



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 01806802.2

[43] 公开日 2003年5月14日

[11] 公开号 CN 1418286A

[22] 申请日 2001.3.19 [21] 申请号 01806802.2

[30] 优先权

[32] 2000. 3. 20 [33] US [31] 60/190,621

[86] 国际申请 PCT/US01/08734 2001.3.19

[87] 国际公布 WO01/71176 英 2001.9.27

[85] 进入国家阶段日期 2002.9.18

[71] 申请人 埃克森美孚化学专利公司

地址 美国得克萨斯

[72] 发明人 弗兰克·F·米特里克

迈克尔·特纳

[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

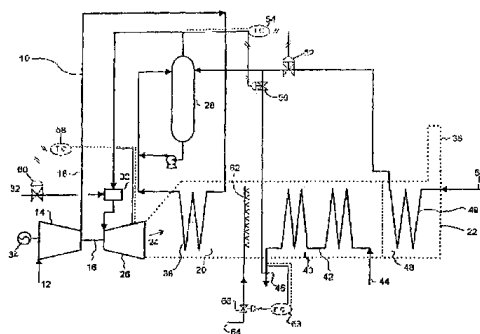
代理人 蒋旭荣

权利要求书2页 说明书12页 附图1页

[54] 发明名称 发电的方法和系统

[57] 摘要

一种发电的方法和装置，包括采用具有燃气轮机的热电联合系统。该燃气轮机包括一个压气机部分(14)，用于接收将进行压缩的空气(12)。该压缩空气供给燃烧室部分(30)，在该燃烧室部分(30)中，压缩空气与燃料(32)混合，该燃料燃烧以产生热燃气。该热燃气在膨胀机部分(26)中膨胀，以便产生轴功，该轴功用于驱动发电机或交流发电机，以便产生电力。热燃气作为涡轮排气(24)而离开膨胀机，通过将涡轮排气(24)的至少一部分热量传递给在燃烧室前面的空气中，从而冷却该涡轮排气(24)。



10. 根据权利要求8所述的方法，其中：在空气通过膨胀机排气加热之后，将水传送给压缩空气。

11. 根据权利要求8所述的方法，其中：在传送给压缩空气之前，水通过冷却膨胀机排气而加热。

12. 根据权利要求8所述的方法，其中：传送给压缩空气的水的流量根据传送给燃烧室部分的压缩空气的温度而选定。

13. 根据权利要求12所述的方法，其中：传送给燃烧室部分的压缩空气的温度保持足够高，以防止水冷凝。

14. 根据权利要求5、8或11所述的方法，其中：传送给燃烧室部分的燃料的流量根据在燃气轮机的膨胀机部分的进口处的热燃气温度而选定。

15. 根据权利要求5或14所述的方法，其中：该燃气轮机在低于它的最大燃料和空气流量的情况下工作。

1. 一种在热电厂中发电的方法，该热电厂在燃烧器中燃烧燃料和空气的混合物，并产生涡轮废气，该方法包括：

通过在空气传送给燃烧室之前与该空气进行换热，从而冷却涡轮废气。

2. 根据权利要求1所述的方法，其中：在与涡轮排气进行换热之后和将该空气传送给燃烧室之前，将水添加到该燃烧空气中。

3. 根据权利要求1或2所述的方法，其中：冷却的涡轮排气通过利用其中的热量产生蒸汽而进一步冷却。

4. 根据权利要求1或2所述的方法，其中：冷却的涡轮排气通过利用其中的热量加热流体而进一步冷却。

5. 在发电和生产一种或多种热电产品的热电厂中，一种用于减小每产生单位电力而产生的热电产品的量的方法，该方法包括：

使燃气轮机包括压气机部分、燃烧室部分和膨胀机部分；

将燃料和压缩空气传送给燃烧室部分；

在燃烧室部分中燃烧所述燃料和空气，以便提供热燃气；

将该热燃气传送给膨胀机部分，以便发电和产生膨胀机排气；

通过膨胀机排气和在流入燃烧室部分之前的压缩空气之间的换热来除去膨胀机排气中的热量，从而冷却膨胀机排气和加热压缩空气；以及利用冷却的膨胀机排气中的热量来产生一种或多种热电产品。

6. 根据权利要求5所述的方法，其中：该一种或多种热电产品包括蒸汽。

7. 根据权利要求5所述的方法，其中：该一种或多种热电产品包括液体加热介质。

8. 根据权利要求5所述的方法，其中：在将压缩空气传送给燃烧室部分之前，将水传送给压缩空气。

9. 根据权利要求8所述的方法，其中：在空气通过膨胀机排气加热之前，将水传送给压缩空气。

发电的方法和系统

相关申请的交叉引用

本发明要求申请日为2000年3月20日的美国临时申请No. 60/190621的优先权。

发明的背景技术

燃气轮机发电厂通过使燃料和压缩空气在燃烧室中燃烧,然后利用生成的高温、高压燃气使能够驱动发电机以发电的膨胀机旋转,从而产生电力。通常,该燃气轮机包括:压缩部分,用于压缩进入该燃气轮机的空气;燃烧部分,该燃烧部分在压缩部分后面,用于使燃料和压缩空气一起燃烧;以及膨胀部分,该膨胀部分在燃烧部分后面,在该膨胀部分,来自燃烧部分的燃气膨胀以便产生轴功。该轴功传递给发电机,该发电机将该轴功转变成电。

燃气轮机的工作基于三阶段的Brayton循环。首先,通过在压缩部分对空气进行等熵压缩而对空气做功。然后在燃烧部分将热量加给等熵压缩的空气。然后,热压缩空气在膨胀部分等熵膨胀至较低压力。Brayton系统自身必然效率低,因为在压缩和加热过程中施加给空气的大量热量仍保留在排出膨胀部分的相对高温低压的排气中。在很多情况下,该排气温度可以达到或超过1000°F(538°C)。当排向空气中时,用于将排气升高到该温度的燃烧燃料部分被浪费,导致整个循环的效率较低。

回收仍保留在膨胀机排气中的能量将提高该电厂的总体效率。在一种已知方法中,膨胀机的排气用于产生蒸汽,该蒸汽再用于在冷凝式汽轮机中产生附加的电力。在热力学上,用冷凝蒸汽发电效率低,因为大约三分之二的能量在冷凝循环中损失到冷却水中,只有大约三分之一的能量转换成电力。因为汽轮机以Rankine循环工作,而不是Brayton循环,利用这样的热回收方法称为组合循环电厂。

尽管这损失了能量,但是发展大型的先进燃气轮机将导致大幅度减小

装备组合循环发电厂所需的资金投资，并明显提高它们的效率。循环效率的有用部分称为热耗率，组合循环电厂将它定义为发电量（KW）除以所消耗燃料的潜热值（BTU/H）。目前，采用中型燃气轮机的组合循环电厂能够在低于 7000BTU/KWH 的情况下发电。

这些先进的燃气轮机采用更高的燃烧温度和压缩比，以便将更多的燃料燃烧热能直接在膨胀机中转换成电能。由膨胀机每产生单位电能时所排出的排气中的能量减小，从而使在汽轮机的冷却水中损失的能量也减小。这导致节省燃料和使热耗率更低。先进的燃气轮机在更高排气温度下每产生单位电能所产生的排气更少。因为排气的量减小和温度更高，更大百分比的排气能量由冷凝汽轮机回收，这也导致效率更高和热耗率更低。

在热电联合厂中，膨胀机排气的热能用于产生蒸汽和某些其它热介质例如热油，净产品为电力和热电联合产品（蒸汽或其它加热介质）。在本文中，能由蒸汽发生器和热油加热器吸收的热量也称为可用吸热。大型的先进燃气轮机通常不适于该热电联合用途，因为它们有很大流量和很高排气温度，因此需要非常大的可用吸热装置。

例如，当膨胀机排气的热能负载将产生的蒸汽比在该电厂其它地方用作加热介质等所需的蒸汽更多时，该排气能量负载超过可用吸热。在可用吸热装置中的该限制可能限制了在热电联合厂中的燃气轮机的大小，并无法开发形成具有经济规模和效率的大型燃气轮机。

因此，热电联合厂在经济上日益困难。燃气轮机的发展使得在组合循环和热电联合厂相对较小之间在效率上有差别。目前，因为与在组合循环电厂中采用大型燃气轮机相关的规模经济，组合循环电厂的每千瓦设备成本比热电联合厂小得多。

对于先进燃气轮机的大小和效率在已有水平上的进一步发展，需要一种可用于热电联合厂的新颖热量回收设计，以便使大型燃气轮机能够高效地用于热电联合用途。因为热电联合厂比组合循环电厂的效率更高，在给定大小的燃气轮机中输出每千瓦所烧的燃料更少，因此在环保上也有可采用热电联合厂的动机。

普通的热电联合厂通常也设计成能进行基本负载运行,即在它们的最大燃料和空气流量情况下工作。将该电厂的负载从它的基本负载降低时,发电效率也降低。不过,因为电价随市场需求波动,当电价较低时,可能希望使电厂负载从基本负载降低。因此,也需要能够使热电联合厂在负载降低的状态下高效运行的方法。

另一方面,当电的需求和价格较高时,热电联合厂通常不能提供附加的电力。因此,也需要使发电量能在峰值期间增加的方法,以便能使热电联合厂保持经济上可行。

发明内容

因此,本发明的一个目的是提供一种用于从燃气轮机的排气中回收热量和利用该回收的热量来减小该燃气轮机所需的吸热装置的方法。该方法允许排气的热负载以及与电厂其它地方所需的蒸汽和其它加热介质相关的可用吸热能够改变。

本发明的另一目的是提供一种高效增加燃气轮机电厂的峰值电力容量,同时减小所需吸热装置的方法。

本发明的另一目的是提供一种热量回收方案,该热量回收方案能够在电力需求降低和市场状况不利时高效降低工作功率。

简单地说,本发明能够实现这些和其它目的,本发明涉及一种用于在燃气轮机热电联合厂中高效发电的方法和装置,它克服了在热电联合用途中采用大型先进燃气轮机的限制。本发明利用直接从高温膨胀机排气中回收的热量,以便增加循环效率和减小热电联合用途所需的吸热装置,特别是采用大型燃气轮机时。在一个工作模式中,本方法涉及加水以增大流过膨胀机的质量流量,从而增加发电量。在另一模式中,本发明能够在不会损失较大效率的情况下降低发电量。本发明的方法和装置还增加了工作的柔性,从而在高需求时能够高效生产峰值电力,同时还能在电价较低时以降低功率的状态来高效发电,因此它有更大的经济吸引力。因此,本发明使得发电量和热电联合产品的产量能够基于当前的电力市场状况以及电厂的蒸汽、加热油或其它热需求而连续进行优化。

与已知的热电联合厂不同,在已知的热电联合厂中,燃气轮机的大小

由用于排气热负载的可用吸热装置限制，本发明的方法使得排气热负载超过可用吸热，同时利用先进燃气轮机的高温排气特性来提高循环效率。该高温排气预热进入燃烧室的空气，在一个重要方面，在压缩空气进入燃烧室之前预热离开压气机的压缩空气。在膨胀机排气和燃烧空气之间每进行一个单位的换热，就节省了一个单位的燃烧燃料。根据工作状态和装置的设计，大约三分之一的燃气轮机排气能量能够以这种方式直接回收。这个从膨胀机排气中回收热能的方法比组合循环电厂中的方法效率高得多，在组合循环电厂中，大约三分之二的排气能量损失到蒸汽冷凝器的冷却水中。冷却后的排气还很热，足以在下游产生热电联合产品，以便回收附加的热能。因为在冷却的膨胀机排气中残留的热能更少，因此与目前全部排气能量都用于产生蒸汽的热电联合热量回收方案相比，所需的吸热装置也大幅度减少。

在一个重要方面，本发明的方法还包括在燃烧以产生峰值电力之前，使预热的燃烧空气饱和水。使燃烧空气饱和水将提供通过膨胀机的更大质量流量，并可以在峰值电力期间明显增加发电量。燃烧空气的饱和还能够降低燃烧火焰温度，导致释放的 NO_x 气体更少。在膨胀机排气中的热能也可以用于加热在饱和器中使用的水。预热燃烧空气使它能带有更多的水，同时水不会在燃烧室中产生不希望的冷凝。因为该附加电力的投资成本低于安装附加燃气轮机以满足峰值电力需求时的成本，因此本发明方法在经济收入上对热电联合厂有附加吸引力。

因此，本发明的方法和装置能够使电力生产者在热电联合厂的燃气轮机大小上克服已有的吸热装置限制，从而增加工作效率和经济规模，同时还能有更大柔性，以便随市场状况变化而调节工作，以便获得最大利益。

附图的简要说明

图 1 是热电联合厂的示意图，该热电联合厂包括本发明的新颖的热量回收和峰值发电的方法。

优选实施例的详细说明

下面参考附图，唯一的附图 - 图 1 - 所示为实施本发明的热电联合厂

的示意图，该热电联合厂总体以参考标号 10 表示。外界空气 12 提供给燃气轮机 16 的压气机 14。压缩空气 18 通过流过一束翅片管而在热量回收蒸汽发生器 (HRSG) 22 的第一部分 20 中加热，由膨胀机 26 排出的热排气 24 从外部流过该束翅片管。该翅片管提供了传热表面，用于与膨胀机的排气 24 进行换热，并使热量进入压缩空气 18 中，从而加热压缩空气 18 和冷却排气 24。在本发明的一个方面，加热的压缩空气 18 引入饱和器筒 28 中，在该饱和器筒 28 中，需要时将水加入空气 18 中，优选是以蒸汽或水雾的形式，以便增加质量流量和因此增加膨胀机 26 的电力输出。该附加质量流量可使电力输出增加 20% 或更多。离开饱和器筒 28 的空气再在燃烧室 30 中通过燃烧燃料 32 而加热。燃料 32 可以是液体或气体，通常为天然气或馏分油。生成的燃气再在燃气轮机 16 的膨胀机 26 中膨胀，以便提供驱动发电机 34 以产生电力的轴功。

HRSG 22 接受来自燃气轮机 16 的膨胀机 26 的排气 24，并通过烟囱 36 将该排气排出到大气中。由于经济和环保的目的，在将排气释放到大气中之前，需要尽可能地在 HRSG 22 中除去排气热能。从经济方面考虑，排气每高出外界温度一度就将浪费一个单位的燃烧燃料。从环境上考虑，从排气中除去更多能量将能够采用更大、更高效的燃气轮机，该更大、更高效的燃气轮机每回收一个单位的能量都将导致产生更少量的温室气体。

HRSG 22 可以包括三个部分。在第一部分 20 中，膨胀机排气 24 的热量通过换热器 38 进行热交换，以便如上所述加热压缩空气 18。换热器 38 可以包括一束翅片管，压缩空气 18 在该翅片管中流动，而膨胀机排气 24 在外部流过该翅片管表面。也可以采用技术上已知的其它类型换热器。也可以提供有旁路 (未示出)，这样，可以调节提供给换热器 38 的燃烧空气的量，以便控制从膨胀机排气 24 中回收的热量。

在 HRSG 22 的另一部分 40 中，膨胀机排气 24 流过蒸汽发生器 42，在该蒸汽发生器 42 处，膨胀机排气加热和汽化进入蒸汽发生器 42 的锅炉供水 44，以便提供高压和/或低压蒸汽 46，从而适于在电厂中使用。也可选择或者与产生蒸汽组合，该排气 24 可以用于加热其它加热介质，

例如油或其它液态加热流体。在这样的一个实施例中，除了蒸汽发生器 42 或者代替该蒸汽发生器 42，提供有合适的换热系统（未示出），以便将排气热量回收到液体加热介质中。所产生的热电联合产品（蒸汽或液体加热介质）的量可以通过控制供给 HRSG 22 的部分 40 的锅炉供水的流量或液态加热流体的流量而进行控制，以便与电厂需要相匹配。也可选择，该热电联合产品的产量可以通过调节传送给 HRSG 22 的部分 20 的压缩空气的流量和因此调节进入部分 40 的膨胀机排气的含热量，从而进行控制。

HRSG 22 的第三部分 48 包括换热器 49，该换热器 49 可用于利用排气 24 加热饱和器补充水 50，从而回收另外的排气热量和更加改进循环效率。所生成的热水和/或蒸汽可以通过控制阀 52 引入饱和器筒 28 中。在本发明的一个方面，补充水的流量由温度控制器 54 控制，该温度控制器 54 调节控制阀 52。控制器 54 检测离开饱和器 28 的压缩空气的温度，并通过调节补充水 50 的流量而将该温度控制为合适的设定值。当检测温度低于设定值时，温度控制器 54 通过减少补充水 50 的流量来使饱和压缩空气的温度保持在合适的设定值，当检测温度高于设定值时，温度控制器 54 通过增加补充水 50 的流量来使饱和压缩空气的温度保持在合适的设定值。希望将该温度设定值选择为高于可能在燃烧室 30 中发生冷凝时的温度值。这样，在峰值电力需求时，该方法允许添加大量的水，同时防止水在燃烧室 30 中冷凝。因为可安全添加的水量取决于燃烧空气流量和温度，因此，通过将补充水的流量控制为饱和燃烧空气温度的函数，能够在不会有在燃烧室 30 中发生冷凝的危险的情况下添加大量的水。

尽管希望向燃烧空气中添加水以增大流过燃气轮机 16 的气流量，从而提供附加的电力，但是在低电力需求时，也可以中止使水流向饱和器 28。不过，应当知道，本发明的方法提供了很大的工作柔性，以便能根据市场电力状况对电厂工作进行调节。因此，当价格较低且电力需求减小时，可以向饱和器 28 供给很少量的水或不供水。在峰值需求期间，水的供给量可以直到冷凝极限，以便增加发电量。添加的补充水 50 可以通过 HRSG 22 预热，以便提高所述循环效率。也可选择，当需要更多膨

胀机排气热量来加热燃烧空气或产生热电联合产品时，补充水 50 可以从旁路经过 HRSG 22。

本发明还包括一种方法，在该方法中，在 HRSG 22 的部分 40 中产生的蒸汽传送给饱和器筒 28，以便使压缩的燃烧空气 18 饱和。在本发明的该形式中，可以提供有阀 56，该阀 56 使电厂蒸汽集管与饱和器筒 28 的进口管路连接。温度控制阀 54 调节阀 56，以便根据检测的饱和燃烧空气的温度变化来将蒸汽引入饱和器筒 28。当检测温度低于合适设定值时，温度控制器 54 减少蒸汽流量，当检测温度高于合适设定值时，温度控制器 54 增加蒸汽流量。因此，当需要附加电力且在 HRGG 22 的部分 40 中的蒸汽产品超过电厂其它地方的需求时，希望可以将在 HRGG 22 的部分 40 中产生的蒸汽 46 通过阀 56 引向饱和器筒 28。当需要附加电力且在 HRGG 22 的部分 40 中的蒸汽产品与电厂其它地方的需求相匹配或不足时，希望用补充水 50 来供给饱和器筒 28 和使压缩空气 18 饱和。

应当知道，当燃烧空气的温度由于从排气中回收热量而更高时，将增加在没有冷凝危险的情况下在峰值发电期间可添加到燃烧空气中的补充水或蒸汽的量。同时，由于在 HRGG 22 的三个部分中回收热量，因此吸热装置需求减小，这样，燃气轮机 16 在更高流量下高效运行，同时不会有大量热能损失到大气中。因此，为了加热燃烧空气、补充水和蒸汽和将水或蒸汽添加到燃烧空气中而回收排气热量的组合将大幅度提高热电联合厂的循环效率和经济性，同时能够在热电联合用途中装备大型燃气轮机。

在本发明的一个优选形式中，流向燃烧室 30 的燃料流量通过温度控制器 58 调节，该温度控制器 58 控制阀 60 以使涡轮叶片的表面温度保持在冶金极限或低于该冶金极限。这通过控制流向燃烧室 30 的燃料流量和流向饱和器 28 的水流量而实现。

本发明的一个重要方面是，它允许燃气轮机可以选择有大于电厂可用吸热的最大膨胀机排气热负载，从而能够实现与大型燃气轮机相关的增加生产效率。不过，在某些市场情况下，希望通过降低燃气轮机流量来减小发电。如下面详细所述，当电价无利可图时，本发明的装置和方法

也能够高效降低热电联合厂的生产。这样降低生产可能导致排气热负载不能充分满足该电厂的蒸汽和/或加热油需求。因此，HRGG 22 还可以提供有补充燃烧器 62，用于燃烧补充燃料 64，从而加热提供给 HRGG 22 的部分 40 的排气 24，以便产生热电联合产品。

在包含热电联合蒸汽的一个实施例中，供给补充燃烧器的补充燃料流量通过压力控制器 63 和阀 68 调节。压力控制器 63 监测电厂蒸汽集管的压力，并在需要时调节补充燃料 64 的流量。如现有技术所知，蒸汽发生器 42 可用包括提供不同压力蒸汽的装置，例如提供 650psig (4583kPa 绝对压力) 的高压蒸汽和 125psig (963kPa 绝对压力) 的低压蒸汽。因此，压力控制器 63 可用包括两个或更多控制器，以便监测整个电厂蒸汽系统的不同蒸汽集管。

本发明的方法和装置的规模经济性如表 1 所示，它对在各种热量回收模式下的小型 and 大型燃气轮机的发电量、吸热要求和效率进行了比较。

表 1
本发明与其它热电联合和组合循环方法的比较

方法 No.	说明	净功率 MW	650psig 蒸汽 4583kPa KLB/H	125psig 蒸汽 963kPa KLB/H	热耗率 BTU/KWH
1(本发明方法)	GE 7EA Cogen 回热加热器	85.8	185	65	5990
2	GE 7EA 抽气/冷凝	101.6	185	65	6800
3	GE 7EA Full Cogen(未燃烧)	85.8	326	44	6000
4	GE 7EA Cogen (高烟囱温度)	85.8	185	65	8060
5	GE 7EA 组合循环	124.7	0	0	7800
6	GE 6B Full Cogen(未燃烧)	40.3	155	20	6400

热电联合厂的热耗率也说明与热电联合加热介质的可用性相关的燃料节省性，换句话说，该热耗率定义为：

[进入燃气轮机的燃料热值(BTU/H)–

由于热电联合的加热介质的可用性而在其它地方节省的燃料热值
(BTU/H)]/净电力(MW)

因此，例如当热电联合产品是蒸汽时，由于不用在电厂其它地方汽化这么多蒸汽而节省了燃料。在组合循环电厂中，没有与热电联合产品相关的燃料节省。

方法6是利用较小的General Electric GE 6B燃气轮机的热电联合厂，该GE 6B燃气轮机的大小不超过可用的电厂吸热装置。热电联合产品是高压和低压蒸汽，且没有向HRGG补充燃烧器供给补充燃料。方法6的热耗率优于三个其它方法，但是净发电非常低。因此，需要大量的GE 6B燃气轮机来满足电厂的总发电，需要的投资非常高。

方法3表示了热电联合厂中用较大的先进的GE 7EA燃气轮机代替较小的燃气轮机。该GE 7EA在低热耗率的情况下产生超过两倍的电力，但是当测量650psig(4583kPa绝对压力)和125psig(963kPa绝对压力)的蒸汽产生量时，需要大得多的吸热装置。在很多电厂中，该蒸汽量大于在电厂其它地方的蒸汽消耗量，这样，膨胀机排气的热负载超过可用吸热。

方法4表示了热电联合厂中采用GE 7EA燃气轮机的吸热极限的效果。只需要在HRGG中回收高温膨胀机排气热量中的满足电厂蒸汽需求的部分。其余的排气热量排放到大气中，导致很高的烟囱排气温度。该热量向大气中的所示导致更大热量消耗。因此，在吸热装置小于最大排气热负载的电厂中，为产生与方法3同样的净电力，GE 7EA燃气轮机在更高热耗率下工作。该较高热耗率使得较大GE 7EA燃气轮机很难在经济上适用，因为每千瓦小时电力需要更多燃料。

方法1表示了采用如图1所示的本发明回热式热量回收方法的效率。通过将膨胀机排气热量直接回收到通向燃烧室的压缩空气中，与具有较大可用吸热装置的电厂的热电联合方法例如方法3相比，本发明的方法

有较低的吸热装置。不过，与方法 4 相比，排气有更低热能，且所需吸热装置低得多。热耗率比方法 4 低得多，因为通过烟囱损失到大气中的热量更少。根据本发明方法，与换热器 70 一起工作的较大 GE 7EA 在较低热耗率下产生的电力超过较小 GE 6B 燃气轮机在较低热耗率下产生的电力的两倍，同时只需要稍微大一点的吸热装置。热耗率较低，部分是因为较大燃气轮机在较高电力输出时在轴承中的摩擦损失更低。且安装较大燃气轮机的成本比安装较小 GE 6B 燃气轮机的成本低\$150/KW，因为需要更少设备来满足电厂的总发电量。

采用本发明的方法的热电联合厂的装备和工作成本也优于组合循环电厂。方法 5 表示了有 GE 7EA 燃气轮机的组合循环电厂。由膨胀机排气产生的全部蒸汽都在冷凝涡轮中冷凝，以便产生附加的电力。因此，净发电量较大，且不需要吸热装置。不过，该组合循环电厂的热耗率极高，因为只有大约三分之一的排气热量在冷凝汽轮机中转换成电力。其余的排气热量损失到冷凝循环的冷却水中。

方法 2 表示了一种热量回收方法，通过该方法，膨胀机排气热量用于产生能充分满足电厂吸热限制的高压和低压蒸汽，其余的蒸汽抽出并在汽轮机中冷凝，以便产生附加电力。该方法产生更多净电力，但还是有高于方法 1 的热耗率，因为冷凝蒸汽发电的热力学效率低。因此，与组合循环电厂相比，本发明的方法能够有更好的工作效率，同时能够避开采用较大燃气轮机的电厂可用吸热限制。

尽管没有在表 1 中表示，但是本发明的方法还包括向燃烧空气中加水，如图 1 所示和上面所述。加水的速度在标准燃气轮机中是有限的，因为害怕水冷凝。因为本发明的方法增加了燃烧空气的温度，该限制减轻，可以添加更多水。这样加水可以产生超过 20% 的附加峰值电力。

因此，本发明的方法不仅大幅度减小热电联合厂所需的吸热装置，而且大幅度增加了循环效率，当价格有利时可以进行附加发电。

表 2
本发明在各个负载下的特性

	全负载	90% 负载	85% 负载	80% 负载
所需燃料(MBTU/H)	901.99	821.74	790.71	761.13
压气机排出温度(F)	701	637	627	621
压气机流量(KLB/H)	2318	2091	2009	1936
膨胀机排气温度(F)	996	1029	1038	1047
膨胀机排气流量(KLB/H)	2412	2129	2045	1972
净电力(MW)	85.8	77.2	72.87	68.55

表 2 表示了本发明的发电方法的柔性工作的另一重要方面。正常情况下，当燃气轮机从它的满载容量降低时，它的效率降低。通常，通过使空气流量减小至基本负载流量的 80%，可以降低燃气轮机功率。进气引导叶片使得流量减小。如前所述，燃料流量可以控制成能够保持第一排膨胀机叶片上的表面温度，如前所述。电厂功率降低还需要降低燃料流量，这降低膨胀机内的温度，降低涡轮效率。

本发明方法的热量回收方案显著减小了降低功率工作时的效率损失。这是因为在降低功率状态下，换热器 38 实际上回收了更多热量。这时应当知道，当气流量降低时，横过膨胀机 26 的压力降也降低。压气机 14 的出口压力高于膨胀机进口压力。如图 2 所示，当压缩空气流量 18 和膨胀机排气流量 24 减小时，压气机排气温度降低，因为满足膨胀机进口压力所需的压缩量降低。当负载减小时膨胀机排气温度增加，因为膨胀机进口压力和膨胀更小。这两个因素提供了更大的传热驱动力（即更大的 LMTD），因此，即使排气流量降低，利用同样的换热面积也能回收更多热量。因此，当电价较低时（例如当晚上由煤确定电价时），利用本发明的热量回收方法的热电联合厂能够降低功率，同时不会大量损失效率。这给热电联合厂家提供了一种更高效的方法，以便当电价较低时减小发电量。当在降低功率状态下工作时，当地的附加蒸气需求可以通过在回热加热器后面的补充燃烧器 23 中进行补充燃烧来满足。

因此，本发明的方法和装置大幅度降低了燃气轮机所需的吸热装置，从而使热电联合厂家能很好地增加循环效率，降低较大燃气轮机的每千瓦设备成本。本发明还使得热电联合厂家能够根据电价水平来优化电厂工作，同时满足电厂吸热装置限制和蒸汽或热油的需求。因此，在正常的市场情况下，本发明的方法能够使电厂在基本负载下工作，同时直接将排气热量回收到燃烧空气中，从而不会产生超过电厂需求的更多蒸汽或热油。在电力需求和价格增加期间，本方法也能加水，以便使燃烧空气饱和，并产生附加的峰值电力，同时不会超过电厂可用吸热。在电力需求和价格水平较低时，本发明能够通过减小空气和/或燃料流量来降低燃气轮机的功率，且在需要时向补充燃烧器提供补充燃料，以便满足电厂蒸汽或热油的需求。因此，本发明的方法包括根据当前电力市场状态、电厂吸热装置限制和电厂蒸汽和热油需求的变化而自动控制和调节工作的方法，从而提高热电联合厂工作的经济性。

尽管本发明参考特定实施例进行了介绍，但是应当知道，在不脱离本发明的精神和范围的情况下可以进行多种变化，本发明的精神和范围如下面的权利要求所述。

