

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

F01D 15/10 (2006.01)

F02C 9/48 (2006.01)

F02C 9/50 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200480019115.X

[45] 授权公告日 2007 年 12 月 5 日

[11] 授权公告号 CN 100353033C

[22] 申请日 2004.7.1

[21] 申请号 200480019115.X

[30] 优先权

[32] 2003.7.2 [33] US [31] 10/612,685

[86] 国际申请 PCT/US2004/021338 2004.7.1

[87] 国际公布 WO2005/003521 英 2005.1.13

[85] 进入国家阶段日期 2006.1.4

[73] 专利权人 麦斯国际有限公司

地址 美国北卡罗来纳州

[72] 发明人 亚历山大·A·别洛孔

米哈伊尔·V·先克维奇

乔治·L·塔奇通三世

[56] 参考文献

US5675188A 1997.10.7

US6169332B1 2001.1.2

US5332959A 1994.7.26

审查员 韩 宇

[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

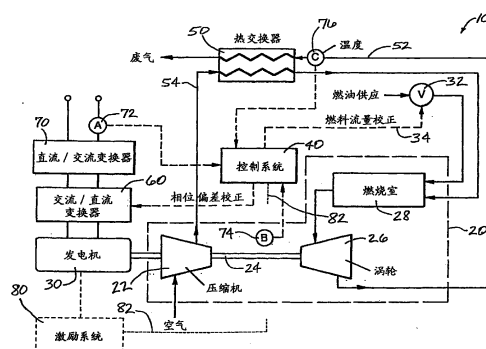
权利要求书 5 页 说明书 14 页 附图 3 页

[54] 发明名称

电力产生系统和方法

[57] 摘要

一种发电系统与方法，其中发电机由吸气式发动机驱动。在任何运行状态下，对于给定的功率输出，通过以这样的方式对通过所述发动机的空气流量进行控制，即控制燃料/空气比以保持传输到所述发动机内的工作流体的高峰值温度，而大致优化发动机的效率。本发明的方法和系统不需要所述发动机内的可变几何形状机构，也不需要可变几何形状的燃烧室和预燃烧室。本发明可应用到在低的燃料/空气比下运行的各种类型的吸气式发动机。



1、一种用于产生供应给负载的电力的系统，其包括：

吸气式发动机（20），其与可动轴（24）机械地连通，该发机构造并设置成接收空气与燃料的混合物，并使该混合物燃烧，以使该混合物膨胀从而产生用来驱动所述轴的机械能；

燃料系统（32），其与所述发动机接合，并可操作用于将燃料供应给所述发动机，该燃料系统对燃料控制信号作出响应以改变至所述发动机的燃料流量；

至少一个发动机传感器（74），其可操作以测量至少一个与所述发动机相关并表示所述发动机的相对热力学效率的热力学变量；

发电机（30），其接合到所述轴（24）上，使得所述轴（24）在所述发动机（20）作用下的运动引起所述发电机（30）运行，从而产生交流电流，连接所述发动机（20）、轴（24）以及发电机（30），从而所述发电机（30）转速的变化引起所述发动机（20）转速的相应变化，并由此引起通过所述发动机的空气流量的变化；

发电机功率传感器（72），其可操作以测量发电机（30）的功率输出；

负载功率传感器，其可操作以测量负载所需的功率；

该系统的特征在于：

一电力电子单元（60、70）接合到所述发电机（30）上，用于接收来自该发电机的交流电流，且该电力电子单元（60、70）可操作从而以预定的频率和相对相位合成交流输出电流和电压，以供应给负载；以及

一控制器（40）可操作地与所述燃料系统（32）、所述至少一个发动机传感器（74）、所述电力电子单元（60、70）、所述发电机功率传感器（72）和所述负载功率传感器相连接，该控制器（40）可操作以控制所述燃料系统（32），从而使得所述系统的功率输出与所述负载需要的功率相匹配，并同时通过调节所述电力电子单元（60、70）来电控制所述发电机（30），从而以这样的方式调节所述发电机（30）的转速并由此控制通过所述发动机（20）的空气流量，即，使得在所述发动机内燃烧的混合物的燃料/空气比控制成使所述发动机的相对热力学效率最高。

2、根据权利要求1所述的系统，其特征在于，所述电力电子单元(60、70)包括：交流/直流模块(60)，其构造并设置成对来自所述发电机(30)的交流电流进行操作，从而产生直流电压下的直流电流；以及直流/交流模块(70)，其构造并设置成对直流电流进行操作，从而合成供应给负载的交流输出电流，该交流/直流模块(60)对电流控制信号作出响应，以独立于来自所述发电机(30)的交流电流来改变所述直流电流的电平，所述控制系统(40)可操作以向所述交流/直流模块(60)提供电流控制信号，从而对由交流/直流模块(60)输出的直流电流的电平进行控制，并从而控制发电机的转速。

3、根据权利要求1所述的系统，其特征在于，所述发电机(30)和轴(24)是可旋转运动的。

4、根据权利要求3所述的系统，其特征在于，所述发动机(20)包括：压缩装置(22)，该压缩装置可操作以压缩空气；以及能量装置(26、28)，该能量装置接收来自所述压缩装置(22)的压缩空气以及来自所述燃料系统(32)的燃料，并燃烧空气和燃料的混合物以产生机械能。

5、根据权利要求4所述的系统，其特征在于，还包括热交换器(50)，其设置成接收来自所述压缩装置(22)的压缩空气以及来自所述能量装置(26、28)的废气，该热交换器(50)使得热从所述废气中传递至所述压缩空气，从而在所述能量装置(26、28)中的燃烧之前对所述压缩空气进行预热。

6、根据权利要求5所述的系统，其特征在于，所述能量装置(26、28)包括：燃烧室(28)，在该燃烧室中，所述空气和燃料的混合物燃烧以产生热的气体；以及膨胀装置(26)，其用于使所述热的气体膨胀以产生机械能。

7、根据权利要求6所述的系统，其特征在于，所述膨胀装置(26)包括涡轮。

8、根据权利要求7所述的系统，其特征在于，所述涡轮(26)为固定几何形状的涡轮。

9、根据权利要求6所述的系统，其特征在于，所述压缩装置(22)

为固定几何形状的压缩机。

10、根据权利要求 6 所述的系统，其特征在于，所述燃烧室（28）为固定几何形状的燃烧室。

11、根据权利要求 6 所述的系统，其特征在于，所述燃烧室（28）包括催化燃烧室。

12、根据权利要求 11 所述的系统，其特征在于，还包括传感器，其可操作以测量表示燃烧室入口温度的变量，且其中所述控制器（40）连接到所述传感器上并可操作从而以这样的方式控制通过所述发动机（20）的空气流动，即，将所述燃烧室入口温度保持在催化运行所需的预定最低温度之上。

13、根据权利要求 12 所述的系统，其特征在于，还包括与所述热交换器（50）相关的传感器（76），该传感器可操作以对表示进入所述热交换器（50）的废气温度的变量进行测量，且其中所述控制器（40）连接到与所述热交换器（50）相关的所述传感器（76）上，且该控制器可操作以对通过所述发动机（20）的空气流动进行控制，从而将进入所述热交换器（50）的废气的温度保持低于预定的最高温度。

14、根据权利要求 1 所述的系统，其特征在于，所述发电机（30）为线圈发电机。

15、根据权利要求 14 所述的系统，其特征在于，还包括可操作以激励所述发电机（30）的激励系统（80）。

16、根据权利要求 15 所述的系统，其特征在于，所述控制系统（40）可操作以控制所述激励系统（80），从而电控制所述发电机转速，并由此控制空气流量。

17、一种用于控制发电机系统的方法，该系统具有吸气式发动机（20），该发动机与可动轴（24）机械连接，该发动机（20）构造并设置成接收空气与燃料的混合物，并使该混合物燃烧，从而使该混合物膨胀并产生用来驱动该轴（24）的机械能，所述系统具有燃料系统（32），该燃料系统与所述发动机（20）接合并可操作以将燃料供应到所述发动机（20），该燃料系统（32）对燃料控制信号作出响应，以改变至所述发动

机(20)的燃料流量,所述系统具有发电机(30),该发电机接合到所述轴(24)上,从而使得所述轴(24)在所述发动机(20)作用下的运动引起所述发电机(30)运行,产生交流电流,其中连接所述发动机(20)、轴(24)以及发电机(30),从而所述发电机(30)转速的变化引起所述发动机(20)转速的相应变化,并由此引起通过所述发动机(20)的空气流量的变化,且其中通过至所述发动机(20)的燃料流量来确定来自所述系统的电功率输出,该方法包括以下步骤:

确定负载所需的功率;

测量至少一个与所述发动机(20)相关并表示所述发动机(20)的相对热力学效率的热力学变量;和

控制燃料供应系统(32),从而以控制的燃料流量向所述发动机供应燃料,使得所述系统的电功率输出与所述负载所需的功率匹配;该方法的特征在于:

所述系统包括电力电子单元(60、70),其接合到所述发电机(30)上,用于接收来自所述发电机的交流电流,且该电力电子单元可操作从而以预定的频率和相对相位合成交流输出电流和电压,以供应给负载;以及

通过调节所述电力电子单元(60、70)来电控制所述发电机(30)的转速,从而独立于所述系统的电功率输出对通过所述发动机(20)的空气流量进行控制,从而以这样的方式对在所述发动机(20)内燃烧的混合物的燃料/空气比进行控制,即,使得所述发动机(20)的热力学效率最佳,同时满足所述负载所需的功率。

18、根据权利要求 17 所述的方法,其特征在于,在交流/直流模块(60)中将来自所述发电机(30)的交流电流转化为在直流电压下的直流电流,且在直流/交流模块(70)中转化来自交流/直流模块(60)的直流电流,以合成供应至负载的交流输出电流,该交流/直流模块(60)对电流控制信号作出响应,以独立于来自所述发电机(30)的交流电流改变所述直流电流的电平,且其中所述控制空气流量的步骤包括对来自所述电力电子单元(60、70)的交流/直流模块(60)的直流电流进行主

动控制，从而改变所述发电机（30）的转速，并从而改变所述空气流量。

19、根据权利要求 17 的方法，其特征在于，所述发动机（20）包括涡轮发动机，该涡轮发动机具有：压缩机（22），其用于压缩空气；燃烧室（28），其用于燃烧空气与燃料的混合物，以产生热的气体；以及涡轮（26），其用于使所述热的气体膨胀，且其中使所述发动机（20）的热力学效率最佳包括使涡轮入口温度与预定值匹配。

20、根据权利要求 19 的方法，其特征在于，所述燃烧室（28）包括催化燃烧室，且所述方法还包括以下步骤：

测量表示所述燃烧室（28）的入口温度的变量；和

以这样的方式控制通过所述发动机（20）的空气流动，即，将所述燃烧室入口温度保持在催化运行所需的预定最低温度之上。

电力产生系统和方法

技术领域

本发明涉及采用吸气式发动机来驱动发电机的电力产生，该发电机产生电流以用于供应给负载。本发明的特定实施例涉及采用由小型涡轮增压发动机动力驱动的发电机的电力产生。

背景技术

多年来，分布式发电这个概念是许多讨论的主题，但迄今为止还没有广泛应用分布式发电系统。分布式发电指的是在需要电能の場合采用小型发电系统，从而与传统的公共电网系统不同，在传统的公共电网系统中，大型的中央电厂产生电力，然后通过电力传输线路系统（通常称为电网）将这些电力传输经过相当的距离，从而供应给多个用户。与由公共事业运作的、通常产生数兆瓦功率的传统电厂不同，分布式发电系统在规模上一般低于两兆瓦，通常在 60 至 600 千瓦的范围内。

分布式发电之所以没有广泛普及的原因主要在于成本。在美国的大多数区域内，也正如在世界上的许多地方，对大多数用户来说，从电网购买电力显然比投资和运营分布式发电系统廉价。促使分布式发电系统的电力成本相对较高的主要因素在于这些系统内采用的小型发动机相对低的效率，尤其在部分负载的运行状态下更是如此。

分布式发电系统中的发电机通常由小型的涡轮增压发动机驱动，这种小型涡轮增压发动机根据其尺寸经常被称为微型涡轮机或小型涡轮机。涡轮增压发动机一般包括：燃烧室，该燃烧室用于燃烧燃料与空气的混合物，通过将燃料的化学能转换为热能，以产生热的气体；涡轮，该涡轮使热气体膨胀以使该涡轮安装在其上的轴旋转；以及压缩机，该压缩机安装在所述轴上或与该轴接合，并可被操作用于压缩将供应至燃烧室的空气。因为分布式发电系统所需要的电量相对较小，所以涡轮增压发动机也相应的较

小。由于与发动机内部发生的空气动力学过程相关的原因以及其它原因，涡轮发动机的效率倾向于随着发动机尺寸的减小而降低。因此，与较大的发动机相比，微型涡轮机和小型涡轮机自然具有效率不高的缺点。

而且，与尺寸无关，涡轮发动机在部分负载下的效率众所周知是较低的，这一般是因为发动机在部分负载状态下运行的特定方式。更具体地说，在涡轮发动机内的情形通常是这样的，即涡轮入口温度随着发动机的功率输出减小到低于“设计”而下降，该涡轮入口温度大体上代表了发动机循环内的工作流体的峰值温度。设计点通常为百分之百负载的状态，而且通常将发动机设计成使其峰值效率大致发生在设计点。众所周知的是，影响发动机热力学循环的效率的主要变量为工作流体的峰值温度。如果其它条件相同，则峰值温度越高，效率就越高；相反地，峰值温度越低，效率就越低。因此，如果以这样的方式控制在部分负载状态下运行的发动机，即，使得工作流体在循环中的峰值有效温度（即，涡轮入口温度）比设计点上的温度低很多，那么发动机的效率就倾向于要受到很大程度的损失。

在一些现有技术的燃气轮机中，特别是在用于推进的飞行器燃气涡轮发动机以及用于定速发电机系统的大型燃气轮机中，在部分负载状态下采用了可变几何形状的系统以减小空气流量，从而发动机效率不会过度损失。例如，已经在轴流压缩机中采用了可变的进口导向叶片（IGV）；在部分负载的状态下，对于给定的压缩机转速而关闭 IGV 以减小空气流量。在离心式压缩机中，有时将定子叶片做成是可变的，以达到类似的效果。在其他的情形下，采用可变的第一级涡轮叶片或喷管来控制涡轮的转速，从而控制压缩机的转速以控制空气流量。这些可变几何形状的系统是昂贵的，而且轴承和其它可运动部件易于磨损，从而使得对每年必须有较高比例的运行小时、如有需要必须能基本持续运行、而且还必须对所服务的负载所需功率的变化作出快速响应的发电系统来说，这些系统是不实用的。而且，在微型涡轮机和小型涡轮机中，由于发动机尺寸较小，所以采用可变几何形状的机构是不现实的。因此，需求一种取代可变几何形状方法的方法，以使发动机性能在部分负载状态下最佳。

排放物（包括但不限于氮氧化物、未燃烧的碳氢化合物、以及一氧化碳）是分布式发电的、已经被证明为具有挑战性的另一方面。一般地，对于给定的功率输出，通过使燃料的燃烧温度（也称为火焰温度）最低，会倾向于使 NO_x 的排放减少或使其最低，该燃料的燃烧温度一般比热力学峰值温度（涡轮入口温度）高，从而减小了氮氧化物的产生，但没有不利地影响效率。降低火焰温度的主要方法为在燃烧室区域之前使燃料和空气预混合，以产生燃料-空气比相对较高的混合物，即贫气混合物。预混合也确保了整个火焰区域的温度非常接近于均匀，而没有能导致局部产生 NO_x 的热点。然而，当混合物更加贫气时，一氧化碳（CO）、未燃烧的碳氢化合物（UHC）、以及压力波动就会增加。当还使混合物更加贫气时，这些趋势会持续，而火焰区域变得更加不稳定，直到达到了贫气熄火极限（lean extinction limit）。对任何比该极限还贫气的混合物，就不能维持火焰。实际上，在达到贫气熄火极限之前，一氧化碳和未燃烧的碳氢化合物的排放和/或压力脉动就会变成高得不能接受。

可通过提高燃烧室的入口温度和通过采用催化燃烧而使贫气熄火极限移动到较为贫气的范围。采用催化燃烧极大地增加了贫气预混燃烧的运行范围，从而导致非常低的 NO_x 排放、可接受的 CO 及 UHC 排放，并且大致没有压力脉动。然而，催化燃烧却对运行带来了其它限制，称为催化活性下限。为了维持催化燃烧，催化燃烧室的入口温度必须保持在该下限之上。

在许多传统的微型涡轮机中，对发动机的控制使得在部分负载状态下，燃烧室入口温度倾向于下降，而燃料/空气混合物变得更加贫气。在传统的贫气预混燃烧的情形中，这倾向于导致排放增加；在催化燃烧的情形中，下降的燃烧室入口温度会导致不能维持催化燃烧。实际上，因为在负载减小时，下降的燃烧室入口温度以及逐步变得贫气的状态起到了主导作用，所以只能在燃气轮机的一部分负载范围内进行贫气预混燃烧和催化燃烧。

在一些情形中，在燃烧室之前采用了预燃烧室来提高燃烧室入口温度。此外，采用了可变几何形状的燃烧室，其中将一部分空气转移到燃

烧室周围，以将燃料/空气比维持在允许运行稳定性的水平上。预燃烧室的解决方案造成可靠性的损失，因为预燃烧室的过高温度的或其它失效会损坏主燃烧室，而且还增加了系统的成本。此外，该解决方案由于经过预燃烧室产生的压力损失而导致了运行成本增加的代价；即使在不使用预燃烧室时，也会产生该压力损失。除了在维持燃料/空气比中采用可变几何形状之外，还能运用可变几何形状来消除压力损失的代价。然而，可变几何形状的解决方案费用高而且复杂，并易于过度磨损，从而降低了可靠性并增加了维护费用。

对许多潜在用户而言，这些因素组合起来使得通过分布式发电系统产生电力不如从大型公用电网购买电力有吸引力。

发明内容

本发明通过提供电力产生系统和方法来解决以上需求并获得了其它优点，其中，在任何运行状态下，对于给定的功率输出，通过以这样的方式对通过所述发动机的空气流量进行控制，即控制所述燃料/空气比以维持传输到所述发动机内的工作流体的高峰值温度，而大大地优化所述发动机的效率。本发明的方法和系统不需要所述发动机内可变几何形状的机构、不需要可变几何形状的燃烧室，还使对预燃烧室的需求降到最低。本发明可应用到在低的燃料/空气比下运行的各种类型的吸气式发动机，包括但不限于旋转式发动机（如涡轮发动机）以及往复式发动机（如自由活塞式发动机）。

根据本发明的方法方面，提供一种用于提高发电机系统中的吸气式发动机的部分负载效率的方法。该系统具有与所述发动机机械连接的可动轴以及与所述发动机接合的燃料系统，该燃料系统可操作从而以控制的燃料流量向所述发动机供应燃料，所述发动机设计成使所述发动机的峰值热力学效率大致与所述发动机的百分之百负载运行状态一致。该系统包括发电机，其接合到所述轴上，从而在所述发动机作用下的所述轴的运动使所述发电机操作，从而产生交流电流，而且连接所述发动机、轴以及发电机，使得所述发电机转速的变化引起所述发动机转速的相应

变化，并因此引起通过所述发动机的空气流量的变化。该方法包括以下步骤：在部分负载状态下运行所述发动机；以及在所述部分负载状态下控制所述发电机的转速，从而控制通过所述发动机的空气流量，与此同时，控制至所述发动机的燃料流量，从而以这样的方式控制燃料/空气比，即，使得所述发动机的峰值循环温度大致与对应于百分之百负载运行状态的峰值循环温度相同。换言之，在负载减小到低于百分之百负载状态时，不允许所述峰值循环温度降低相当大的程度（尽管在非常低的负载状态下，如以下将进一步描述的那样，可允许所述峰值循环温度下降）。通过控制燃料/空气比、主要是通过控制通过所述发动机的空气流来实现这一点。因为所述空气流量是所述发动机转速的函数，能够通过控制所述发电机的转速来对所述空气流量进行控制。

在一个实施例中，对所述发电机的转速进行控制的步骤包括对所述发电机下游的电流电平进行控制。这可以这样实现，即通过将来自所述发电机的交流电流转化为直流电流，然后将该直流电流转化为固定频率（与所述发电机的转速无关）的交流电流；所述固定频率的交流电流然后将被供应至所述负载。通过在所述交流至直流转化中采用主动的（active）电流控制，所述直流电流的电平得到控制，从而控制所述发电机转速。例如，在大致恒定的燃料流量下，通过减小直流电流，轴上的负载减小，因此所述发电机转速增加，从而输出电压增加以维持总体的能量平衡；相反地，所述直流电流的增加使得轴上的载荷增加，从而所述发电机转速下降。

在采用具有激励系统的线圈发电机时，通过对该激励系统的控制，至少可部分地实现对发电机转速的控制。可替换地，通过如上所述控制交流/直流转换器可对线圈发电机的转速进行控制，或者可以采用控制所述激励系统和控制所述交流/直流转换器的组合。

在本发明的另一实施例中，采用同流换热器对混合有燃料的空气进行预热，或对空气—燃料混合物进行预热；该同流换热器在所述空气或混合物与从所述发动机排出的废气之间引起热交换。在非常低的部分负载状态下，如果峰值循环温度维持在与百分之百负载点相同的水平上，

进入所述同流换热器的废气的温度将超过最大许可值（例如由材料极限决定）。因此，根据本发明，在这样的情形下，对所述发电机转速进行控制，从而以这样的方式对通过所述发动机的空气流量，并因而对燃料/空气比进行控制，即允许所述峰值循环温度下降到低于与百分之百负载运行状态对应的峰值循环温度；因而，进入所述同流换热器的废气的温度并不超过所述预定的最大许可值。

在本发明的另一方面，燃料在催化燃烧室内燃烧，该催化燃烧室具有用于维持燃烧室内催化反应所需的预定的最低入口温度。在许多传统的发电机控制方案中，在发电机负载下降到低于百分之百负载状态时，所述燃烧室入口温度倾向于下降；因此，温度有可能下降到低于催化反应所需的最低温度。根据本发明，以这样的方式对燃料/空气比进行控制，即，在部分负载状态下，使得燃烧室入口温度至少与所述预定的最低入口温度一样高。在一个实施例中，以这样的方式对燃料/空气比进行控制，即，使得在部分负载状态下燃烧室的入口温度比百分之百负载状态下的入口温度高。

根据本发明一个实施例的用于产生供应给负载的电力的系统包括与可动轴机械连接的吸气式发动机。发电机接合到所述轴上，从而所述轴在所述发动机作用下的运动使所述发电机运行，从而产生交流电流。连接所述发动机、轴以及发电机，从而使所述发电机转速的变化引起所述发动机转速的相应变化，并因此引起通过所述发动机的空气流量的变化。该系统还包括：燃料系统，其与所述发动机接合并可操作以将燃料提供到所述发动机，该燃料系统对燃料控制信号作出响应从而改变至所述发动机的燃料流量；以及至少一个发动机传感器，该发动机传感器可操作以测量至少一个与所述发动机相关并表示所述发动机的相对热力学效率的热力学变量。

电力电子单元接合到所述发电机上，用于接收来自所述发电机的交流电流，并合成预定频率的交流输出电流，以供应给负载。在一个实施例中的电力电子单元包括：交流/直流模块，其构造并设置成对来自所述发电机的交流电流进行操作，从而产生直流电压下的直流电流；以及直

流/交流模块，其构造并设置成对直流电流进行操作，从而合成预定频率且相对相位下的交流输出电流和电压，以供应给负载。在一个实施例中，该交流/直流模块能对电流控制信号作出响应，以独立于来自所述发电机的交流电流而改变所述直流电流的电平。

该系统还包括：发电机功率传感器，该发电机功率传感器可操作以测量系统的功率输出；以及负载功率传感器，该负载功率传感器可操作以测量负载所需的功率。控制器可操作地与所述燃料系统、所述至少一个发动机传感器、所述电力电子单元、所述发电机功率传感器和所述负载功率传感器相连接。该控制器可操作以控制燃料系统，从而使得所述系统的功率输出大致与所述负载所需的功率相匹配，并同时控制所述发电机的转速，从而以这样的方式控制所述发动机转速（因而控制空气流量），即，使得在所述发动机内燃烧的混合物的燃料/空气比被控制成大致使所述发动机的相对热力学效率最高。

在可主动控制的交流/直流模块的情形下，能通过对来自所述电力电子单元的交流/直流模块的直流电流的电平进行控制而实现对发电机转速的控制。在发电机为具有激励系统的线圈发电机的另一实施例中，可操作控制系统，以对所述激励系统进行控制，从而控制发电机转速，并因而控制空气流量。

在上述的系统中，根据本发明的另一种方法包括以下步骤：

确定负载所需的功率；

测量至少一个与所述发动机相关并表示所述发动机的相对热力学效率的热力学变量；

控制燃料供应系统，从而以控制的燃料流量向所述发动机供应燃料，使得所述系统的电功率输出与所述负载所需的功率大致匹配；以及

独立于所述系统的电功率输出而控制通过所述发动机的空气流量，从而以这样的方式控制在所述发动机内燃烧的混合物的燃料/空气比，即，使得所述发动机的热力学效率最佳，与此同时大致满足所述负载所需的功率，而通过电控制所述发电机的转速来控制空气流量，并因此控制通过所述发动机的空气流量。

附图说明

在对本发明进行了一般性描述后，现在将参考附图，这些附图并一定是按比例绘制的，在这些附图中：

图 1 是根据本发明一个实施例的发电系统的示例性视图；

图 2 是作为发电机相对负载的函数的发动机内各个点处的温度的曲线，对现有技术的控制方法（虚线）以及根据本发明一个实施例的控制方法（实线）进行了比较；而

图 3 为燃料/空气比对发电机相对负载的曲线，对现有技术的控制方法（虚线）以及根据本发明一个实施例的控制方法（实线）进行了比较。

具体实施方式

现在将参考附图更加完全地描述本发明，在这些附图中示出了本发明的一些而非所有的实施例。当然，可以通过许多不同的形式实现这些发明，而不应视为限制在这里所阐明的实施例中；相反地，提出这些实施例从而使本公开满足适用的法律规定。在全文中，相同的附图标记指代相同的元件。

在图 1 中示例性示出了根据本发明一个实施例的发电系统 10。该系统包括吸气式发动机 20，该吸气式发动机 20 燃烧燃料与空气的混合物，以产生热的燃气，该燃气随后膨胀以产生机械能。在示出的实施例中，所述发动机由涡轮发机构成，该涡轮发动机包括：压缩机 22，其安装在可旋转轴 24 的一端上；涡轮 26，其安装在所述轴的另一端上；以及燃烧室 28，用于燃烧燃料/空气混合物。该燃烧室可以为各种类型，包括但不限于扩散火焰型、催化型、贫气预混合型等。将燃料和空气的混合物供应给燃烧室。空气首先被压缩机加压。燃料/空气混合物在燃烧室内燃烧，并将热的燃气供应给涡轮，该涡轮使气体膨胀，从而引起涡轮被旋转驱动。涡轮随之使轴旋转，该轴驱动压缩机。

该系统包括发电机 30，该发电机以这样的方式与轴 24 连通，即轴的运动使得发电机将被驱动。在示出的实施例中，其中轴是可旋转的，发

发电机同样是可旋转的，而且轴的旋转运动被传动到发电机上。发电机可直接安装在或连接到轴上，从而在轴和发电机之间存在一一对应的转速关系，或者能通过传动机构等连接发电机和轴，从而存在不同的转速关系。轴还可以往复运动而不是旋转运动，且发电机为往复式或为旋转式。在任何情形下，发电机运行的转速决定了轴的转速，从而决定了发动机运行的转速。

发电机 30 可以是多种类型，包括永磁发电机或线圈发电机，或两者的组合。发电机产生交流电流和电压。如以下进一步描述的那样，在示出的实施例中，电力电子设备对来自发电机的交流电流进行操作，以产生预定的固定频率和相位关系的交流输出电流和电压，用于供应至负载。

系统 10 还包括用于将燃料供应至燃烧室 28 的燃料系统。该燃料系统通常包括燃料泵（未示出）以及燃料计量阀 32，由合适的控制信号 34 对该燃料计量阀 32 进行控制，以控制燃料流量。控制系统 40 连接到燃料计量阀 32 上以对其运行进行控制。该控制系统还执行如以下将进一步描述的其它功能。

系统 10 还包括可选的同流换热器 50，其包括热交换器，该热交换器用于在将空气供应到燃烧室之前，将热从发动机排气 52 传输至从压缩机 22 排出的压缩空气 54。如在技术领域内已知的那样，同流换热器摄取一些废热（否则这些废热将被浪费），并将这些废热用于对燃气进行预热，从而提高了发动机的整体效率。

应注意，系统 10 还包括电力电子设备。在示出的实施例中，该电力电子设备包括交流/直流变换器 60 以及直流/交流模块或逆变器 70。该交流/直流变换器 60 能包括任何合适的变换器，该变换器可操作以将由发电机产生的交流电流（其频率随着发电机转速改变而变化）转换为直流电流，而且可进一步以电流控制模式来操作该变换器，从而独立于交流输入电流的特性对直流电流的电平进行控制（在一定限度内）。通常，这种主动的电流控制基于脉宽调制（PWM）方案，该脉宽调制方案利用在高频率下执行开关操作、并有效地允许电流仅在输入电流波形的每个周期的一部分内通过的半导体开关装置。这个允许电流在期间通过

的“时间窗口”可以在持续期间变换，从而改变所述变换器的“平均”电流输出。

然后，直流/交流模块或逆变器 70 对交流/直流变换器 60 的输出进行处理，从而以固定的频率合成交流输出电流。在许多国家中，标准的电源频率为 60 周期每秒，而在另一些国家为 50 周期每秒。选择逆变器的输出频率以与系统 10 将要在该处运行的特定地点内使用的标准电源频率匹配。

系统 10 还包括大量连接到控制系统 40 上的传感器，用于测量各种参数。例如，输出功率表 72 用于测量系统产生了多少电功率。一个或多个发动机传感器 74 对一个或多个与发电机循环相关联的热力学变量进行监控。采用这些热力学变量来确定发动机在何处运行在其“路线图”上，即确定发动机是在其设计点上或在其设计点附近运行，还是偏离了设计点。例如，涡轮入口温度传感器能用于测量涡轮入口的温度。如以上所指出的那样，涡轮入口温度代表发动机内工作流体的峰值温度，并通常与发动机的整体效率相关。从而，通过测量涡轮入口温度以及其它参数，能推断出发动机的相对热力学效率。

传感器 76 对废气流中的同流换热器 50 的入口温度进行测量。在部分负载的状态下，如果没有正确地控制发动机，则同流换热器的入口温度会超过由材料极限所决定的最高许可水平。因而，将控制系统有利地连接到用于监控同流换热器入口温度的传感器 76 上，而且控制系统对通过发动机的空气流量进行调节，从而防止温度超过材料极限，与此同时，在这一附加限制之内，尽可能高地维持涡轮入口温度。

并没有必要实际上对相对热力学效率进行推断，而仅仅是测量一个或多个表示发动机相对效率或运行情况的参数。如所指出的那样，例如，对给定的发动机功率输出（因此对于给定的、如功率表 72 所测量的发电机功率输出）而言，众所周知的是，一般通过使涡轮入口温度最高，对发动机效率进行优化。因而，通过控制空气流量能实现对燃料/空气比的控制，从而在许可限度内使涡轮入口温度最高。更具体地，为了保持足够的材料强度以及整体性以避免零件失效，涡轮入口喷管的材料具有不

应被超过的最高许可温度。在百分之百负载的设计点处，发动机一般设计成使得涡轮入口温度处于该最高许可温度或在其附近。对于低负载的状态，可以通过这样的方式对空气流进行控制，即，使得涡轮入口温度并不比设计点温度低很多。

在系统包括同流换热器 50 时，对同流换热器内的材料极限的考虑可能必须偏离这一恒定的涡轮入口温度操作模式。更具体地，在非常低的部分负载状态下，如果将涡轮的入口温度维持在与百分之百负载点相同的水平上，进入同流换热器的排气温度会超过由同流换热器的材料极限所决定的最高许可温度。因而，根据本发明，在这样的情形下，能控制发电机的转速，以控制通过发动机的空气流量（同时控制至发动机的燃料流量），从而以这样的方式控制燃料/空气比，即允许涡轮入口温度低于与百分之百负载运行状况相对应的温度。这样，能防止进入同流换热器的排气温度超过预定的最高许可值。

因此，例如，控制系统 40 可将涡轮入口温度对相对的发电机负载的预定图形（schedule）存储在存储器中。相对的发电机负载（由功率表 72 所测量的功率输出反映）通常表示相对的发动机负载，因此指出了发动机在其路线图上运行在何处。控制系统 40 可采用合适的控制算法，从而以这样的方式控制空气流（通过以某些合适的方式对发电机转速进行控制，例如通过控制来自交流/直流变换器 60 的直流电流），即，使得涡轮入口温度与预定图形所决定的值大致匹配。这只是一种可能控制方案的简单实例，可采用根据本发明的其它方案。

图 2 示出了这一涡轮入口温度对相对的发电机负载的可能图形，并对系统 10 内不同点处的各个温度（实线）与如果采用现有技术类型的控制方法将存在的对应温度（虚线）进行了比较。根据本发明，在百分之百的相对发电机负载值（即发电机的设计点），涡轮入口温度大致等于约 1200K 的最高许可涡轮入口温度。涡轮入口温度维持在这一值上，直到约百分之四十的相对的发电机负载。相反地，在现有技术的控制方法中，涡轮入口温度在负载低于百分之百时稳定下降。因此，在相同的相对负载下，根据本发明的控制方案的发动机整体效率比根据现有技术控制方

案的发动机整体效率高。

在相对负载为百分之四十时，可以看到，涡轮出口温度（其基本上与同流换热器的入口温度相等）已经上升到约 900K 的同流换热器最高许可温度。在负载进一步降低时，如果将涡轮入口温度维持在大约 1200K，则涡轮出口温度将超过同流换热器的最高许可温度。因而，根据本发明，允许涡轮入口温度下降到低于 1200K。

在燃烧室 28 为催化燃烧室时，会出现另外一个能影响控制图形的因素。如所指出的那样，催化燃烧室具有最低的入口温度，必须保持该最低的入口温度以维持催化反应。在现有技术的控制方法中，可从图 2 中看到，在相对负载低于百分之五十时，燃烧室入口温度下降到低于约 800K 的这一最低温度。然而，根据本发明，燃烧室入口温度从百分之百负载点处的约 800K 上升到百分之四十负载点处的约 860K。在低于百分之四十负载时，燃烧室入口温度保持为大约恒定，约为 860K。从而本发明实现了在部分负载状态下的效率提高，与此同时允许催化燃烧室在所有运行点上正常运行。

图 3 示出了在采用空气流控制的本发明控制方法中以及在不采用空气流控制的现有技术的控制方法中，燃料/空气比是如何变化的。在流动控制的情形中，部分负载状态下的燃料/空气比通常明显高于现有技术方法中的燃料/空气比。采用流动控制的较高燃料/空气比反映了这一事实，即空气流量比现有技术方法中的低。从百分之百负载到百分之四十负载，采用流动控制的燃料/空气比以相对较低的速率下降；其结果为涡轮入口温度大致保持为恒定，如在图 2 中已经指出的那样。在低于百分之四十负载时，采用流动控制的燃料/空气以高得多的速率下降。

从图 2 中还注意到，在本发明的控制方法中，燃烧室入口温度一般比现有技术方法中的高。有利地，较高的燃料/空气比以及较高的燃烧室入口温度一般有利于预混合的低排放燃烧室的低排放。

上文所描述的控制方案假设可直接测量涡轮入口温度，并将其用作控制参数。然而，在一些情形下，由于极端的使用环境，在该环境下涡轮入口温度传感器不得不运行，所以测量涡轮入口温度可能是不实际的。

因而，可替换地，可测量发动机循环中的其它热力学变量，并在循环计算的基础上推断得出涡轮入口温度。作为另外又一可替换方案，控制系统能存储合适的控制参数（如发动机空气流量）对相对的发电机负载的图形，而且能测量热力学变量，从而可推出控制参数；然后控制系统将驱动实际的（即推出的）控制参数，使之大致等于规定值。

所采用的具体控制方法以及为实现该方法所测量的参数并不重要。本发明的基本概念要求对通过发动机的空气流量进行控制，作为提高或优化对于发电机系统 10 的任何给定功率输出的发动机整体效率的手段。

同时，在负载跟踪操作模式中，必须对发电机系统 10 的功率输出进行控制，以使之与负载所需的功率匹配。功率输出主要是燃料流量的函数。因而，在负载跟踪模式中，控制系统 40 同时如上所述对空气流进行控制，与此同时还控制功率输出（如由功率表 72 所测量的），以满足需求。负载跟踪控制方法是众所周知的，从而在此不进一步加以描述。

系统 10 还可以根据特定的应用以不同于负载跟踪的模式运行。在这些情形下，仍可应用已经描述的相同类型的空气流动控制。

上述的系统 10 具有单路式涡轮发动机 20。然而，本发明不限于任何具体类型的吸气式发动机。可以采用多路式涡轮发动机、具有自由涡轮的涡轮发动机、旋转燃烧室（如汪克尔（Wankel））发动机、往复式活塞式发动机以及其它发动机。在任一情形下，通过控制发电机转速对通过发动机的空气流量进行控制。

发电机 30 可为各种类型，包括永磁发电机和线圈发电机。上述系统 10 的实施例假设发电机 30 为其中没有激励系统的永磁发电机。另一方面，在线圈发电机的情形中，如现有技术中已知的那样，发电机需要激励系统 80（图 1），用于向转子线圈提供激励电流。该激励系统可包括例如安装在与转子相同的轴上或者机械地接合（如通过传动皮带）到转子轴上的小型发电机。

无论发电机类型如何，本发明要求对发电机转速进行电控制，从而对通过发动机的空气流量进行控制，由此优化发动机效率，并可能获得如上所述的其它效果。在永磁发电机的情形中，如已经描述的那样，通

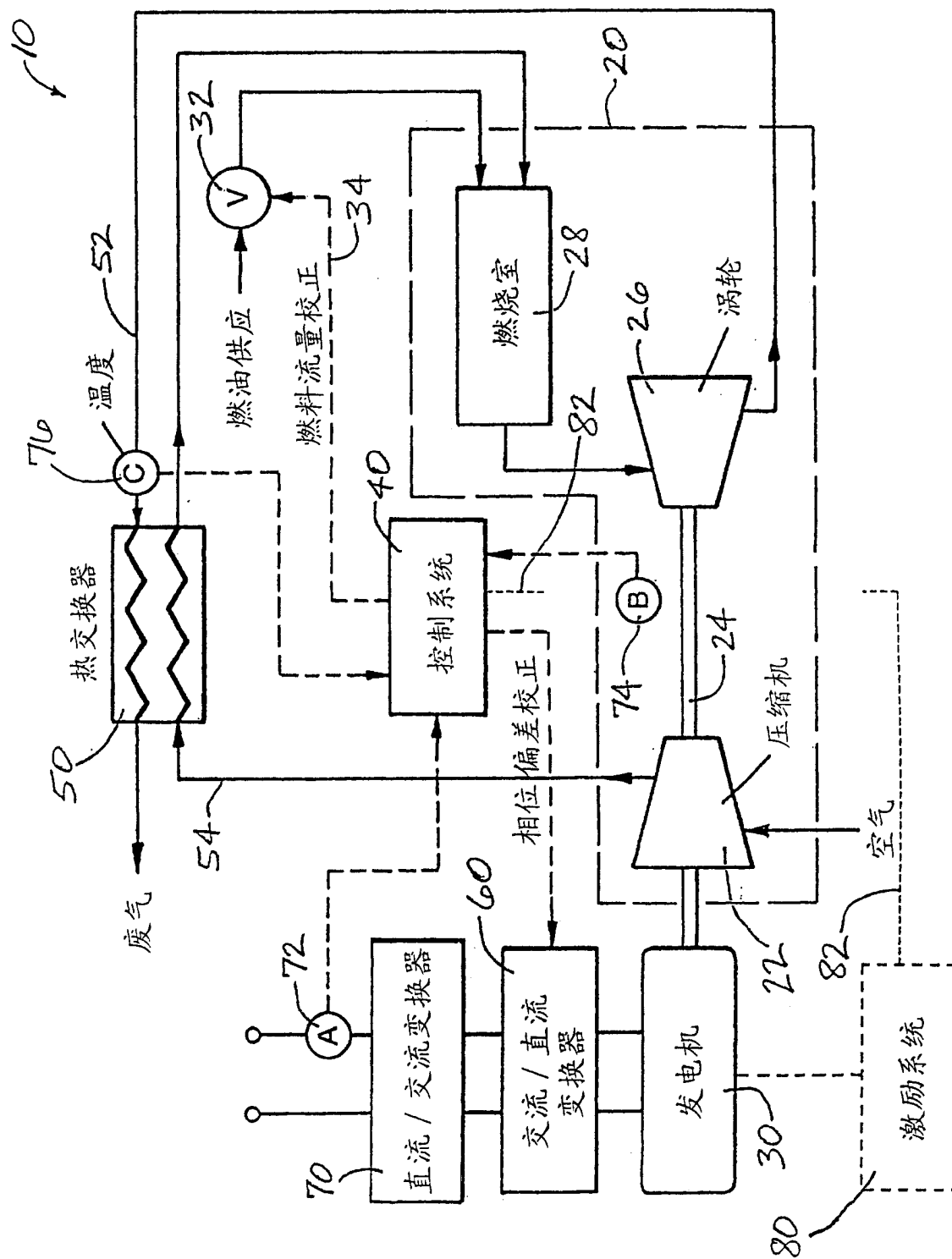
过控制交流/直流变换器或整流器 60 来实现对发电机的控制。在线圈发电机的情形中,可以采用多种控制方案。在一个方案中,控制系统 40(经由控制线路 82)控制激励系统 80,以调节发电机转速。可以不需要交流/直流和直流/交流转换,而可以采用交流/交流变换器来以所需频率合成交流输出电流,用于供应给负载。可替换地,可如上所述的那样,采用交流/直流和直流/交流变换器,在这一情形下,不必须对交流/直流变换器进行电流控制,这是因为通过控制激励系统执行了发电机转速的调节。

在另一方案中,可通过对激励系统进行控制以及对交流/直流变换器进行控制的组合来实现对发电机转速的控制。在又一方案中,如已经描述的那样,仅仅通过控制交流/直流变换器而对发电机转速进行控制。

如何控制发电机转速的细节对本发明并不重要,根据本发明可采用各种方案来实现这一点。

有利地,本发明允许对具有固定几何形状的压缩机、涡轮、和燃烧室部件的发动机的热力学循环进行控制。

本技术领域内的技术人员将明白这里所阐明的这些发明的许多改进和其它实施例,对他们而言,这些发明具有体现在上述说明和附图中的讲解的优点。因此,应理解,这些发明不限于所公开的特定实施例,而是改进的和其它实施例将包括在所附权利要求的范围内。尽管在这里采用了特定的术语,但仅是以一般的和描述性的方式而不是为了限制的目的应用这些术语。



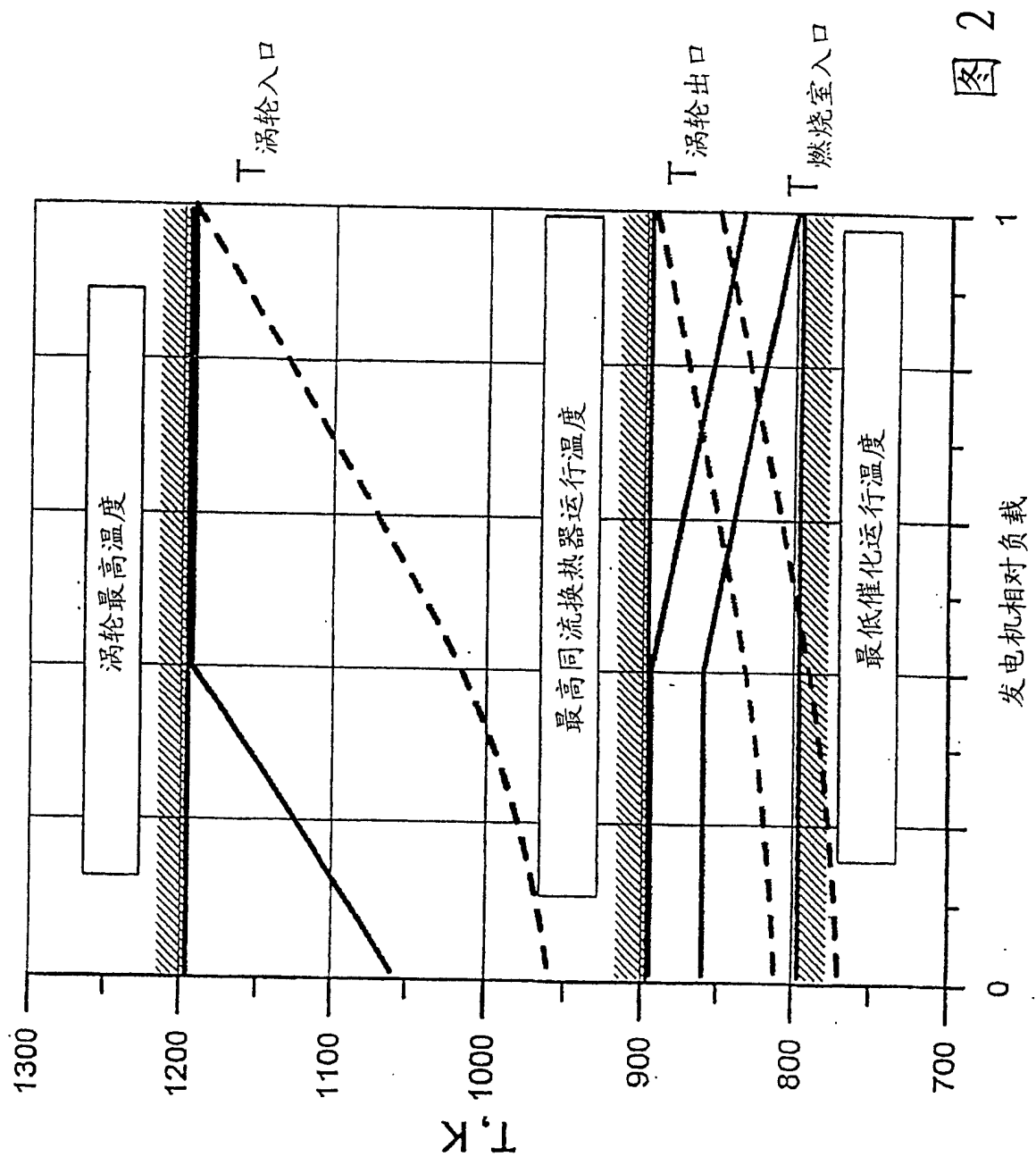


图 2

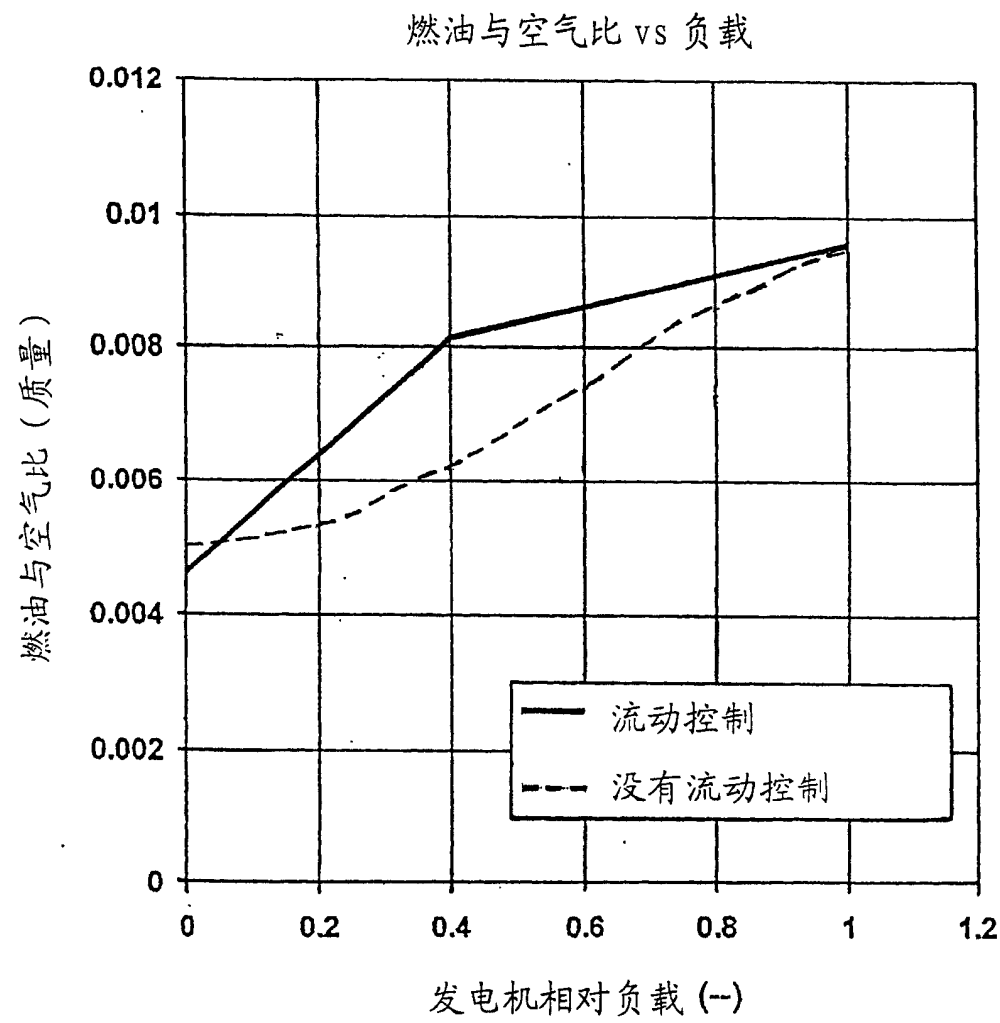


图 3