参数如燃料电池堆压力、温度、阴极化学计量比和进入燃料电池堆内的阴极空气的相对湿度，而对来自燃料电池堆的阴极出口气体的相对湿度进行控制，从而控制膜的相对湿度。出于对燃料电池堆耐久性的考虑，所希望的是使膜的相对湿度循环次数最小化，其原因在于已经表明，在相对湿度极值之间进行的循环严重限制了膜的寿命。膜的相对湿度循环导致膜由于吸水过程和随后的干燥过程而产生膨胀和收缩。膜产生的这种膨胀和收缩导致在膜中产生针孔，这样就形成了使氢和氧通过膜的横穿部位从而形成热点，这进一步增加了膜中的孔的尺寸，由此缩短了膜的寿命。进一步地，如果阴极出口的相对湿度小于 100%，那么燃料电池将更不易于产生溢流。同样，通过减少燃料电池堆中的液体水，将更易于在停止运行过程中对燃料电池堆进行吹扫从而降低产生冻结的几率。

在燃料电池的运行过程中，来自膜电机组件和外部湿化装置的湿气可能进入阳极流道和阴极流道。在通常低于 0.2 A/cm^2 的低电池功率

需求下,水可积聚在流道内,原因在于反应剂气体的流速过低从而无法使水受力离开通道。随着水的积聚,在流道中形成了液滴。随着液滴尺寸的增大,流道发生阻塞,且由于在共用的入口和出口歧管之间通道是平行的,因此使得反应剂气体转向其它流道。随着液滴尺寸的增大,液滴的表面张力可以变得比设法将液滴推至排出歧管的压力变化量更强,因此使得反应剂气体可能不流动通过被水堵塞的通道,由此使得反应剂气体不能加压使水排出通道。由于通道受到堵塞而不接收反应剂气体的膜的那些区域将不产生电力,因此导致产生不均匀的电流分布且降低了燃料电池的总效率。随着越来越多的流道受到水的堵塞,燃料电池产生的电力下降,在电池电压低于 200mV 的情况下则认为电池失效。由于燃料电池被电串联在一起,因此如果多个燃料电池中的一个停止工作,则整个燃料电池堆可能停止进行工作。

正如上面提到的,水是作为燃料电池堆运行的副产物而产生的。因此,来自燃料电池堆的阴极排气将包括水蒸汽和液体水。利用水蒸汽输送(WVT)单元捕获阴极排气中的一些水并利用水对阴极输入空气流进行湿化是本领域中已公知的手段。

阴极出口气体的相对湿度(RH)是阴极化学计量比、阴极出口气体压力和离开燃料电池堆的冷却流体温度的函数。从相对湿度控制的角度进行考虑,所希望的是保持阴极化学计量比、阴极出口气体压力和阴极出口气体温度大体上恒定,从而保持所需相对湿度。然而,燃料电池系统必须满足某些限制条件和现实状况以便提供高效且有效的性能。

燃料电池系统控制器将典型地利用阴极出口气体压力图表以根据由燃料电池堆产生的电流密度确定特定的阴极出口压力。由于燃料电池堆的电压随压力增加,因此随着燃料电池堆的电流密度的增加,通常提供更高的阴极压力。进一步地,空转期间的高阴极压力将导致产生明显的压缩机寄生现象(compressor parasitics)。对于较低的燃料电池堆电流密度而言,阴极压力范围的低端可为约 102kPa,且对于较高的燃料电池堆电流密度而言,阴极压力可为约 143kPa。低电流密度下的阴极化学计量比可为约 5 以加压使水排出阴极流道从而提供电压稳定性。由于压缩机速度所存在的限制,因此高电流密度下的阴极化学计量比可为约 1.8。

发明内容

根据本发明的教导，披露了一种用于燃料电池堆的控制系统，所述控制系统通过降低动态压力范围且因此降低动态的阴极出口气体的相对湿度范围，从而对燃料电池堆功率瞬变期间的阴极出口气体的相对湿度进行控制以提供阴极出口气体相对湿度控制。在一个实施例中，所述控制系统基于燃料电池堆功率瞬变期间或动态循环期间的燃料电池堆电流密度利用第一更窄阴极压力范围以提供更好的阴极出口气体相对湿度控制，且基于低电流密度和稳态电流密度期间的燃料电池堆电流密度利用第二更宽阴极压力范围以通过减少压缩机寄生现象而改进系统效率。

通过以下描述和所附权利要求书并结合附图将易于理解本发明的附加特征。

附图说明

图 1 是根据本发明的一个实施例的包括用于控制阴极出口气体相对湿度的控制器的燃料电池系统的示意框图；

图 2 是水平轴为电流密度且垂直轴为阴极压力的曲线图，图中示出了燃料电池堆根据燃料电池堆处于空转状态或稳态的情况或根据燃料电池堆是否处于功率瞬变状态的情况所使用的两个压力范围；

图 3 是水平轴为电流密度且垂直轴为阴极压力的曲线图，图中示出了对于一种燃料电池堆运行条件而言在两个压力范围之间进行切换的过程；和

图 4 是水平轴为电流密度且垂直轴为阴极压力的曲线图，图中示出了对于另一种燃料电池堆运行条件而言在两个压力范围之间进行切换的过程。

具体实施方式

下面对本发明的实施例进行的针对一种通过改变功率瞬变期间的阴极压力运行范围而对阴极出口气体相对湿度进行控制的用于燃料电池堆的控制系统描述在本质上仅是示例性的，且绝不旨在限制本发明或其应用或使用。

图 1 是包括燃料电池堆 12 的燃料电池系统 10 的示意框图。燃料电池堆 12 包括阴极输入管线 14 和阴极输出管线 16。压缩机 18 产生用于燃料电池堆 12 的阴极侧的空气流，所述空气流被传送通过水蒸汽输送装置 (WVT) 20 以便受到湿化。质量流量计 22 测量来自压缩机的空气的流速。经过湿化的空气通过管线 14 被输入燃料电池堆 12 内，且经过湿化的阴极排气被供应置于输出管线 16 上。管线 16 上的阴极排气被传送通过水蒸汽输送装置 20 以提供用于对阴极输入空气进行湿化的水蒸汽。水蒸汽输送装置 20 可以是用于本文所述目的的任何适当的水蒸汽输送装置。

系统 10 包括将冷却流体泵送通过冷却剂回路 28 的泵 24，所述冷却流体流动通过燃料电池堆 12。来自燃料电池堆 12 的经过加热的冷却流体被传送通过散热器 30，在所述散热器处对所述经过加热的冷却流体进行冷却从而使其通过冷却剂回路 28 返回燃料电池堆 12。系统 10 还包括位于阴极排气管线 14 中水蒸汽输送装置 20 后面的用于控制燃料电池堆 12 的阴极侧压力的回压阀 42。

系统 10 包括用于检测特定运行参数的多个传感器。特别是，系统 10 包括用于测量管线 14 中的阴极入口空气的相对湿度的相对湿度传感器 36，和用于测量管线 14 中的阴极入口空气的温度的温度传感器 34。利用露点传感器取代相对湿度传感器 36 和温度传感器 34 的组合是本领域中已公知的。温度传感器 38 测量进入燃料电池堆 12 的冷却剂回路 28 中的冷却流体温度，且温度传感器 26 测量离开燃料电池堆 12 的冷却流体的温度。压力传感器 32 测量管线 16 中的阴极排气的压力。正如本领域中已公知地，由于燃料电池堆 12 的温度不同于入口管线 14 中的空气温度，因此需要对测得的阴极入口空气的相对湿度进行修正。在进入燃料电池堆 12 的冷却流体的入口相对湿度和温度已知的情况下，可计算出阴极空气的经过修正的相对湿度。

控制器 40 接收来自质量流量计 22 的质量流量信号、来自相对湿度传感器 36 的相对湿度信号、来自温度传感器 34 的温度信号、来自温度传感器 38 的温度信号、来自温度传感器 26 的温度信号以及来自压力传感器 32 的压力信号。控制器 40 还控制回压阀 42。

用于计算阴极出口相对湿度、阴极化学计量比和阴极入口相对湿度的公式是本领域中已公知的。可通过下式计算阴极出口相对湿度：

$$\frac{100 \cdot P_1}{\left[10^{\frac{7.903 - \frac{1674.5}{229.15 + T_1}}{}} \right] \left[CS + 0.21 \right] \left[1 - \frac{10^{\frac{7.903 - \frac{1674.5}{229.15 + T_1}}{}}}{P_1 + P_2} \right]} \quad \left[2 \cdot 0.21 \right] + \left[\frac{10^{\frac{7.903 - \frac{1674.5}{229.15 + T_1}}{}}}{P_1 + P_2} \right] (CS - 2 \cdot 0.21) \quad (1)$$

可通过下式计算阴极化学计量比:

$$\frac{Air_mass_flow[g/s]}{4.33 \cdot \left[\frac{Cell_Count \cdot Stack_Current[amps]}{(1.6022 \cdot 10^{-19})(6.022 \cdot 10^{23})} \right] \left[\frac{1}{4} \right] \cdot 2 \cdot 15.9994} \quad (2)$$

可通过下式计算阴极入口相对湿度百分比:

$$\frac{10^{\frac{7.093 - \frac{1674.5}{229.15 + T_2[c]}}{}}}{10^{\frac{7.093 - \frac{1674.5}{229.15 + T_3[c]}}{}}} \quad (3)$$

其中 CS 是阴极化学计量比, T_1 是燃料电池堆冷却流体出口温度, 单位为摄氏度, P_1 是阴极出口压力, 单位为 kPa, T_2 是阴极入口温度, 单位为摄氏度, P_2 是基于已知模型计算得到的阴极压力降, 单位为 kPa, 且 T_3 是燃料电池堆冷却流体入口温度, 单位为摄氏度。

根据本发明, 当燃料电池堆 12 在一定时长内处于低电流密度或空转电流密度如 $0.1A/cm^2$ 下或处于稳态电流密度下时, 控制器 40 通过控制回压阀 42 而为管线 18 上的阴极排气压力提供基于燃料电池堆电流密度的一个动态压力范围, 例如 102kPa-143kPa。当燃料电池堆 12 处于瞬变电流密度或动态循环期间时, 阴极排气的动态压力范围变为不同范围, 例如 120kPa-143kPa, 以使得阴极排气的相对湿度被保持在所需相对湿度下或接近所需相对湿度从而对管线 14 上的阴极入口空气进行湿化。如上面所述, 通过根据燃料电池堆 12 的电流密度在阴极压力设定点范围之间来回进行切换, 可显著改进在功率瞬变过程中对阴极出口气体进行的相对湿度控制, 且可减少当燃料电池堆 12 处于空转电流密度或稳态电流密度下时发生的低功率压缩机寄生现象。

图 2 是水平轴为电流密度且垂直轴为阴极压力的曲线图, 图中示出了上述两个阴极动态压力范围。特别是, 图中曲线 50 是用于系统效率的已知压力控制图表, 所述压力控制图表提供了介于极低电流密度下的 102kPa 与 $1.2A/cm^2$ 的最大燃料电池堆电流密度下的 143kPa 之间

的阴极压力范围。根据本发明，提供了第二（上部）阴极压力范围，由图中曲线 52 表示，所述压力范围介于极低电流密度下的 120kPa 与最大电流密度下的 143kPa 之间。从图中可以清楚地看到，用于上部压力图表的压力范围大体上呈线性。通过在功率瞬变期间或动态循环期间将用于阴极出口气体压力的压力图表变为压力线 52，将增加阴极排气的相对湿度，因此允许阴极入口空气的相对湿度处于所需值。

在功率瞬变结束后，控制算法将在更高的压力图表处停留一定时长，如 60 秒，此时车辆可返回稳态运行或空转状态。对于与上部压力图表相同的电流密度而言，用于稳态运行的下部压力图表提供了更低的燃料电池堆压力，且因此减少了导致系统效率下降的压缩机寄生现象。因此，所希望的是在动态循环已经停止后的某个时候返回下部压力图表。

图 3 和图 4 是水平轴为电流密度且垂直轴为阴极压力的图表，图中示出了根据本发明的在由图中曲线 50 和 52 表示的用于两种不同的燃料电池堆运行条件的阴极动态压力范围之间切换的两个过程。图 3 示出了一种情形，其中车辆在相当长的时期内处于空转状态，随后加速至 1.0 A/cm^2 ，且随后返回空转状态。从空转状态开始，燃料电池堆电流密度在图中曲线 50 的动态压力范围内沿线 60 增加至约 0.1 A/cm^2 。当电流密度高于 0.1 A/cm^2 时，压力控制沿线 62 切换至图中曲线 52 的动态压力范围。随着车辆速度的增加以及燃料电池堆电流密度沿线 64 增加至 1.0 A/cm^2 的过程的进行，动态压力范围将保持处于图中曲线 52 上。燃料电池堆随后沿线 66 返回小于 0.1 A/cm^2 的空转电流密度。如果在一定的预定时长内保持燃料电池堆电流密度低于 0.1 A/cm^2 ，则控制器将沿线 68 返回图中曲线 50 的压力表。另一种可选方式是，如果在该时长耗尽之前发生从低燃料电池堆电流密度开始的第二次加速，则控制将保持处于压力线 52 上。

图 4 示出了燃料电池堆的一种运行条件，其中车辆维持长时间空转，随后加速至约 1.0 A/cm^2 ，且随后降低至约 0.6 A/cm^2 的稳态电流密度。如果车辆从空转状态开始加速，则压力控制沿循图中曲线 50 上的线 70，随后当电流密度高于 0.1 A/cm^2 时，压力控制沿线 72 跳转至图中曲线 52 的压力图表。随着车辆从空转状态开始加速，压力控制保持处于由线 74 表示的图中曲线 52 上。如果燃料电池堆电流密度沿线 76

从 1.0 A/cm^2 降低至 0.6 A/cm^2 ，且在该电流密度下保持一定时长，例如 10 秒，则压力控制将沿线 78 切换回图中曲线 50 的压力图表。

通过以这种方式控制阴极出口气体的相对湿度，燃料电池更不易于产生溢流。如果阴极出口相对湿度小于 100%，则减少了燃料电池堆 12 中的液体水以便允许在停止运行过程中更易于对燃料电池堆 12 进行吹扫，由此减轻了冻结问题。此外，良好的相对湿度控制使得在 100% 相对湿度上下发生的膜电极组件相对湿度循环更少。膜电极组件发生的这些干/湿转变导致更严重的电压降低以及在膜中形成针孔。

前面的讨论仅披露和描述了本发明的典型实施例。本领域的技术人员通过这些讨论且通过附图以及权利要求书而易于意识到：可在不偏离由以下权利要求书限定的本发明的精神和范围的情况下，对本发明作出多种改变、变型和变化。

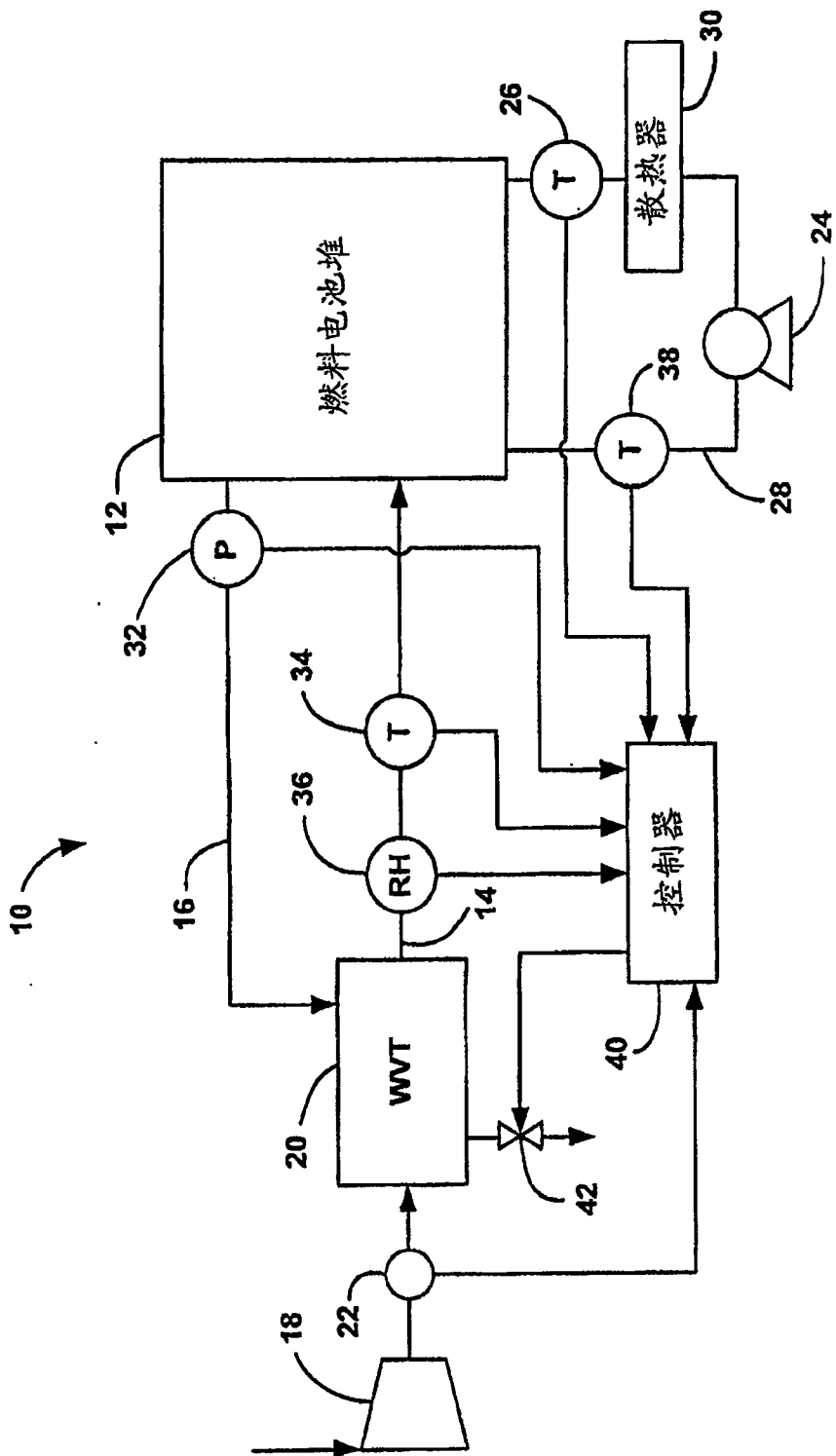


图 1

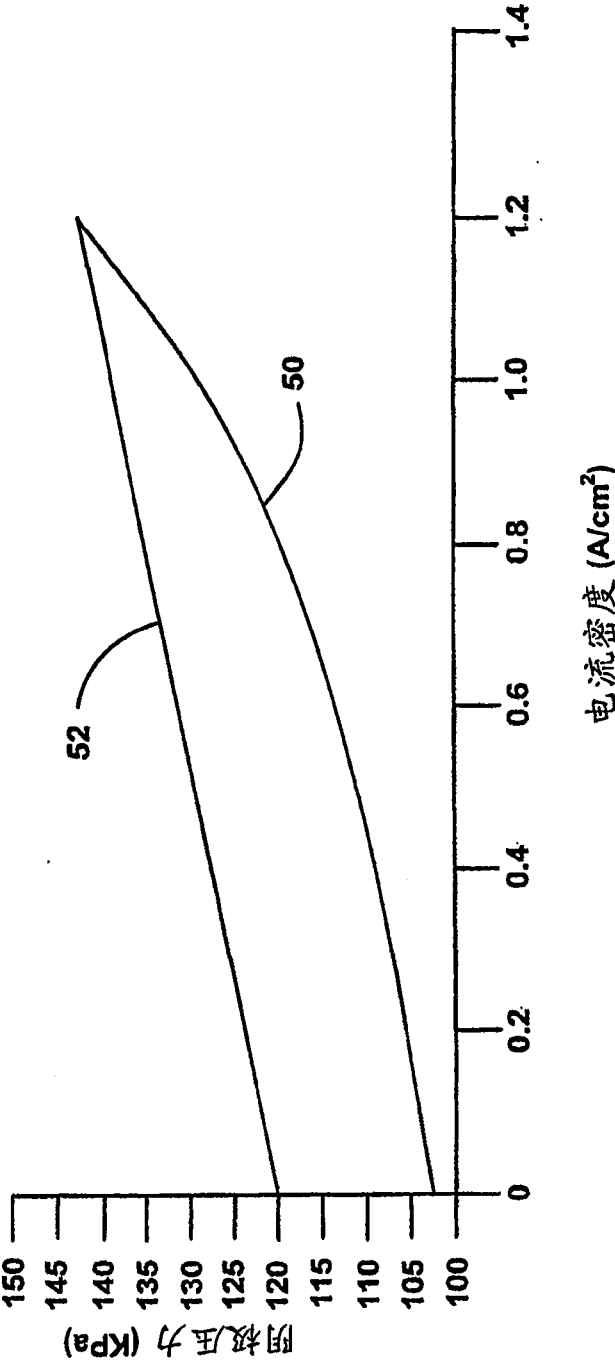


图 2

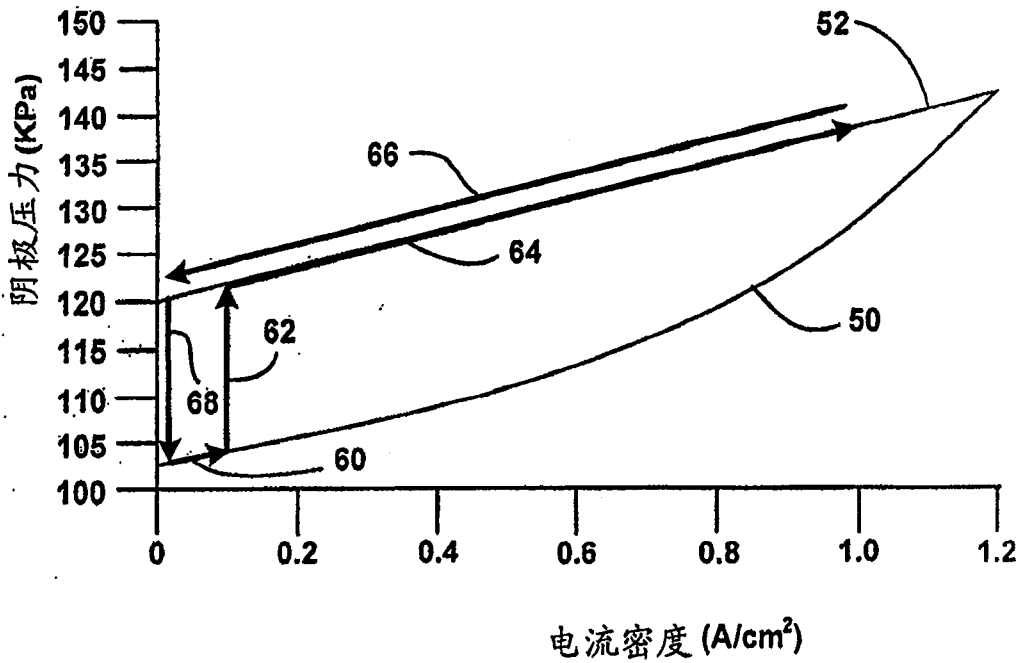


图 3

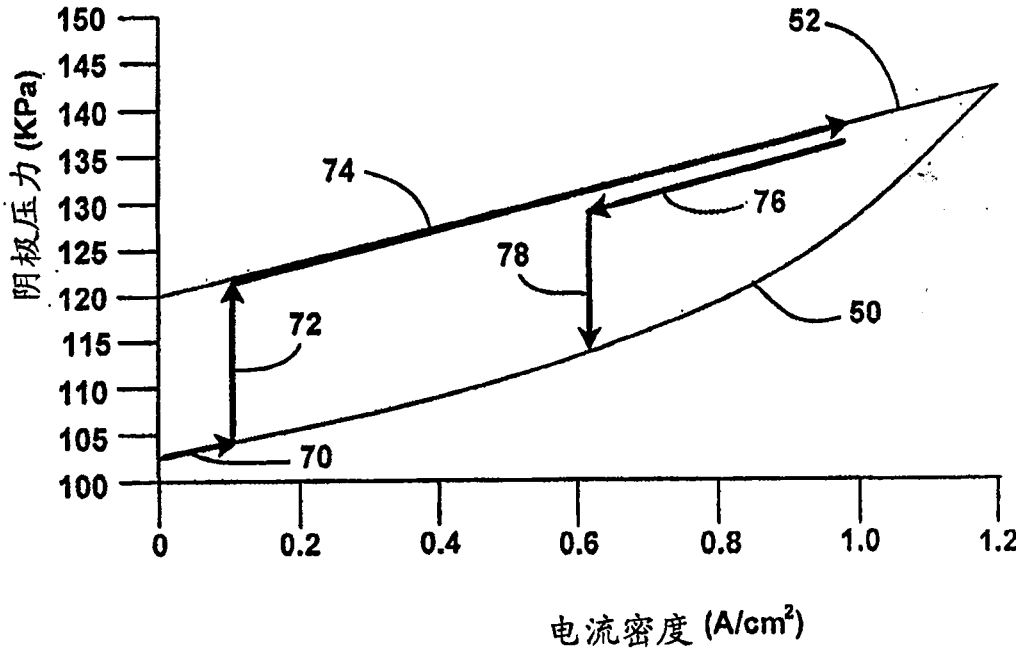


图 4