

[19]中华人民共和国专利局

[51]Int.Cl<sup>6</sup>

F02C 7/141

F02C 3/00



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 96123194.7

[43]公开日 1997年10月15日

[11] 公开号 CN 1162063A

[22]申请日 96.12.27

[30]优先权

[32]95.12.28 [33]JP [31]342070 / 95

[32]96.9.25 [33]JP [31]252703 / 96

[71]申请人 株式会社日立制作所

地址 日本东京都

[72]发明人 宇多村元昭

[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

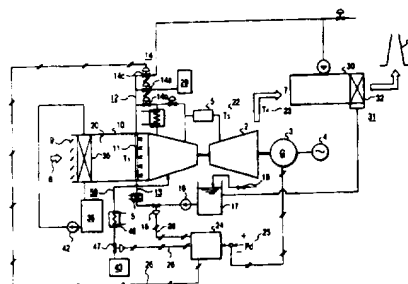
代理人 郑修哲

权利要求书 8 页 说明书 25 页 附图页数 10 页

[54]发明名称 燃气轮机、联合循环装置及压气机

[57]摘要

提供了一个燃气涡轮、一个联合循环装置和一个压气机，用一简单的适于实用的设备把液滴喷入引入压气机进口的空气中，可使功率输出及热效率加大。燃气轮机包括供入及压缩气体的压气机，燃料与压气机排出的气体一起在其中燃烧的燃烧室，和由燃烧室燃气驱动的涡轮。燃气轮机还包括设在压气机上的喷射装置，把液滴喷入供入压气机的进口的进气中，把进气温度降低使喷射的液滴在流下到压气机中时可以蒸发。



(BJ)第 1456 号

## 权 利 要 求 书

---

### 1. 一种燃气轮机, 包括:

一个压缩及排出供入其中的气体的压气机;  
一个燃料与从所述的压气机排出的气体在其中一起燃烧的燃烧室;  
一个由所述的燃烧室的燃气驱动的涡轮; 和  
一个滴喷射装置, 把液滴喷入要供入所述的压气机的气体中使要引入所述的压气机的气体的温度比外部空气温度低使所述的引入所述的压气机的液滴与气体在往下流入所述的压气机时可以蒸发。

### 2. 一种燃气轮机, 包括:

一个压缩及排出供入其中的气体的压气机;  
一个燃料与从所述的压气机排出的气体在其中一起燃烧的燃烧室;  
一个由所述的燃烧室的燃气驱动的涡轮; 和  
一个液滴喷射装置, 把液滴喷入要供入所述的压气机的气体中, 并在液滴进入所述的压气机前蒸发部分的液滴使喷入所述的压气机的喷射液滴与气体一起在往下流入所述的压气机时可以进一步蒸发。

3. 按照权利要求 1 的燃气轮机, 其特征在于所述的气体是空气, 一个进气舱设在所述的压气机的上游侧, 所述的进气舱包括一个空气过滤器, 供入所述的压气机的空气流过该过滤器, 而所述的液滴喷射装置设在在所述的进气舱中的所述的空气过滤器的下游侧。

4. 按照权利要求 1 的燃气轮机, 其特征在于所述的气体是空气, 一个进气舱设在所述的压气机的上游侧, 所述的进气舱包括一个空气过滤器及位于所述的过滤器下游侧的一个消声器, 供入所述的压气机的空气流过该过滤器及消声器, 而所述的液滴喷射装置设在所述的进气舱中的所述的消声器的下游侧。

5. 按照权利要求 1 的燃气轮机, 其特征在于所述的气体是空气, 一个进气舱设在所述的压气机的上游侧, 所述的进气舱包括一个空气过滤器, 供入所述的压气机的空气流过该过滤器, 而所述的

液滴喷射装置设在所述的进气舱和所述的压气机之间的边界附近。

6. 按照权利要求 1 的燃气轮机，其特征在于还包括设在所述的液滴喷射装置的上游侧用来冷却供入所述的压气机的气体的冷却装置。

7. 按照权利要求 1 的燃气轮机，其特征在于还包括设在废气通道用来回收从涡轮排出的废气中的水的水回收装置，以及把回收的水供入所述的液滴喷射装置的装置。

8. 按照权利要求 1 的燃气轮机，其特征在于所述的水回收装置是一个热交换器，其使用液化天然气作为冷却剂。

9. 按照权利要求 1 的燃气轮机，其特征在于所述的液滴含有水和乙醇。

10. 按照权利要求 1 的燃气轮机，其特征在于还包括响应所述的燃气轮机的功率输出控制从所述的液滴喷射装置喷出的液滴的量的控制装置。

11. 按照权利要求 1 的燃气轮机，其特征在于要引入所述的压气机的气体的湿度通过喷入液滴而升高到 90 %。

12. 一种燃气轮机，包括：

一个压缩及排出供入其中的气体的压气机；

一个燃料与从所述的压气机排出的气体在其中一起燃烧的燃烧室；

一个由所述的燃烧室的燃气驱动的涡轮；和

一个液滴喷射装置，设在所述的压气机的上游，用来把主要为  $50\mu\text{m}$  或更小的直径的液滴喷入要供入所述的压气机的气体中。

13. 一种燃气轮机，包括：

一个压缩及排出供入其中的气体的压气机；

一个燃料与从所述的压气机排出的气体一起燃烧的燃烧室；

一个由所述的燃烧室的燃气驱动的涡轮；和

一个液滴喷射装置，设在所述的压气机的上游，用来把液滴喷入要供入所述的压气机的气体中；

所述液滴喷射装置包括把液滴雾化的雾化装置。

14. 一种燃气轮机，包括：

一个压缩及排出供入其中的气体的压气机；

一个燃料与从所述的压气机排出的气体在其中一起燃烧的燃烧室；

一个由所述的燃烧室的燃气驱动的涡轮；和

一个液滴喷射装置，设在所述的压气机的上游，用来把液滴喷入要供到所述的压气机的气体中；

所述的液滴喷射装置包括加压气体供应装置用来供应加压气体把液滴雾化。

15. 一种燃气轮机，包括：

一个压缩及排出供入其中的气体的压气机；

一个燃料与从所述的压气机排出的气体在其中一起燃烧的燃烧室；

一个由所述的燃烧室的燃气驱动的涡轮；和

一个液滴喷射装置，设在所述的压气机的上游，用来把液滴喷入要供到所述的压气机的气体中；

所述的压气机的中间级与所述的液滴喷射装置相互连通；

所述的燃气轮机包括把所述的压气机的分流供入所述的液滴喷射装置的通道，和设在所述的通道中用来控制所述的分流量的控制阀。

16. 一种燃气轮机，包括：

一个压缩及排出供入其中的气体的压气机；

一个燃料与从所述的压气机排出的气体在其中一起燃烧的燃烧室；

一个由所述的燃烧室的燃气驱动的涡轮；和

一个液滴喷射装置，设在所述的压气机的上游，用来把要在所述的压气机蒸发的液滴喷入要供入所述的压气机的气体中；

当所述的液滴从所述的液滴喷射装置喷出时，从所述的压气机喷出的气体的温度比喷射液滴前降低 5℃ 或更多。

17. 一种燃气轮机，包括：

一个压缩及排出供入其中的气体的压气机；

一个燃料与从所述的压气机排出的气体在其中一起燃烧的燃烧室；

一个由所述的燃烧室的燃气驱动的涡轮；

一个设在所述的压气机的上游的进气舱，它包括一个空气过滤器及设在所述的空气过滤器下游的一个消声器，用来流过要供入所述的压气机中的空气流过；和

一个液滴喷射装置，设在所述的压气机的上游和所述的消声器的下游用来把液滴喷入要供入所述的压气机的空气中。

18. 按照权利要求 17 的燃气轮机，其特征在于还包括设在供液通道中用来升高要供入所述的液滴喷射装置的液体的温度的升温装置。

19. 一种燃气轮机，包括：

一个压缩及排出供入其中的气体的压气机；

一个燃料与从所述的压气机排出的气体在其中一起燃烧的燃烧室；

一个由所述的燃烧室的燃气驱动的涡轮；

一个液滴喷射装置，用来把液滴喷入要供入所述的压气机的气体中以便在所述的压气机中蒸发；和

一个设在供应要供入所述的液滴喷射装置的液体的通道中用来调节液体的温度的温度调节装置。

20. 一种燃气轮机，包括：

一个压缩及排出供入其中的气体的压气机；

一个燃料与从所述的压气机排出的气体在其中一起燃烧的燃烧室；

一个由所述的燃烧室的燃气驱动的涡轮；和

蒸汽供应装置，设在所述的压气机的上游用来把蒸汽供入要供到所述的压气机的气体中。

21. 一种燃气轮机，包括：

一个压缩及排出供入其中的气体的压气机；

一个燃料与从所述的压气机排出的气体一起燃烧的燃烧室；

一个由所述的燃烧室的燃气驱动的涡轮；和

一个液滴喷射装置，设在所述的压气机的上游，用来把液滴喷入要供入所述的压气机的气体中；

所述的液滴喷射装置喷射出气体流量的 0.2%-0.5% 重量的液滴。

22. 一种燃气轮机，包括：

一个压缩及排出供入其中的气体的压气机；

一个燃料与从所述的压气机排出的气体在其中一起燃烧的燃烧室；

一个由所述的燃烧室的燃气驱动的涡轮；

一个液滴喷射装置，设在所述的压气机的上游，用来把液滴喷入要供入所述的压气机的气体中；和

加压气体供应装置，用来把加压气体供到所述的压气机的中间级。

23. 一种燃气轮机，包括：

一个压缩及排出供入其中的气体的压气机；

一个燃料与从所述的压气机排出的气体在其中一起燃烧的燃烧室；

一个由所述的燃烧室的燃气驱动的涡轮；

一个液滴喷射装置，设在所述的压气机的上游，用来把液滴喷入要供入所述的压气机的气体中；和

一个响应所述的燃气轮机的功率输出控制从所述的液滴喷射装置喷出的液滴的量的控制装置。

24. 一个燃气轮机，包括：

一个压缩及排出供入其中的气体的压气机；

一个燃料与从所述的压气机排出的气体在其中一起燃烧的燃烧室；

一个由所述的燃烧室的燃气驱动的涡轮；

一个设在所述的燃气轮机中的冷却气体流通中的涡轮叶片；

一个用来把所述的压气机的分流导入所述的涡轮叶片的流道中的流道；

一个液滴喷射装置，设在所述的压气机的上游，用来把液滴喷入要供入所述的压气机的气体中，和

一个响应所述的压气机的分流的温度控制所述的分流的流量的控制装置。

25. 一个燃气轮机的操作方法，所述的燃气轮机包括：

一个压缩及排出供入其中的气体的压气机；

一个燃料与从所述的压气机排出的气体在其中一起燃烧的燃烧室；

一个由所述的燃烧室的燃气驱动的涡轮；和

一个液滴喷射装置，用来把液滴喷入要供入所述的压气机的气体中，包括下面步骤：

响应所述的燃气轮机的功率输出，控制从所述的液滴喷射装置喷出的液滴量。

26. 一个联合循环装置，包括：

一个燃气轮机，包括：

一个压缩及排出供入其中的气体的压气机；

一个燃料与从所述的压气机排出的气体在其中一起燃烧的燃烧室；

一个由所述的燃烧室的燃气驱动的涡轮；

一个热回收锅炉，使用从所述的涡轮排出的废气作为热源产生蒸汽；

一个由所述的热回收锅炉产生的蒸汽驱动的蒸汽涡轮；和

一个液滴喷射装置，用来把液滴喷入要供到所述的燃气轮机的压气机中的气体中，使进入所述的压气机的气体的温度比外界空气温度低，使得引入所述的压气机的喷入的液滴和气体流下到所述的压气机中可以蒸发。

27. 一个联合循环装置，包括：

一个燃气轮机，包括：

一个压缩及排出供入其中的气体的压气机；

一个燃料与从所述的压气机排出的气体在其中一起燃烧的燃烧室；

一个由所述的燃烧室的燃气驱动的涡轮；和

一个液滴喷射装置，用来把液滴喷入要供入所述的压气机中的气体中，并在导入所述的压气机前蒸发部分液滴，使得引入所述的压气机的喷入的液滴和气体流下到所述的压气机中可进一步蒸发；

一个热回收锅炉，使用从所述的涡轮排出的废气作为热源产生蒸汽；和

一个由所述的热回收锅炉产生的蒸汽驱动的蒸汽涡轮。

28. 一个压气机，气体供入其中，并压缩及排出供入的气体，

包括：

一个液滴喷射装置，用来把液滴喷入要供到所述的燃气轮机的压气机中的气体中，使进入所述的压气机的气体的温度比外界空气温度低，使得引入所述的压气机的喷入的液滴和气体流下到所述的压气机中可以蒸发。

29. 一个压气机，气体供入其中，并压缩及排出供入的气体，包括：

一个液滴喷射装置，设在所述的压气机的上游，用来把主要为  $50\mu\text{m}$  或更小的直径的液滴喷入要供入所述的压气机的气体中。

30. 一个压气机，气体供入其中，并压缩及排出供入的气体，包括：

一个液滴喷射装置，设在所述的压气机的上游，用来把液滴喷入要供入所述的压气机的气体中；

所述液滴喷射装置包括把液滴雾化的雾化装置。

31. 一个把液滴喷入要供入燃气轮机的压气机的气体中的液滴喷射装置，所述的燃气轮机包括所述的压气机，用来压缩及排出供入其中的气体，一个燃料与从所述的压气机排出的气体在其中一起燃烧的燃烧室，和一个由所述的燃烧室的燃气驱动的涡轮，其特征在于：

所述的液滴喷射装置喷出液滴使进入所述的压气机的气体的温度比外界空气低使得引入所述的燃气压气机的喷射的液滴与气体一起往下流入所述的压气机时可以蒸发。

32. 一个从压气机的上游把液滴喷入要供入燃气轮机的压气机的气体中的液滴喷射装置，所述的涡轮包括所述的压气机，用来压缩及排出供入其中的气体，一个燃料与从所述的压气机排出的气体在其中一起燃烧的燃烧室，和一个由所述的燃烧室的燃气驱动的涡轮，其特征在于：

所述的液滴喷射装置喷出液滴直径主要为  $50\mu\text{m}$  或更小的液滴。

33. 一个从压气机的上游把液滴喷入要供入燃气轮机的压气



机的气体中的液滴喷射装置，所述的涡轮包括所述的燃气压气机，用来压缩及排出供入其中的气体，一个燃料与从所述的压气机排出的气体在其中一起燃烧的燃烧室，和一个由所述的燃烧室的燃气驱动的涡轮，其特征在于：

所述的液滴是在所述的压气机中蒸发的液滴，和所述的液滴喷射装置包括使液滴雾化的雾化装置。

34. 一个从压气机的上游把液滴喷入要供入燃气轮机的压气机的气体中的液滴喷射装置，所述的燃气轮机包括所述的压气机，用来压缩及排出供入其中的气体，一个燃料与从所述的压气机排出的气体在其中一起燃烧的燃烧室，和一个由所述的燃烧室的燃气驱动的涡轮，其特征在于：

所述的液滴喷射装置包括响应所述的燃气轮机的功率输出控制喷出的液滴量的控制装置。

# 说 明 书

---

## 燃气轮机、联合循环装置及压气机

本发明涉及燃气轮机，更具体地涉及其中液滴喷入燃气轮机的压气机进口空气中的燃气轮机。本发明还涉及联合循环装置，更具体地涉及其中液滴喷入构成联合循环装置的压气机的进气中的联合循环装置。本发明还涉及压气机，更具体地涉及其中液滴喷入压气机进口空气中的压气机。

在夏季等较热季节空气温度升高时，燃气轮机的功率输出降低，已分开了用于反馈功率的多种方法。

日本专利申请公开 No: Hei-7-97933，日本实用新型申请公开 No: Sho-61-37794 或日本专利申请公开 No: 5-195809 中公开了对压气机进口空气的冷却。

同时，在日本专利申请公开 No. Sho-61-283723 中公开了在气化炉及燃气轮机的联合系统中从压气机进口及压气机中间级供水。

另外，日本实用新型申请公开 No: Sho-56-43433 中公开了在压气机中设置水滴的供应口，在日本专利申请公开 No: Hei-2-211331 公开了一种燃气轮机，其包括高压及低压压气机及设在压气机之间的中间冷却器。同时，日本专利申请公开 No: Hei-6-10702 公开了一种装置，其中在包括多个压气机级的压气机组中，水喷到上游侧压气机级及下游侧压气机级之间的中间位置以减少功率消耗。

但是，日本专利申请公开 No: Hei-7-97933, 日本实用新型申请公开 No: Sho-61-37794 或日本专利申请公开 No: Hei-5-195809 只公开降低引入压气机中的进气的温度以便加大功率输出。虽然在日本专利申请公开 No: Sho-61-283723 中公开了在压缩时蒸发液滴以把它们作为冷却涡轮叶片的介质，并放大涡轮循环特点，但是没达到功率加大及热效率加大。

对于燃气轮机，联合循环装置或压气机，要求达到功率加大及热效率加大。

同时, 为了达到功率加大及热效率加大, 如在日本专利申请公开 No: Hei-6-10702 或日本专利申请公开 No: Hei-2-21133 中, 需要专门的设备用作压气机中间部分的高压气的流道, 这使压气机结构复杂及增加总体尺寸。另外, 在日本实用新型公开 No: Sho-56-43433 中要求有压气机匣及喷嘴专门结构。

考虑实际的燃气轮机, 联合循环装置和压气机, 要求用简单设备达到功率加大及热效率加大。

本发明的目的是提供一种燃气轮机、联合循环装置和压气机, 其中液滴喷入引入压气机的进口中来达到功率输出的加大及热效率的加大。

为了达到本发明的上述目的, 本发明提供了一种燃气轮机, 包括: 一个压缩及排出供入其中的气体的压气机; 一个燃料与从所述的压气机排出的气体在其中一起燃烧的燃烧室; 一个由所述的燃烧室的燃气驱动的涡轮; 和一个液滴喷射装置, 把液滴喷入要供入所述的压气机的气体中使要引入所述的压气机的气体的温度比外部空气温度低使所述的引入所述的压气机的液滴与气体在往下流入所述的压气机时可以蒸发。

使用这种燃气轮机, 液滴可根据功率要求喷入要引入压气机的进口的进气中, 以使用实用的简单设备达到功率输出放大及热效率放大。

按照本发明的另一方面提供了一个压缩及排出供入其中的气体的压气机; 一个燃料与从所述的压气机排出的气体在其中一起燃烧的燃烧室; 一个由所述的燃烧室的燃气驱动的涡轮; 和一个液滴喷射装置, 设在所述的压气机的上游, 用来把主要为  $50\mu\text{m}$  或更小的直径的液滴喷入要供入所述的压气机的气体中。

使用这种燃气轮机, 可用实用的简单设备把细液滴供入压气机的进气中, 通过供入压气机的进气流可很好地传送水滴。因此, 含液滴的气体可有效地从压气机进口传送入压气机中。另外, 导入压气机的液滴可以好的状态蒸发。因此, 可达到功率放大及热效率放大。

按照本发明又一个方面, 提供了一个联合循环装置, 包括: 一个燃气轮机, 一个压缩及排出供入其中的气体的压气机; 一个燃料与从所述的压气机排出的气体在其中一起燃烧的燃烧室; 一个由所述的燃烧室的燃气驱动的涡轮和一个热回收锅炉, 使用从所述的涡轮排出的废气作为

热源产生蒸汽；一个由所述的热回收锅炉产生的蒸汽驱动的蒸汽涡轮；和一个液滴喷射装置，用来把液滴喷入要供到所述的燃气轮机的压气机中的气体中，使进入所述的压气机的气体的温度比外界空气温度低，使得引入所述的压气机的喷入的液滴和气体流下到所述的压气机中可以蒸发。

使用这种联合的循环装置，热效率可放大，而功率输出也能根据功率要求而放大。

按照本发明再一个方面，提供了一个压气机，气体供入其中，并压缩及排出供入的气体，包括：一个液滴喷射装置，用来把液滴喷入要供入所述的压气机的进口的气体中使进入所述的压气机的气体的温度比外界空气的温度低，使得引入所述的压气机的喷入的液滴和气体流下到所述的压气机中可以蒸发。

使用这种压气机，可用实用的简单设备减小压气机的驱动功率。

按照本发明又一个方面，提供了一种把液滴喷入要供入燃气轮机的压气机的气体中的液滴喷射装置，所述的燃气轮机包括所述的压气机，用来压缩及排出供入其中的气体，一个燃料与从所述的压气机排出的气体在其中一起燃烧的燃烧室，和一个由所述的燃烧室的燃气驱动的涡轮，其特征在于所述的液滴喷射装置喷出液滴使进入所述的压气机的气体的温度比外界空气低使得引入所述的压气机的喷射的液滴与气体一起往下流入所述的压气机时可以蒸发。

使用这种液滴喷射装置，设有本装置的燃气轮机等的功率输出及热效率可放大。

通过下面参照附图对本发明的说明及所附的权利要求书，可更清楚本发明的上述和其它目的、特点和优点。附图中类似的部分或元件标以同样的标号，附图中：

图 1 是本发明的一个实施例的示意图；

图 2 是类似的示出本发明的另一个实施例的示意图；

图 3 是类似的示出本发明再一个实施例的示意图；

图 4 是示出压气机的压缩空气中的温度分布；

图 5 是说明压气机工作过程中空气湿度图上的进气温度与绝对温度

之间的关系曲线图；

图 6 是说明进气温度与进气质量流量之间的关系曲线图；

图 7 是说明本发明的热循环图与其他方法的热循环图相比较的示意图；

图 8 是燃气轮机的详细结构示意图；

图 9(a)和 9(b)是说明水滴喷入量与燃气轮机输出功率的提高率之间的关系曲线图；

图 10 是说明轴向速度与速度三角形之间的关系示意图；

图 11 是说明进气舱内雾化喷嘴的排列示意图；和

图 12 是说明喷水前后压气机排气温度的差异的曲线图。

下面参看图 1 说明本发明的第一实施例。

如图 1 所示本实施例的燃气轮机含有：一个用来压缩和排出气体的压气机 1；一个供入由压气机 1 压缩的气体的燃烧室 5；一个由来自燃烧室 5 的燃气驱动的涡轮 2；一个与涡轮 2 的轴相连接的发电机 3；和一个用来输送发电机 3 发出的电力的电力网 4。从燃气轮机排出的废气 7 通过排气管 8 排到大气中。

在下述的实施例中，假定供入压气机 1 的气体皆为空气。

一个用来吸入要供入压气机 1 的进气 6 的进气舱 10 与压气机 1 相连接。通常，在进气舱 10 的入口侧设置一个隔栅 9，而在压气机侧（后流道侧）靠近隔栅 9 处设置一个空气过滤器。由于该过滤器设置在隔栅 9 后面且紧靠着它，所以在图 1 中省略。

在图 1 所示的实施例中隔栅 9 设置在进气舱 10 的入口侧，而且空气过滤器置于隔栅 9 与进气舱之间，故本实施例的进气舱提供了一条从空气过滤器流向压气机入口的进气道。

虽然图 1 示出的压气机 1、涡轮 2 和发电机 3 都与一根共同的轴相连接，但是，压气机 1 和涡轮 2 也可与不同的轴相连接。

注意，在图 1 中，标号 T1 表示空气进入压气机 1 之前的温度 20，T2 表示压气机排出的空气温度 21，T3 表示燃烧温度 22，T4 表示从涡轮 2 排出的废气温度 23。

除非另有说明，凡下面涉及的与上面所示相同的标号均表示相同的

内容。

第一实施例还设有一个可向进气舱 10 喷入微液滴的液滴喷射装置，例如雾化喷嘴 11，它喷出的液滴的 Sauter（素特）平均微粒直径 (S.M.D) 例如大约为  $10\mu\text{m}$ 。给水装置 13 与雾化喷嘴 11 相连接。用于产生上述微液滴的带有雾化装置的雾化喷嘴 11，只能与给水装置 13 连接，但是，除了雾化喷嘴 11 外，也可采用其他的雾化装置。下面将结合第二实施例详细说明含有独立的雾化装置的结构。

给水装置 13 含有一个控制流速的控制阀 15、一个供水泵 16、一个水箱 17 和一个将水送到水箱 17 的给水机构 18。

控制阀 15 与一个信号发生器 24 形成电气连接，发电机 3 功率输出方面的信号和载荷指令信号 Pd25，通过一个附加装置输入到上述信号发生器 24 中，而信号发生器 24 则发出打开控制阀 15 的信号等和其他指令。控制阀 15 与信号发生器 24 通过例如信号电缆 26 等互相连通。在某些情况下，载荷指令信号 Pd25 也可输入信号发生器 24 内。

进入的空气 6 通过隔栅 9 进入进气舱 10，给水箱 17 的水由按预定方式打开的控制阀 15 控制，并流过给水装置 13。使雾化喷嘴 11 喷出微液滴，在要求由供气装置 12 供入空气以便喷出微液滴的情况下，另将控制阀 14 控制到预定的开启度，以调节喷出液滴的颗粒直径。进入的空气 6 含有液滴，故形成一种雾气流，该雾气流在部分蒸发以冷却进气之后进入压气机 1，进入的空气所含的液滴在压气机 1 内部蒸发，并冷却压缩空气。

图 4 示出压气机内压缩空气的温度分布。在喷水并且水滴在压气机 1 内蒸发的情况下（曲线 28），压气机 1 出口处的空气温度 T21 比不喷水的情况（曲线 27）低得多。并且，在压气机内的空气 T 湿度 T21 持续地下降。

当液滴在压气机 1 内基本上蒸发完之后，压缩空气与燃油混合，燃油在燃烧室 5 内燃烧，形成高温高压的气体，流入涡轮 2 并使涡轮 2 转动。发电机 3 将涡轮 2 的机械能转换成电能，该电能被输入电力网 4。做完功的废气 7 通过排气管 8 排到大气中。

按照本实施例，可以增加输出功率，提高热效率。

按照本实施例增大输出功率的原理可以定性地综述如下：

1) 按进气舱 10 内的空气湿度图上的等温（湿球温度）线冷却要引入压气机 1 的空气； 2) 通过使进入压气机 1 的液滴蒸发而冷却内部气体； 3) 使通过涡轮 2 和压气机 1 的工作流体的量之间的差异相当于在压气机 1 内的蒸发量； 4) 用等压比热比纯空气大的蒸汽与空气混合而使混合物的等压比热增大，等等。

图 11 示出在进气舱 10 内的雾化喷嘴 11 排列的简略图。

在空气流道中预定的假想部位上设置了大量的雾化喷嘴 11。例如，它们可排列在一个大致垂直于进气流方向的平面内。这些雾化喷嘴 11 沿进气道横截面的纵向彼此等距离地排列。同时，这些喷嘴 11 又沿进气道横截面的横向彼此等距地排列。总体说来，除与壁面相邻的部位外，可以在进气舱 10 内设置大量的雾化喷嘴 11 来形成进气通道，如图 11 所示。

在其他的实施例中，也可以按类似的方式设定相邻喷嘴之间的距离。

采用这种结构，可使水滴均匀地分布在送入压气机入口的空气中。

另外，在雾化喷嘴设置在进气舱外面或者说空气过滤器的入口侧的普通进气冷却设备中，由于蒸发效率低，必须喷射大量的水，因此，通常还要设置用来回收几乎全部喷射液体的回收设备和将回收的液体再供入雾化喷嘴 11 中去的大型循环系统。但是，在本实施例中，却有一个优点，那就是，由于蒸发效率提高到接近于 1，故不需要设置上述的大型设备。

雾化喷嘴 11 设置在隔栅空气过滤器 9 的出口侧，因此，液滴可以随着进气流稳定地供入压气机 1。这是由于有可能在液滴供到压气机入口侧时防止水滴附着在隔栅空气过滤器 9 上或者空气过滤器被堵塞的情况。

而且，考虑到液滴在进气舱 10 内流动时的蒸发量等因素，最好将雾化喷嘴 11 设置在与压气机 1 的入口有一定的距离处。在压气机 1 的入口处设有一种称之为 IGV（进气导向叶片）的情况下，雾化喷嘴 11 要安装在 IGV 的上游，注意，在设置消音器等的情况下，雾化喷嘴 11 则设置在消音器等的下游。

另一方面，在雾化喷嘴 11 设置在压气机 11 与进气舱 10 之间的边界附近的情况下，当要喷射细液滴或者类似情况时，就容易控制进入压气机 1 的液滴的粒子直径。

例如，可以在较接近于压气机第一级的一个级上开始液滴的蒸发，以便有效地降低压气机的驱动功率。

图 8 示出本发明所用的燃气轮机的详细结构示意图。由雾化喷嘴 11 喷入进气中的液滴随空气流从入口进入压气机。在进气舱内流动的进气平均流速为例如 20m/s。液滴 37 在压气机 1 的气道中沿流线移动。进入的空气在压气机中由于绝热压缩而升温，与此同时，液滴受热从其表面蒸发，并在到达后级叶片一侧的同时逐渐减小其粒子直径。在这过程中，由于蒸发需要从压气机中的空气供给潜热（显热），压气机中空气的温度下降，其下降的量比不采用本发明的场合要大（见图 4）。如果液滴的粒子直径大。液滴就会与叶片或压气机机匣相碰撞，并从金属获取热量而蒸发，因此有可能阻止工作流体的温度降低效应。所以，从这一观点一说，液滴的微粒直径最好是小的。

下面说明有关喷出液滴微粒直径的分布问题。从抑制液滴与叶片或压气机机匣的碰撞或防止叶片腐蚀的观点考虑，喷出液滴的微粒直径要控制到大体为  $50\mu\text{m}$  或更小些。从减小对叶片的影响的观点考虑，液滴的最大粒子直径最好控制在等于或小于  $50\mu\text{m}$ 。

另外，由于粒子直径较小的液滴可以更均匀地分布在流动的空气中，并且从防止压气机中温度不均匀的观点考虑，粒子直径（S.M.D）最好调整到  $30\mu\text{m}$  或更小。由于从喷嘴喷出的液滴的粒子尺寸不均匀，不易测量出上述的最大粒子直径。所以，为了实际应用，可采用上述的素特平均粒子直径(S.M.D)的测量结果。要注意，虽然粒子直径最好要小，但是，由于产生小粒子直径液滴的喷嘴要求高精度的制造技术，所以实用的粒子直径范围被现有技术的下限所限制。因此，从刚才所述的观点出发，将总体粒子直径、最大粒子直径或平均粒子直径的下限规定为例如  $1\mu\text{m}$ 。而且，由于在多数情况下产生液滴所需的能量随粒子直径的减小而增多，所以，上述的下限值也可以按照产生液滴所需的能量来确定。液滴粒子直径值控制在使它们可在大气中活动而不会轻易下沉，



这种液滴通常具有良好的热交换特性。

当液滴蒸发时，工作流体的质量流速增大。当气体中的水滴在压气机中完全蒸发时，则气体仍要在压气机 1 中受到等压压缩。在此情况下，由于水蒸汽的等压比热值大致等于压气机中的平均温度（300℃）左右时空气的等压比热的两倍，而且水蒸汽的热容量相当于含液滴的空气在转变成空气时所获得的热容量，故就有重量约为已蒸发的水滴的两倍的空气量可增加作为工作流体。具体说来，就是存在着使压气机排出的空气的温度  $T_2'$  下降的效应（抑制热量增加的效应）。以这种方式在压气机中发生一种由于水滴蒸发而使压气机排出的空气温度下降的作用。由于压气机的功率等于压气机入口和出口处空气热含量之差，而空气的热含量又与其温度成正比，所以，当压气机出口的空气温度下降时，压气机应做的功就可减少。

通过燃烧室中燃油的燃烧，使由压气机增压的工作流体（空气）的温度提高，然后流入涡轮，在涡轮中做膨胀功。这个功称为涡轮的轴功率，其值等于涡轮进口与出口处空气热含量之差。燃油的供给量要控制到使涡轮入口处的气体温度不超过预定温度，涡轮的入口温度例如可根据涡轮出口处排气温度和压气机出口处测得的压力值  $P_{cd}$  计算出。流入燃烧室 5 的燃油流速要控制到使上述的计算值等于应用本发明之前所得到的值。如果能够实现上述的恒定燃烧温度控制，那么燃油供给量的增加值可与上述的压气机出口处的气体温度  $T_2'$  的下降值相对应。而且，如果燃烧温度不变、且喷入水的重量比约为进入的空气的百分之几，那么，由于喷水前后涡轮入口压力与压气机出口压力大约相等，所以，涡轮出口处的气体温度  $T_4$  也不会变化。因此，在喷水前后，涡轮的轴功率也不会变化。但是，由于燃气轮机的净输出功率是压气机功率与涡轮轴功率之差值，所以，采用本发明之后，燃气轮机的净输出功率就可增加一个相当于压气机功率的减少量。

将涡轮 2 的轴功率  $C_p (T_3 - T_5)$  减去压气机 1 的功率  $C_p (T_2 - T_1)$  就得到涡轮 2 的电输出  $Q_E$ ，并可用下列表达式 (1) 近似表示：

$$Q_E/C_p = T_3 - T_4 - (T_2 - T_1) \quad (1)$$

通常，由于进行的作业可使燃烧温度  $T_3$  保持恒定，所以燃气轮机

出口温度  $T_4$  不变化，涡轮的轴功率  $C_p (T_3 - T_4)$  也保持恒定。在此情况下，如果由于混入水雾而使压气机出口处温度  $T_2$  下降到  $T_2' (< T_2)$ ，那么就得到相当于压气机功率下降值的功率增加量  $(T_2 - T_2')$ 。此外，燃气轮机的热效率  $\eta$  可由下式 (2) 近似表示：

$$\eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \quad (2)$$

在此情况下，由于  $T_2' < T_2$ ，上式中右侧的第二项就小，故可看出，喷水也可提高热效率。换言之，虽然在应用本发明前后从热机（即燃气轮机）输出到系统外的热能  $C_p (T_4 - T_1)$ （式(2)第二项的分子项）没有大的差异，但是，供入的燃油能量  $C_p (T_3 - T_2')$  却增加了一个相当于  $C_p (T_2 - T_2')$  即压气机功率的下降值。同时，由于压气机功率降低的量等于上面所述的输出功率的增加量，所以可认为燃油的增加量基本上全都用于增加燃气轮机的输出功率上。这样，增加的输出功率具有 100% 的热效率。因此，可提高燃气轮机的热效率。这样，在本实施例中，为了降低压气机功率（这在进入的空气受冷却的现有技术中显然未公开过），通过使水雾与进入压机 1 的空气相混合，可望提高燃气轮机的总输出功率。另一方面，虽然现有技术中企图将水喷入燃烧室入口处而通过增加工作流体来提高输出功率，但是，由于压气机 1 的功率未降低，故其热效率反而下降。

图 7 示出本发明的热循环与另一种热循环的比较。循环图闭合区的面积表示单位进气流速的燃气轮机输出功率即比输出功率。图 7 的标号表示循环图相应部位的工作流体，在图 7 中，标号 1 表示压气机的入口，1' 表示工作流体从中间冷却器出来后进入第二压气机的入口，2 表示 Brayton（布雷顿）循环中燃烧室的入口，2' 表示工作流体从第二级压气机出来后的燃烧室入口，3 表示工作流体燃烧室出来后的涡轮入口，4 表示涡轮的出口。

图 7 下部的温度 (T) - 熵 (S) 曲线图说明当上述循环和位置的 1、3 和 4 位置上的温度 (T) - 熵 (S) 值不变时的特性曲线的比较。

从图 7 可以明显看出，比输出功率的大小按下列顺序递减：按照本发明的上述方法将细微水滴喷射到压气机的进气舱中以将水滴导入压气

机入口所得到的比功率、按日本公开专利申请 No.平成 6 - 10702 公开的中间冷却循环法所得到的比功率、按原先的 Brayton 循环得到的比功率。特别要注意，按中间冷却循环法和本发明方法获得的比输出功率的差别是由于按照本发明引入压气机的水滴是从压气机入口部分开始连续地蒸发的，这可以从循环形式看出来。

如上所述，尽管中间冷却循环的热效率低于 Brayton 循环，但是，本发明的热效率则高于 Brayton 循环，因此，本发明的热效率也高于中间冷却循环。

一般说来，当喷出的液滴在压气机 1 中的蒸发位置靠近压气机入口时，压气机出口的空气温度则下降，这对于输出功率和热效率的提高是有利的。因此，在采用喷射液滴混入进气 6 中的方法的情况下，效果就随喷入液滴粒子直径的减小而增大，这是由于雾汽流入压气机 1 后迅速蒸发之故。而且，喷入的液滴浮在空气中而可与进入的空气一起顺利地导入压气机内。

因此，从雾化喷嘴 11 喷出的液滴，其尺寸最好是能使它们在到达压气机 1 的出口之前基本上全部蒸发完。实际上，液滴的尺寸不可能使它们 100 % 地蒸发，并且受到上述结构因素的限制而有一个上限值。实用中，在压气机的出口处应有 90 % 或更多的液滴蒸发。

例如，当压气机 1 的排气压力  $P_{cd}$  为 0.84 MPa 时，如果考虑到压气机 1 出口处的绝对湿度测量值与从周围环境条件估算的在出口导向叶片位置上的另一个绝对湿度值之间的关系，则液滴在到达压气机出口处之前就已有 95 % 或更多蒸发了。

空气通过压气机 1 的时间是短的，为了使液滴在该时间内良好地蒸发而提高蒸发效率，液滴的粒子直径（按 S.M.D）最好应为  $30\mu\text{m}$  或更小。

要注意，由于产生小粒子直径液滴的雾化喷嘴要求高精度的制造技术，所以，要根据技术上能达到的下限来规定粒子直径的下限值，例如将粒子直径的下限值定为  $1\mu\text{m}$ 。

这是由于在液滴过大的场合下，它便难于在压气机内很好地蒸发。

引入的液滴量可按温度和湿度或按输出功率的增加量来调节。考虑

到喷出的液滴在从喷射位置至压气机入口处的过程中的蒸发量，那么，引入的液滴量可以等于或大于进气质量流量的 0.2%(wt)，该值的上限应能保持压气机的功能良好。例如，其上限值可调至 5 % (wt)，而引入液滴量的范围可定为小于 5 % (wt)。

虽然可以根据夏季或干燥天气等情况进行调整，但是，为了提高输出功率等，引入液滴的比率可以高于或等于 0.8%(wt)，但低于或等于 5 % (wt)。

如果与普通的液滴喷射装置相比较，本发明只需喷入少量的液滴，因为在普通类型的装置中，只是将较大的液滴（例如 100 - 150 $\mu\text{m}$  等的液滴）喷入进气中以便降低送入压气机入口处空气的温度，并且在喷射之后，对水进行回收，再次用来喷射液滴。

在炎热的夏季要想使降低的输出功率恢复到额定输出功率时，喷射水的消耗量达到最大用量值。不能忽略在形成水雾时提供空气的压缩空气消耗量，该消耗量最好应以低于水的消耗量为目标。因此，只有在满足粒子直径的条件下，不供给空气而形成具有上述粒子直径的液滴时，才是经济的。

按照本发明的实施例，通过根据环境的温度来控制水雾的流量，可以建起一个其输出功率一年四季都不变化的发电厂。例如，可以调节控制阀 15 的开口，使之在引入压气机的空气的温度较高时增加水雾的流量，而在空气温度较低时，减少水雾的流量。

另外，上述系统的工作最好能在达到等燃烧温度作业时供给液滴。这样就能够提高热效率和输出功率。

另外，在一种不用于发电的燃气轮机中或者在一种受驱动而获得转矩的燃气轮机中，可以降低燃烧温度，以降低涡轮的轴输出功率。尤其是只在部分载荷工作时，采用本发明可节约燃料。

在本实施例中，可以根据所需的载荷将输出功率控制在一个高于由环境温度限制的输出功率值的范围内。

而且，由于即使燃烧温度不提高也能增大输出功率，故可建造出长寿命的燃气轮机。

再者，按照本实施例，压气机的气体可受到冷却。因此，在从压气

机分流抽气而用以冷却燃气轮机叶片的场合下，可以减少冷却用的分流抽气量。因此，燃气轮机中的工作流体量可以增多，故可望提高热效率，增加输出功率。

在图 1 中，载荷指令信号 Pd 25 可以设定为一个额定值，这样便可自动地控制喷出液滴的流量。

下面说明燃气轮机的操作方法及其控制。

如果想要提高燃气轮机的输出功率，就实施增加从雾化喷嘴 11 喷出的液体量的步骤和增加供入燃烧室的燃油量的步骤。另一方面，如果想要减少燃气轮机的输出功率，就减少喷出的液体量和减少供入燃烧室的燃油量。

如果想要增大燃气轮机的输出功率，就在增加喷出的液体量之后增加供入燃烧室的燃油量。反之，如果要降低燃气轮机的输出功率，则在减少从雾化喷嘴 11 喷出的液体量之前减少供入燃烧室的燃油量。

下面说明燃气轮机处于基本载荷作业状态下的工作实例。

当燃气轮机在固定的燃烧温度下作业时，可按如下方式进行操作控制。信号发生器 24 计算出一个与根据载荷指令信号 Pd 25 规定的目标输出功率相适应的喷射液体量，并发出增大控制阀 15 的开启度的指令。信号发生器 24 再计算出相应于通过控制阀 15 引入的、并由雾化喷嘴 11 喷出的预定水量和获得预定的粒子直径所需的压缩空气量并发出增大控制阀 14 的开启度的指令。于是，预定的压缩空气就通过控制阀 14 引入雾化喷嘴 11。同时，燃油流量保持固定值。随后，进行废气温度的控制以提高燃油流量，使燃烧温度（可用一个估计值）达到等于其预定值。

代表燃气轮机作业时废气温度的预定值的废气温度控制曲线可以用压气机输出压力 Pcd 和喷射量的函数来表示，也可以采用未喷水的情况下的原始控制曲线，或者，采用由原始控制曲线估算的预定废气温度加一个适当的偏量而得到的值来表示。

当按上述方法得到的燃气轮机输出功率偏离其预定值时，如果要增大输出功率，就按照上面所述程序增加喷射液体量，然后控制废气温度。另一方面，如果要降低输出功率，就首先减小燃油流量，然后减小喷射流体量。

在设有能按上述方法进行控制的信号发生器 24 的情况下，可以调节输出功率，同时又可防止发生燃烧温度超过其允许值的情况。

要注意，降低输出功率时，减少喷射液体量的过程要比提高输出功率时增加喷出液体流量的过程缓慢得多，这样，便可按照类似于提高输出功率的实行的废气温度控制来减少燃油流量。

为了达到预定的输出功率，也可不用上述的连续改变化喷水量的方法，而是将喷水量调到预定值，并考虑取决于环境条件（如：环境温度和湿度）的测量值的输出功率的提高量来调整输出功率。例如，以环境温度、湿度和输出功率的提高量作为函数计算出喷水量等，再将其调到所需值。因此，也有可能进行恒定喷水量的操作，使喷水量不会随输出功率的小变化或者空气温度的变化而变化。本发明的系统具有便于操作控制的优点。而且，在上述调定后经过预定时间后，最好再测量一下环境条件值，并再次调整喷水量，以便按照环境条件较容易地调节输出功率的提高量。

上述的燃气轮机的操作也可以看作是控制将水滴喷入要供入燃气轮机的操作也可以看作是控制将水滴喷入要供入燃气轮机压气机的空气中的水滴喷射装置，如果按照上述方法操作水滴喷射装置便可使设置有水滴喷射装置的燃气轮机具有上述的优点。

下面参看图 1 说明第二实施例。

第二实施例与上述第一实施例的差别主要在于，同时设有获得上述细颗粒直径液滴的雾化装置和雾化喷嘴 11。例如，第二实施例含有向雾化喷嘴 11 提供压缩空气的装置。

更具体地，本实施例除了含有带有给水装置 13 的雾化喷嘴 11 之外，还含有向雾化喷嘴 11 提供压缩空气的给气装置 12。该给气装置 12 含有一个与压气机 1 分开设置的储气罐 29，用来供给压缩空气，并含有一条将压缩空气从储气罐 29 通过控制阀 14 导引至雾化喷嘴 11 的管道。而且本实施例还有一个用来控制通入雾化喷嘴 11 的气体流量的控制阀 14。在本实施例中，还设置了一个用来控制供入雾化喷嘴的压缩空气量的控制阀 14a。

控制阀 14 和控制阀 15 与信号发生器 24 电连接，所述信号发生器

24接收发电机3输出功率方面的信号由附加装置送来的功率指令信号Pd 25、和控制阀14、15等的输出开启度的信号以及其他的指令。控制阀14和控制阀15通过例如一条信号电缆26等与信号发生器24相连接。根据不同情况，功率指令信号25可以直接输入信号发生器24。

进入的空气6通过隔栅9进入进气舱10，给水箱17的水通过具有预定开启度的控制阀15，并由给水装置13供入雾化喷嘴11。另外，来自储气罐29的压缩空气通过具有预定开启度的控制阀14供入雾化喷嘴11。然后，由雾化喷嘴11喷出细微液滴。该喷嘴的类型应是能调节供入的空气和液体的量的，以便在上述的范围内调节所需的微粒直径的范围。进入的空气6因含有液滴而形成雾气流，并在该雾气流部分地蒸发冷却进入的空气之后流入压气机1。混在进入的空气中的液滴在压气机1内蒸发并冷却压缩空气。

上述的液滴在压气机1内基本上蒸发之后，与燃油混合，并与燃烧室5内的压缩空气一起燃烧，产生高温高压气体，然后流入涡轮2使之转动。通过发电机3将机械能转换成电能，并将电能送到电力网4。完成做功后的废气7通过排气管8排到大气中。

由于设置了独立的储气罐29，故压气机的功率不会降低，而且，除了具有提高燃气轮机的输出功率和热效率的效应外，从结构方面或从节约动力的角度看，有时还具有进一步的优点。

有关上述的喷嘴，可以采用能获得所需粒子直径的液滴的内部混合型之类的气体雾化喷嘴。

在操作和控制燃气轮机时，如果想要提高燃气轮机的输出功率，除了如上所述那样增加喷水量之外，还可增加供入雾化喷嘴11的空气量，以便使喷嘴喷射出具有所需粒子直径的液滴。

如果要降低输出功率，可减少供入雾化喷嘴11的水量，并减少供入雾化喷嘴11的空气量，以调节液滴的粒子直径。

另外，为了便于操作，可以不是同时调节供入雾化喷嘴11的空气量和水量，而是在固定空气量的同时，只调节供入的水量。

在此情况下，先在供入允许的最大水量时，将供入的空气量调节到可获得所需粒子直径的液滴。因此，当喷入的水量少于最大的喷入量时，

液滴粒子直径就小于供入最大水量时得到的直径，并可获得良好状态。

另外，除了上述的储气罐 29 之外，也可不单独设置储气罐 29，而采用下述结构。

供气装置 12 含有一条连通从压气机 1 的中部分流抽气与雾化喷嘴 11 的管道，或从压气机 1 排出的压缩空气流过的管道中分支出来并与雾化喷嘴 11 连通的另一管道。该管道含有一个控制阀 14b，用来控制供入的压缩空气量，根据有效喷射或类似要求，上述管道可带有一个冷却器 9，以便将压缩空气的温度调节到所需值。

因此，在上述结构与储气罐 29 一起设置的情况下，可以通过过主要采用从中部分流抽气或从压气机排出的空气，然后再加上少量的来自储气罐 29 的压缩空气的办法来节省独立设置的储气罐 29 的能量。而且在采用上述结构代替储气筒 29 的情况，可望简化设备。

另外，对于供给来自压气机 1 中部的压缩空气或从压气机 1 排出的压缩空气以便如上述那样雾化液滴的结构，在一个电厂开始发电时或者当环境温度十分低时，可只供给空气，以便在前一种情况下，能够进行控制  $\text{NO}_x$  排出量的操作，而在后一种情况下，可提高进气温度，以防止冰冻。

尤其是，在含有上述的控制阀 14b 的结构中，可只打开控制阀 14b 而关闭控制阀 15，以便只将所需数量的液滴喷入进气中。

当从雾化喷嘴 11 供给液滴时，可均匀地将液滴喷入进气中，而使进气的温度分布变得均匀。

下面结合图 1 说明第三实施例。

第三实施例与第一实施例或和第二实施例的主要差别在于，它还含有一个安装在涡轮 2 的排气段的回收水的装置 31，为了回收涡轮废气中的水并且再用它作为喷射水，它还设有一条将上述回收水装置 31 回收的水供入给水箱 17 的管道。

上述的回收水的装置可采用由各种原理设计的装置例如：通过冷却将蒸汽冷凝，或者通过物理吸附进行回收。

进入的空气 6 通过隔栅 9，进入进气舱 10，由回收水的装置 31 回收的水储存入给水箱 17 后，再通过具有预定开启度的控制阀 15 并通过



给水装置 13，而后由雾化喷嘴 11 喷成微滴。在需要从供气装置 12 供给空气来喷射微滴的场合下，同时将控制阀 14 调到预定的开启度，以便调节喷出液滴的粒子直径。进入的空气混入液滴后形成一种雾气流，该雾气在部分蒸发而冷却进气后进入压气机 1。在进气中含有的液滴在压气机内蒸发而冷却压缩空气。

当液滴在压气机 1 内基本上都蒸发后，燃油与压缩空气混合，并在燃烧室 5 内燃烧，而产生高温高压气体，然后流入涡轮，使之转动。发电机 3 将机械能转换成电能，并将电能输入电力网 4。完成了做功的废气从排气管 8 排到大气中。

按照第三实施例，不仅可提高燃气轮机的输出功率和热效率，而且可以有效地利用水，达到节约用水的目的。

注意，在装有回收热锅炉 30 的燃气轮机发电厂中，在该热回收锅炉 30 的出口处设置上述的回收水的装置 31，可以提高水回收效率。

下面参看图 1 说明第四实施例。

第四实施例与第一或第二实施例不同之处在于，燃烧室 5 用的燃料是液化天然气（LNG）。因此，第四实施例除了具有第一实施例或第二实施例的结构之外，还含有一个也用作冷源的液化天然气存储装置 33，并且含有一个用作水回收装置 31 的、用来提高从液化天然气存储装置 33 供给的天然气的温度以使之气体的热交换器 32 和一条用来将已气化的天然气导入燃烧室 5 的管道。安装上述的热交换器 32 是为了利用燃气轮机废气的热量。

另外，上述热交换器 32 可回收废气中的水。为了回收废气中的水并将回收的水再用作喷射水，热交换器 32 含有一条将它回收的水供入给水箱 17 的管道。

在本实施例中，在进行类似于上述各实施例的操作时，除了可提高燃气轮机的输出功率和热效率以外，还可以获得不需要液化天然气气化装置和回收水的效果，而且还可以有利地利用未用的能量。

下面参看图 1 说明第五实施例。本实施例是一个兼有将水喷入进气中的装置和进气冷却装置的燃气轮机。

第五实施例是上述第一实施例或第二实施例的改型，改动之处在

于，在隔栅 9 的后面另外设置一个与外部冷源 36 相连接的冷却线圈 35，并通过泵 42 使冷却介质循环流通。冷却线圈 35 也可设置在隔栅 9 的前面。

进入的空气 6 通过隔栅 9 进入进气舱 10，然后，在流过冷却线圈 35 时受到冷却，给水箱 17 的水通过具有预定开启度的控制阀 15，再通过给水装置 13，然后从雾化喷嘴 11 喷射微细液滴。在需要从供气装置 12 供给空气以喷射微滴的场合下，控制阀 14 同时调到预定的开启度，以调节喷出液滴的微粒直径。进入的空气 6 因含有液滴而形成雾气流，该雾气流在部分蒸发而冷却进气后流入压气机 1，进气中所含的液滴在压气机 1 内蒸发而冷却压缩空气。

液滴在压气机 1 内基本上蒸发完后，燃料与压缩空气混合，并在燃烧室 5 燃烧，产生高温高压气体，流入涡轮 2 使涡轮转动。发动机 3 将机械能转变成电能，并将电能输入电力网 4。完成做功后的废气 7 通过排气管 8 排入大气中。

在本实施例中，除了像实施例 1 那样提高燃气轮机的输出功率和热效率外，还可预料，由于进气受到冷却而提高了进气的质量流速和通过喷水减少了压气机 1 的功率而获得的综合效果可进一步提高燃气轮机的输出功率。一般说来，通过调整冷却线圈 35 的容量使它能冷却到可使进入的空气冷却到可以有效地工作的露点，就可以达到在节约用水的同时又提高输出功率。本实施例用于在夏季缺水的区域特别有利。

下面参看图 2 说明本发明的第六实施例。与第一或第二实施例相比较，第六实施例突出之处在于其雾化喷嘴 11 设置在进气舱内靠近隔栅 9 的位置上。图 2 清晰地示出了雾化喷嘴 11 的位置。图 2 不是一种含有用来供给压缩空气的供气装置 12 的结构，这种像实施例 1 那样的供气装置 12 只有在能获得上述那种所需液滴时才不需要使用。

从促进水雾在流入压气机 1 之前的蒸发以提高进气的冷却效果的观点看来，雾化喷嘴 11 最好以这种方式设置在与压气机 1 的入口隔开的位置上。

说明详细些，就是 1. 在进气舱 10 内装有消音器 41 的情况下，雾化喷嘴 11 最好设置在下列位置中的一个位置(11a 或 11b)上：(1)雾化喷

嘴 11a 设置在消音器 41 的出口侧，

这样，也可防止隔音材料被水雾弄湿，考虑到液滴被导入压气机之前应有一段飞行距离以进行蒸发，雾化喷嘴 11 最好安装在距压气机有一段距离处，（2）或者，将雾化喷嘴 11b 安装在消音器的入口侧。

例如，当雾化喷嘴 11b 设置在进气舱内隔栅 9 的出口附近时，水滴在进入压气机前可更均匀地分布在进气中。而在隔栅的一部分延伸到位于隔栅出口侧的进气舱 10 的宽度以外的情况下或类似的情况下，雾化喷嘴 11 的安装和维修比较容易。2. 在进气舱 10 内不设置消音器的场合下：

雾化喷嘴 11 设置在隔栅 9 与压气机 1 的入口之间。考虑到液滴进入压气机前要有一段飞行距离以进行蒸发，雾化喷嘴 11 最好安装在距压气机有一定距离处。

进入的空气 6 通过隔栅 9，进入进气舱 10，然后，在有消音器的情况下，它就通过消音器。同时，来自给水箱 17 的水通过具有预定开启度的控制阀 15，并通过给水装置 13，从雾化喷嘴 11 喷射出微液滴。在需要由供气装置 12 供给空气来喷射微液滴的情况下，便同时将控制阀 14 调定到预定的开启度，以调节喷出液滴的粒子直径。含有液滴的进气 6 形成雾气流，并在冷却进气后流入压气机 1，混在进气中的液滴在压气机 1 内蒸发，并冷却压缩空气。

因此，通过增加进气的质量流量和由冷却进气而降低压气机功率两种原理的综合效果，可更有效地进行燃气轮机输出功率不的再生利用。

更具体地说，如果雾化喷嘴设置在进气舱内与压气机入口有适当距离的位置上，那么，由于喷出的水有一部分蒸发而使进气的温度冷却到接近湿球温度，故与设置空气冷却器具有相似的效果（虽然与空气冷却器安装在进气流道上获得的效果可能有某些差别）。压气机 1 的工作流体的可在压气机 1 内部又可在压气机 1 之外有效地冷却，而且雾化喷嘴 11 与压气机入口有一段距离时对输出功率的提高比雾化喷嘴 11 设置在压气机入口附近时大。

图 5 和 6 分别示出在外部空气被导入压气机 1 并由压气机 1 进行压缩的过程中工作流体的状态变化以及进气温度与进气质量流量之间的关

系。

图 5 所示的是在环境条件为  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  和相对湿度为  $70\%(\text{R.H})$  时的状态变化。

A 点表示上述的环境条件。若假定外部空气在流入压气机之前一直沿空气湿度图上的等湿球温度线蒸发冷却到进入饱和状态，那么在压气机 1 的入口处进气的状态则变为 B 点所示的状态。从进入压气机之前有最大程度的蒸发的观点看来，由上述喷出的液滴引入压气机 1 的气体的湿度最好提高到  $90\%$  左右或更高。从较好地冷却进气的观点看来，湿度应提高到  $95\%$  或更高。那些在进气舱 10 内未蒸发的液滴在从 B 点至 C 点的压缩过程中继续蒸发。若假设在蒸发过程中保持饱和状态，那么，到 C 点状态时便完全沸腾，而且在从 C 点至 D 点的过程中，进入单相压缩状态，温度升高。如果假定蒸发是等熵过程，沸腾端点进到状态 C' 的过饱和。由于从液滴蒸发速度实际是有定限的，认为状态变化是非等热的，并跟随与饱和线偏开的虚线的轨迹。相反，在普通压缩过程中，状况跟随 A 至 D' 的轨迹。

图 5 中，A 点的温度由  $T_1$  表示，B 点的温度由  $T_1'$  表示，当温度从  $T_1$  降到  $T_1'$ ，进气流速从  $W$  增加至  $W'$ ，如图 6 示意地出。残余的液滴导入压气机 1 并在其中蒸发，因此它们起到减小压气机 1 的功的作用。

图 9 示出水滴喷射量和燃气轮机的动和输出的增加速度之间的关系。图 9(a) 示出动力输出相对值随进口空气温度的变化，图 9(b) 示出喷射量及动力输出增加之间的关系。

所示的值在如下计算条件得出，例如环境温度  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度  $53\%$ ，压气机空气容量特性为  $417\text{kg/s}$ ，压气机的多变效率为  $0.915$ ，涡轮的绝热效率为  $0.89$ ，燃烧温度为  $1290\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，压气机抽气量为  $20\%$ ，排气压力为  $1.48\text{MPa}$ ，蒸发级压力降为  $0.25\text{MPa}$ 。如果室温的水喷出，那么进气流率的  $0.35\%$  在流入压气机前在进气舱中蒸发。因为随着进口空气温度降低及空气密度增加，压气机的进口质量流率增加百分之几，其有助于燃气轮机的动力输出增加。其余的喷出的水伴随气流并吸进，而成液滴形式的其余部分进到压气机中，在其中蒸发并促使减少压气机的功。

对于 2.3% 喷射的热效率放大率的相对值为 2.8%。把燃气轮机的功率输出回收到在 5 ℃ 基本负载工作显示的功率输出所需消耗的水量约为进气质量流率的 2.3% (重量)。当操作是进行到燃气轮机的输出恢复到最大值前, 输出增加的细节粗略估计如下: 基于进入压气机 1 前的冷却的部分约为 35 %; 基于通过压气机内蒸发的冷却约为 37 %; 基于通过涡轮及压气机的工作流体量的差及从含在工作流体中的蒸汽得到的低压比热的增加的部分约为 28 %。

虽然在图 9 的标尺上没有示出, 但是喷射水量可进一步增加使得在约 5 % (重量) 的喷射流量下可得到高到允许功率输出水平的功率输出。随着喷射量增加, 压气机中水滴蒸发作用通过在压气机 1 外面的作用 (冷却作用) 对功率输出有增加的影响。

同时, 图 12 示出了喷射到喷射量前后的压气机排气温度差之间的关系。可以看出在液滴流入压气机 1 的进口前蒸发及冷却可以以低流率有效地进行。由流入压气机 1 进口的进口空气达到的湿度接近约 95 %。实线指出在假设流进压气机的液滴所有的蒸发量等于在喷射前的值情况下计算出在压气机 1 出口的气体的绝对湿度和压气机 1 出口的气体的热焓的两个条件下计算出的压气机 1 的出口气体温度和喷射前温度的差。该线是假设功率没有减少的情形下得到的。但是由圆卷记号 (为便于理解用虚线连起) 指示的实际值比实线的值高, 功率减小实际是有的。从该事实引出了在此蒸发点晚的阶段, 蒸发的温降量在压缩步骤被放大了。

由此, 认为在前面阶段, 通过雾化喷嘴 11 引进压气机 1 的液滴的蒸发量最好比后面降段的蒸发量大, 主要在前面阶段对引进压气机 1 的液滴的蒸发对功率的减小起作用。

液滴量喷出的量使从压气机 1 喷出的压缩空气的温度比喷射前降低 5 ℃ 或更多。从功率输出进一步增加的观点, 液滴量定到温度降低 25 ℃ 或更多的程度。应注意上限可以实际使用的观点确定。例如, 把液滴量设成使温度降低 50 ℃ 或更少是适合的。

下面参照图 1 说明第七实施例。

第七实施例与第二实施例的不同在于它包括一个控制要喷射的液滴温度的机构。

例如，第七实施例是一套混合的设备，除了上述的燃气轮机的结构外，还装有一热回收锅炉 30，其中涡轮 2 的废气用作热源。另外，虽然图 1 未示出，还设有一蒸汽涡轮，其由热回收锅炉 30 产生的蒸汽驱动。另外，至少设一个发电机，由燃气轮机或蒸汽涡轮驱动。供气装置 12 包括把热回收锅炉 30 产生的蒸汽供送到雾化喷嘴 11 的通道，并在通道设一控制阀 14C。

进口空气 6 穿过格栅 9，进入进气舱 10，供水箱 17 的水穿过预定开口的控制阀 15，随后通过供水装置 13 使细液滴从雾化喷嘴 11 喷出。在该情形下，蒸汽供应量由控制阀 14C 控制。

另外，当压缩空气供到雾化喷嘴 11，压缩空气的量可用设在存储器 29 到雾化喷嘴 11 之间的通道中的控制阀 14a 控制。

因此，由于加热温度可调节，可控制喷射液滴的温度等。进口空气 6 含有形成雾流的要求温度的液滴，该雾流冷却进口空气后流入压气机 1 中。含在进口空气中的液滴在压气机 1 内蒸发并冷却压缩空气。

按照本实施例，除了达到实施例 1 中燃气轮机的功率输出的增长及燃气轮机的热效率增长外，液滴的蒸发率可由控制喷射液体的温度来控制。如果水温升高，那么液滴的蒸发可转到压气机的前面的级。因此可进一步减小压气机 1 的工作量。虽然喷射的水滴温度根据条件变化，但对实际使用合适的范围为 10 - 80 °C。作为控制水温的方法，除了把水蒸汽混入喷射喷嘴的方法外，还可控制压气机的放气温度或用使用设在供水装置 13 的合适位置的加热器之类的温度控制装置来控制的系统。

在没设置上述的供气装置 12 时，最好设一个加热器 51。在图 1 所示的供应蒸汽的方法中，在一个组合装置，特别是一个用工业废热发电装置中设置加热器 51 是有用的，因为蒸汽可有效地利用。加热器 51 是有效的，因为即使不设置分开设的加热装置或类似的装置，也可利用热回收锅炉 30 的蒸汽。应该注意可设置分开的蒸汽发生装置。

或者，也可以有效地把有高的蒸汽分压的可燃液体混入喷射水中。例如从雾化喷嘴 11 喷出水 and 酒精之类的混合物。在把甘油或乙二醇加到水中形成雾，由于它在低温挥发，压气机的功率的降低率是高的。另外，由于冰冻点降低，即使在冬天等条件下，液滴也不会结冰。

对于冬天用的具体结构，把甘油或乙二醇加到供水箱 17 中，并作为混合物存在供水箱 17 中。

下面参照图 1 说明第八实施例。本实施例的燃气轮机也可基于部分负荷操作放大热效率。

第八实施例与第一、二实施例的不同主要在于蒸汽供入要导入压气机 1 的进气中。

更具体地，燃气轮机包括把热回收锅炉 30 产生的蒸汽供入供气装置 12 的通道，因此从雾化喷嘴 11 供应的蒸汽可喷出。

进气 6 穿过格栅 9 并进入进气舱 10，控制阀 15 关闭。热回收锅炉 30 产生的蒸汽穿过预定开度的控制阀 14C，随后通过空气供应装置 12 使它从雾化喷嘴 11 喷出。如果假定没有设置供气装置 12 而仅仅设置供水装置 13，虽然没有示出，但是燃气轮机也可使结构成为代替从供水箱 17 供水，蒸汽从供水装置 13 供到雾化喷嘴 11。虽然没有示出，除了雾化喷嘴 11 外，还可设置分开设置的蒸汽供应喷嘴，热回收锅炉 30 产生的蒸汽供到这些喷嘴。应注意，虽然要喷进进口空气的蒸汽的量、温度等依据蒸汽源不同，但可用进入压气机 1 的进气的预定温度来控制。

温度控制到要求的温度的进气 6 流入压气机 1。

按照第八实施例，对于部分负荷操作的放大热效率的方法，可用下面的方法。

例如，在冬天等季节，通过如上所述，把蒸汽喷入进口空气，进入功率不要求较小和部分负荷操作不能避免的情形，已为近  $10^{\circ}$  的进口空气温度在供入压气机 1 前可升高到约  $50^{\circ}\text{C}$ 。

由于通过把蒸汽喷入压气机的进口可升高进口空气的温度，空气密度降低，压气机的进口质量流量降低，因此，燃气轮机的功率输出会减小，而抑制了热效率的降低。这是因为可进行基本负荷工作而避免燃气轮机的部分负荷工作。

当根据季节降低要求时，本实施例是有效的，因为即使当要求的负载降低和功率输出要降低，可进行热效率比用 IGV 控制这类用普通的部分负载操作方法为高的操作。特别在用燃气轮机的废气产生蒸汽的装置如混合循环装置或利用废热发电装置等，由于残余蒸汽可用来发电，而

可用效地利用过分的蒸汽。

应注意根据具体情况，代替使用从热回收锅炉的蒸汽，可设置分开的蒸汽发生装置。

下面参照图 1 说明第九实施例。

本实施例除了第一实施例或第二实施例外，还包括如用来把压缩空气送到压缩机的中部段的喷嘴的装置。

类似上述第一实施例的基本结构可用到第九实施例。流量控制阀 47 设在管道 59 中把压缩空气源 43 供应的压缩空气送到压气机 1 的中间级。压缩空气源 43 可供送设在外面的压气机或一个雾化压气机来的空气供给燃料喷射。或者，虽然效果有些差，但是空气也可从压气机 1 的排气部分再循环回。在这种情形下，由于放出的气体的低温提供了更高的热效率，冷却装置 48 最好设在供气管道 59 的中间。

如果液滴 37 蒸发去冷却压气机 1 中的空气，空气的密度更高，因此，轴向速度 46 降低。因此，如图 10 所示，速度三角形畸变，气流入射到叶片 45 的入射角从设计值 46a 移到 46b，沿着叶片面发展了反流。因此，压气机 1 的绝热效率降低。随着绝热效率降低，压气机的排气温度升高，结果，压气机的功的减小作用增加。由于考虑了随喷射水量增加这一现象变得更重要，限制加到实际阶段中的喷射量。为了解决这问题，通过把空气供到压气机 1 来恢复轴向速度。作为供入空气的位置，有效地选定一位置，该处水滴的蒸发基本完成。最好，供气量选定作为喷射量的一个函数使得即使喷射量改变轴向速度也能保持在其设计值。

通过响应基于功率要求信号 25 的预定功率输出增加，从信号发生器 24 来的指示信号，水量控制阀 15 的开度增加，压缩空气流量控制阀 47 的开度也增加。

从控制阀 15 供水的水量及从流量控制阀 47 供送的压缩气量可以是单调增加函数的关系。

基于功率输出的减小，上述阀的开度受控制而减小。

通过这种结构，对喷射量的限制是适中的，每单位空气流量的压气器功率降低的幅度增加，因为不产生绝热作用的降低。另外，通过供入空气使工作液体增加也显示了燃气轮机功率输出增加的效果。



下面参照图 3 说明本发明第十实施例。

本实施例的结构使得在压气机 1 的排气供入涡轮叶片中的冷却通道来冷却涡轮叶片这种类型的燃气轮机中，响应压气机的排气温度控制排气流率。

代替把压缩空气供到涡轮叶片冷却的类型的压气机的中间级，可以通过与排气温度降低一致，减小用来冷却涡轮叶片的压气机 1 的排气管道 56 出来的排气量，而增加排气级后的流率。

为此，在排气管道 56 设带有中间开度的流量控制阀 55 或一个机动阀。

如果蒸发水滴的冷却压气机 1 中的空气，那么由于排气温度降低，用来冷却涡轮叶片的压气机排气要求的空气量可以是小的。使用响应基于探测排气温度的温度探测器 57 的温度信号，预定排气量的减小，从排气量控制信号发生器 58 发出的指示信号，排气可与流率控制阀 55 有单调降低的函数关系。

当使用设定在中间开度的机动阀，响应于排气温度达到一预定值时的温度，阀的开度控制在一预定值。

由于接着排气点的一级的压气机的空气量可通过增加排气量而增加，轴向速度恢复，压气机的绝热效率放大，在压气机出口的气体温度降低，每单位空气量的压气机的功率降低。另外，由于供到涡轮的空气量增加，轴功率增加。这些作用进一步放大了功率输出及热效率。

关于涉及上述燃气轮机的实施例，它们可应用到使用燃气轮机的联合循环装置中，这种装置包括使用涡轮的废气作为热源产生蒸汽的热回收锅炉及由热回收锅炉产生的蒸汽驱动的蒸汽涡轮。

因此，通过适于如上所述的实际使用的这种简单装置可达到组合循环装置的功率输出的放大及热效率的放大。

另外，即使各实施例看成是单一的压气机单元，使用简单的装置可使压气机要求的功率降低。

特别是，如果如上所述的细液滴喷到供入压气机进口的进气中使它们在压气机中蒸发，那么可达到上述的主要结果。在这种情形下，作为进气供入压气机的气体，除空气外还可使用氨、氟里昂等。另外，在用

空气作进气时，作为喷射的液滴，可用如上述的燃气轮机实例中指出的水等。在把氨作为进气的压气机的情形下，可喷入液态氨，在把氟里昂气作为进气的情形下，可喷入液态氟里昂。

与液滴与雾不混在进气中进入压气机中的另一个情况比，部分液滴可蒸发以在进气进入压气机 1 进口前冷却进气，而液滴可连续从压气机进口部分连续蒸发，因此，压气机中气体温度显示出连续的降低。排气温度也降低。另外，进入压气机的液滴在压气机中蒸发增加了质量流率，随后蒸发在压气机中基本完成。和有类似于工作液体增加的作用。如果喷射量增加，也进一步减小了压气机的功率比（干空气的等熵压缩功/在包括液相蒸发的等熵两相压缩过程中的压缩功）。

另外，即使把上述各实施例看成把液滴喷进燃气轮机的压气机进口空气中的液滴喷射装置，可用简单的装置实现包括该装置的燃气轮机的功率输出的放大及热应力的放大。

上面详细说明了本发明，但很明白在本发明的精神范围内，本专业技术人员可作出很多变化及改型。

图.1

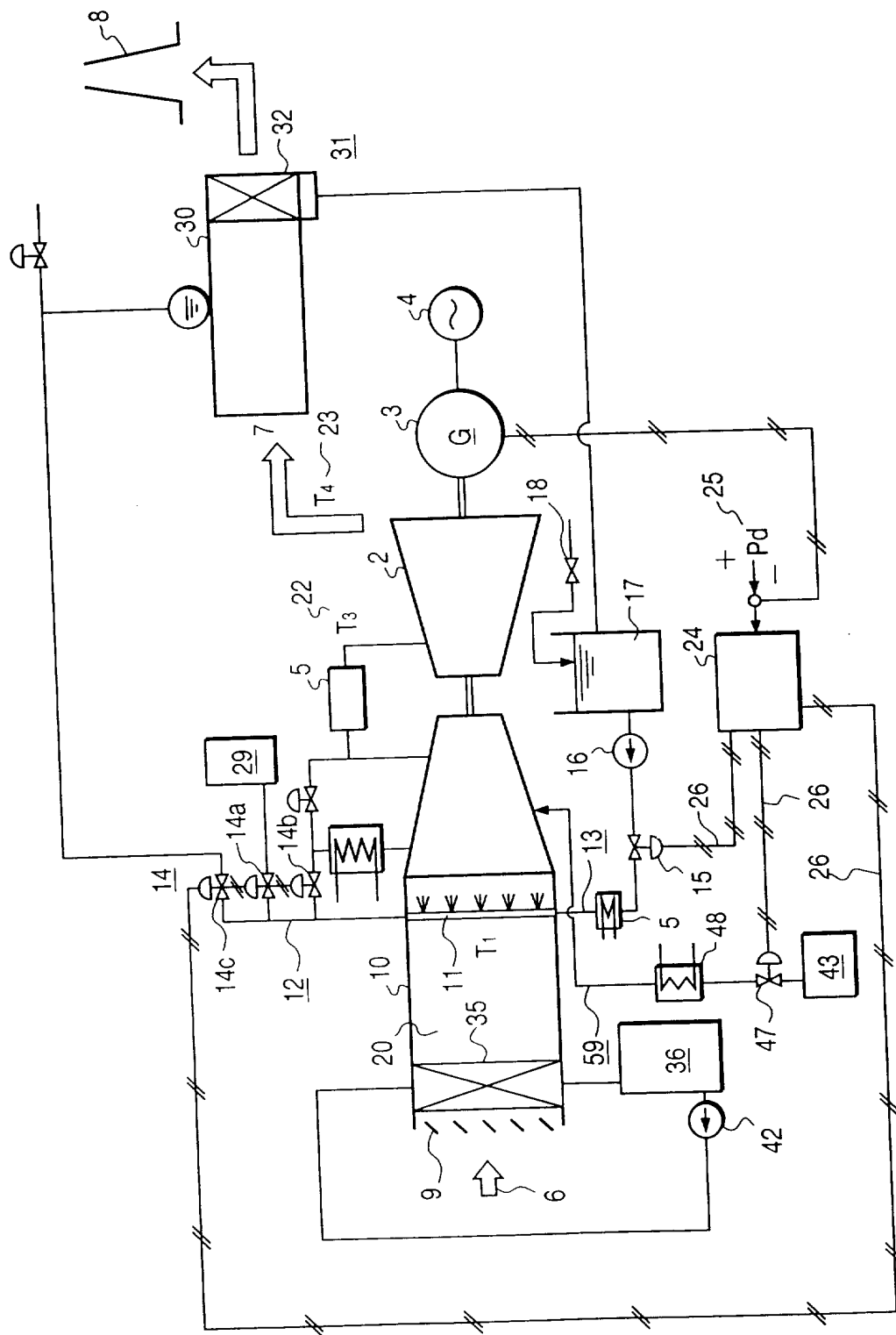


图.2

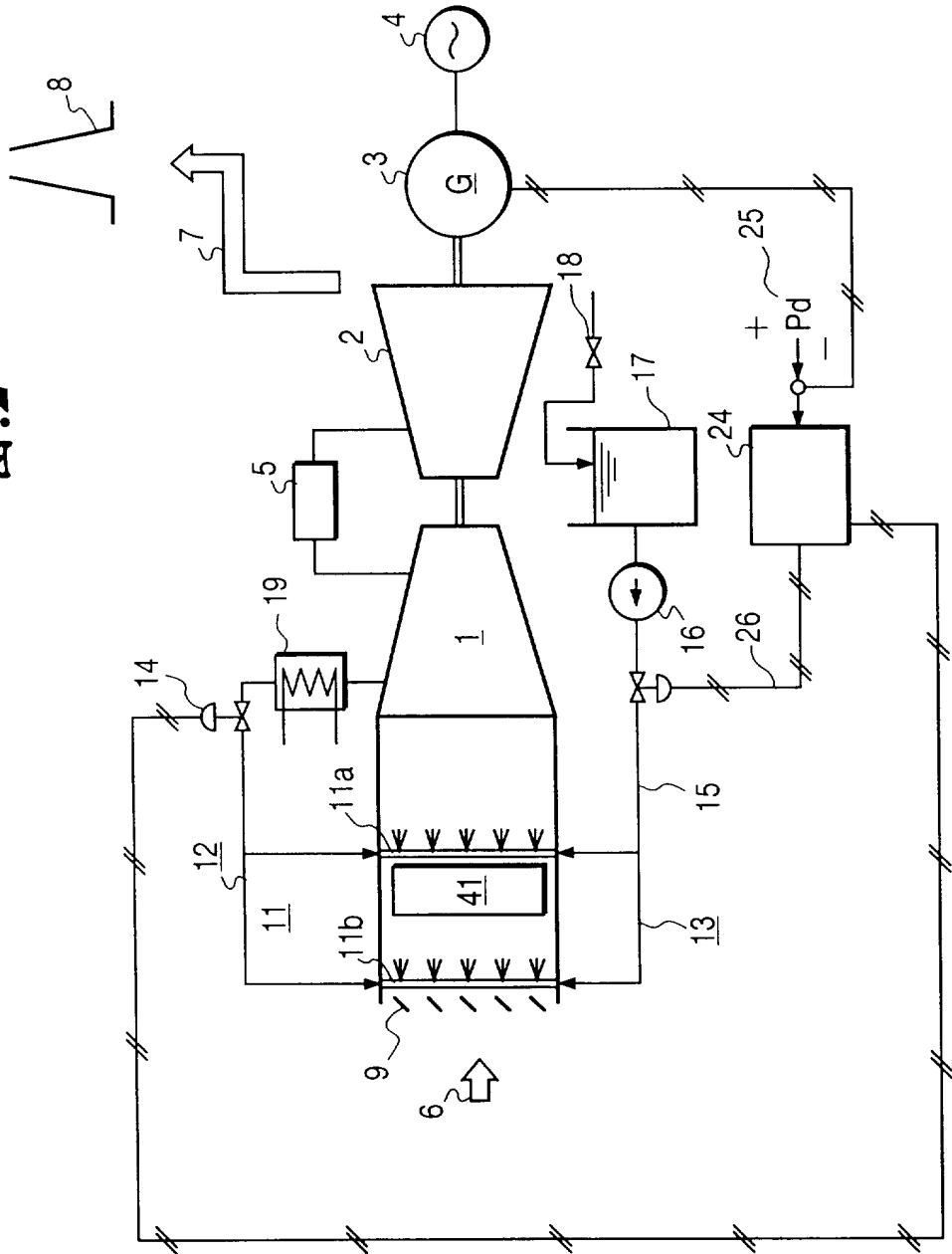


图.3

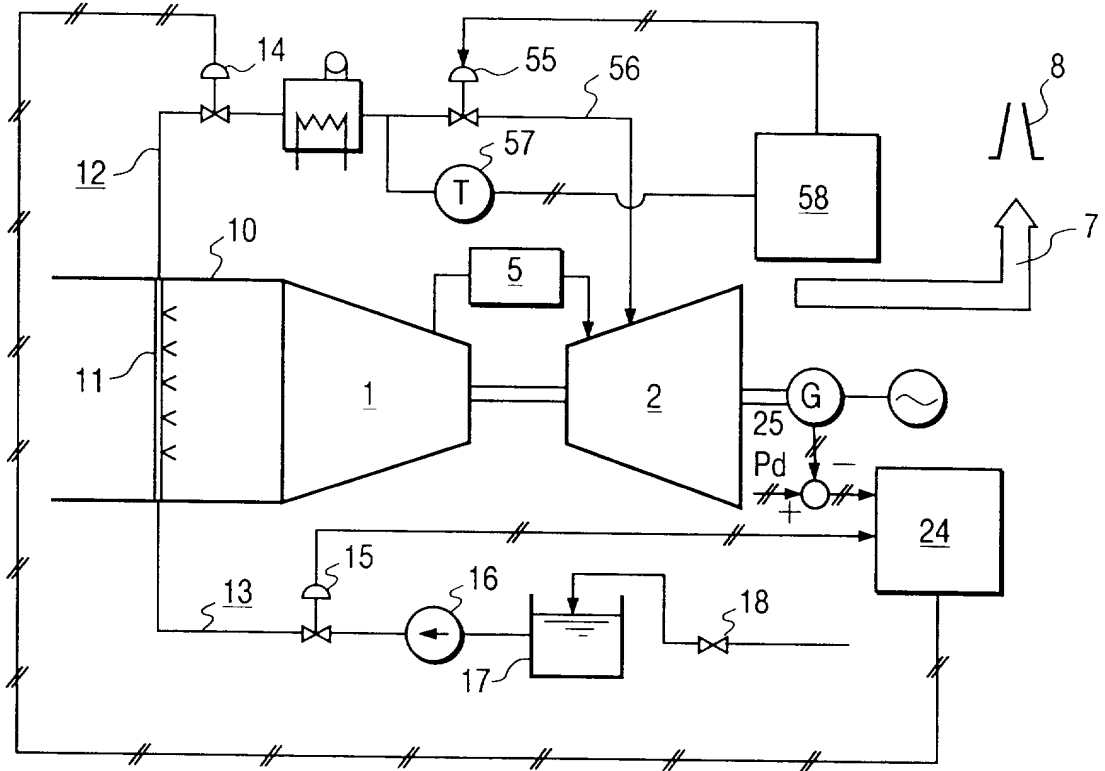


图.4

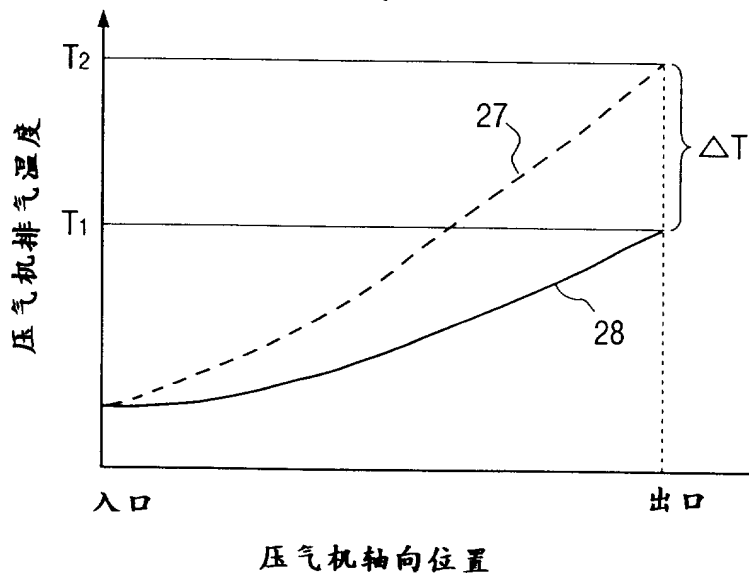


图.5

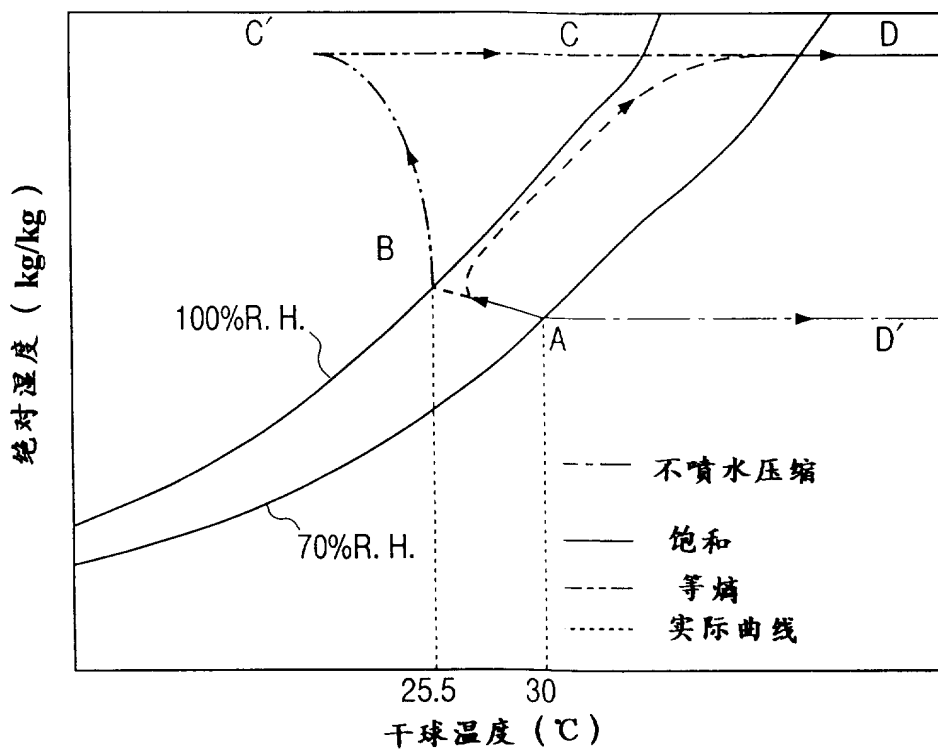


图.6

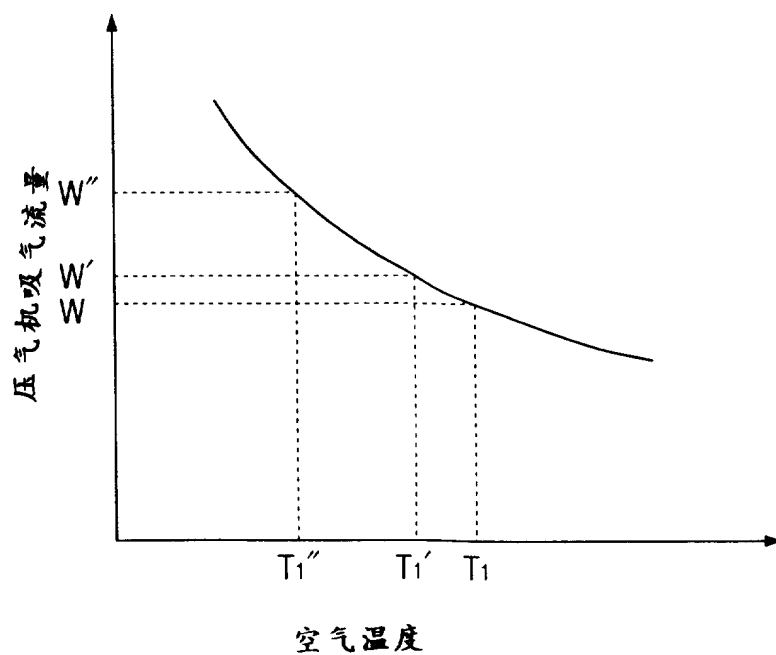
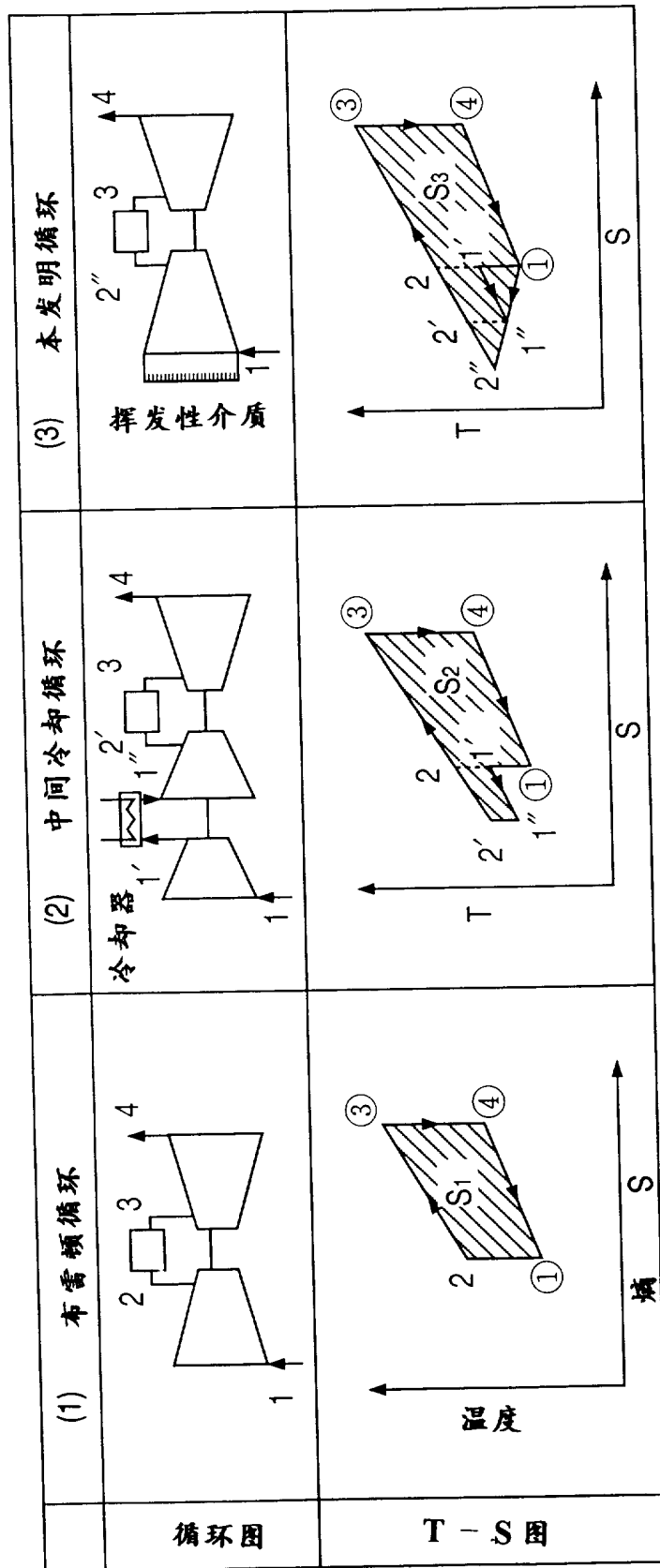


图.7



比输出功率： $S_1 < S_2 < S_3$

图.8

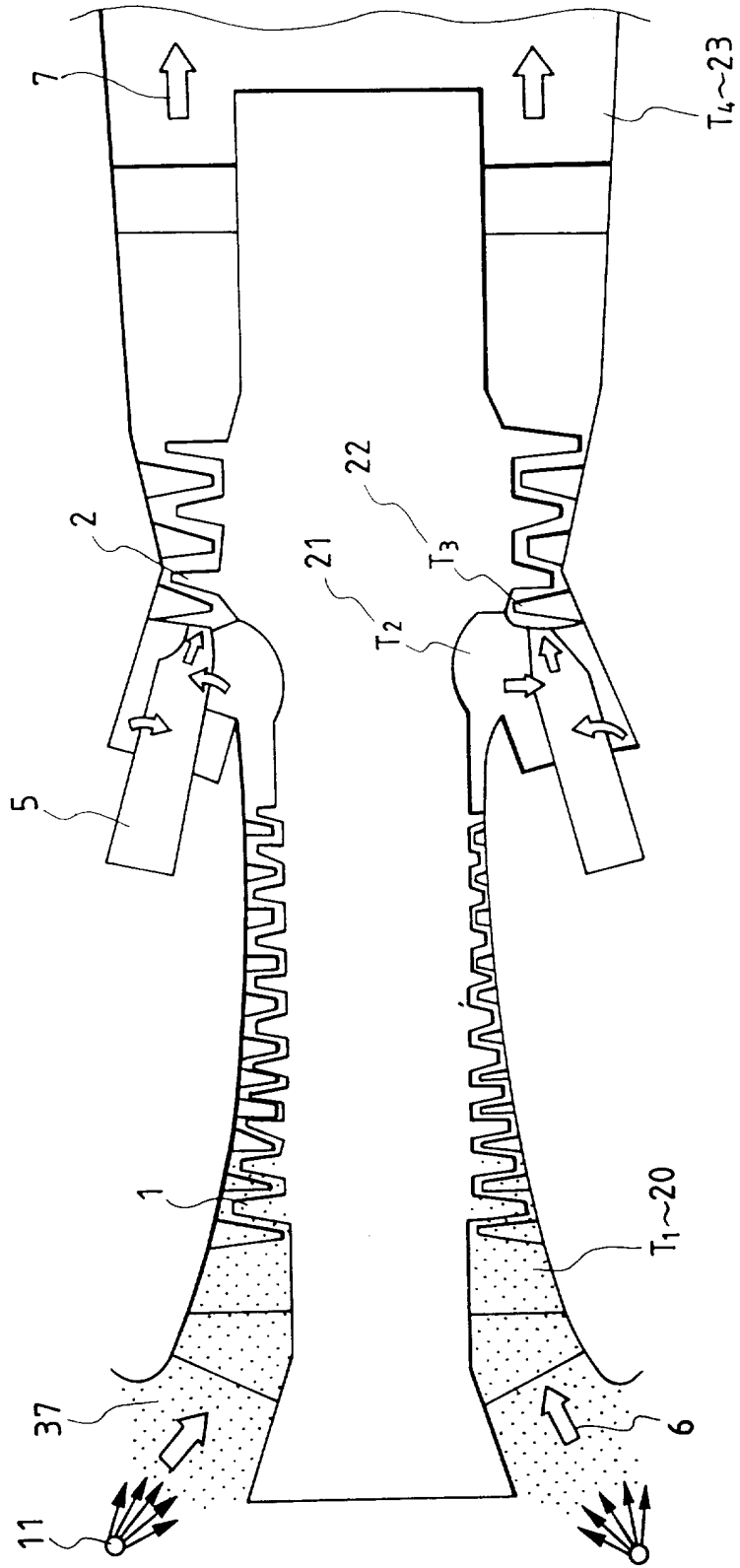




图. 9(a)

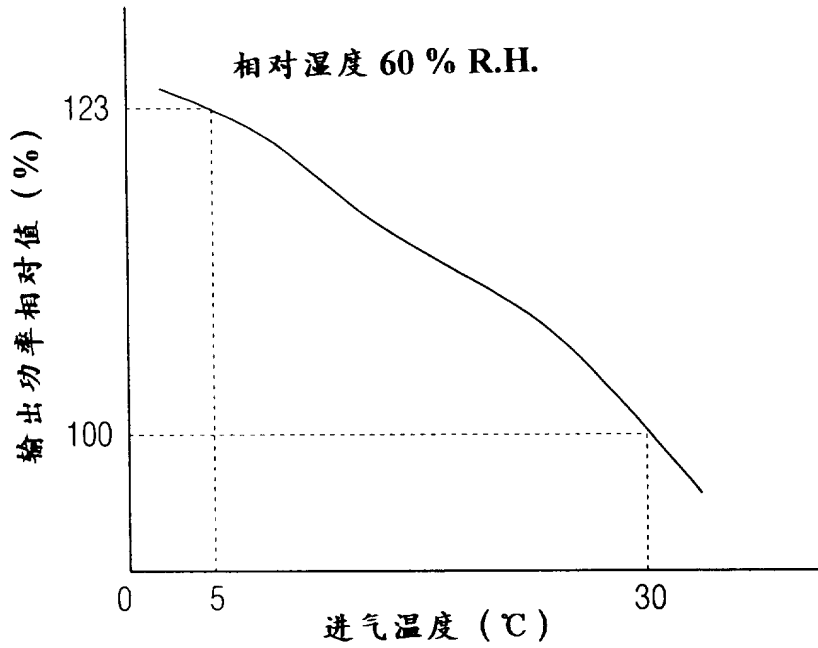


图. 9(b)

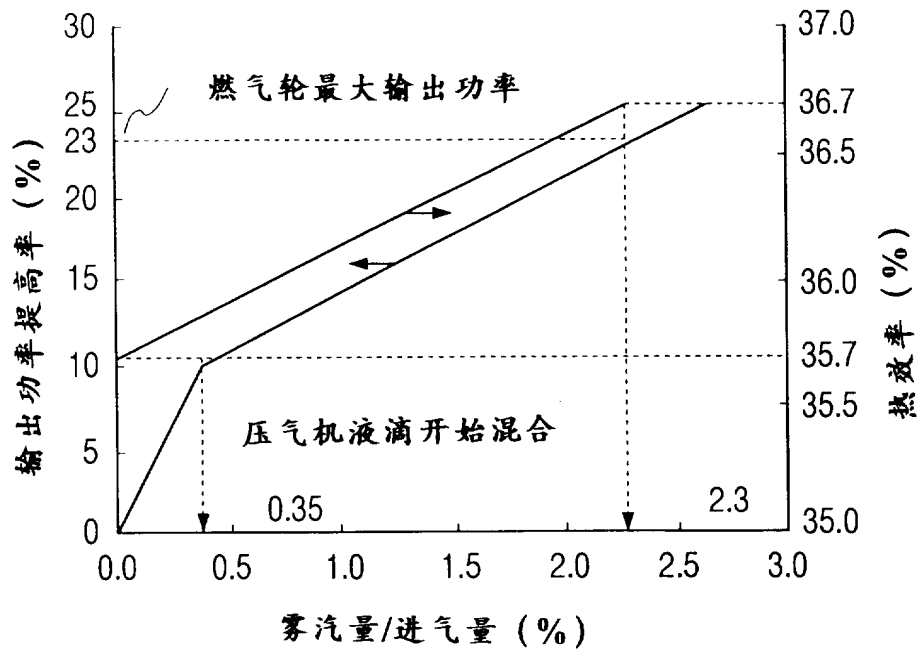


图.10

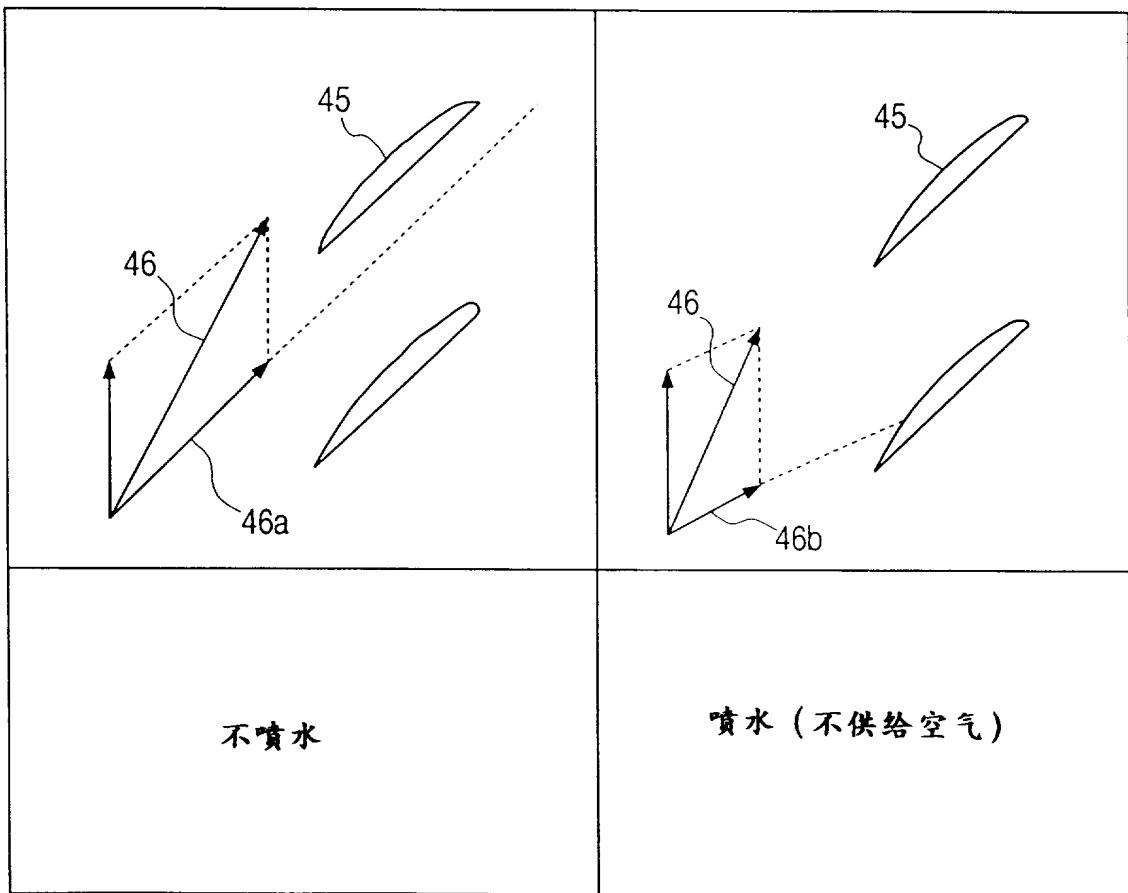


图.11

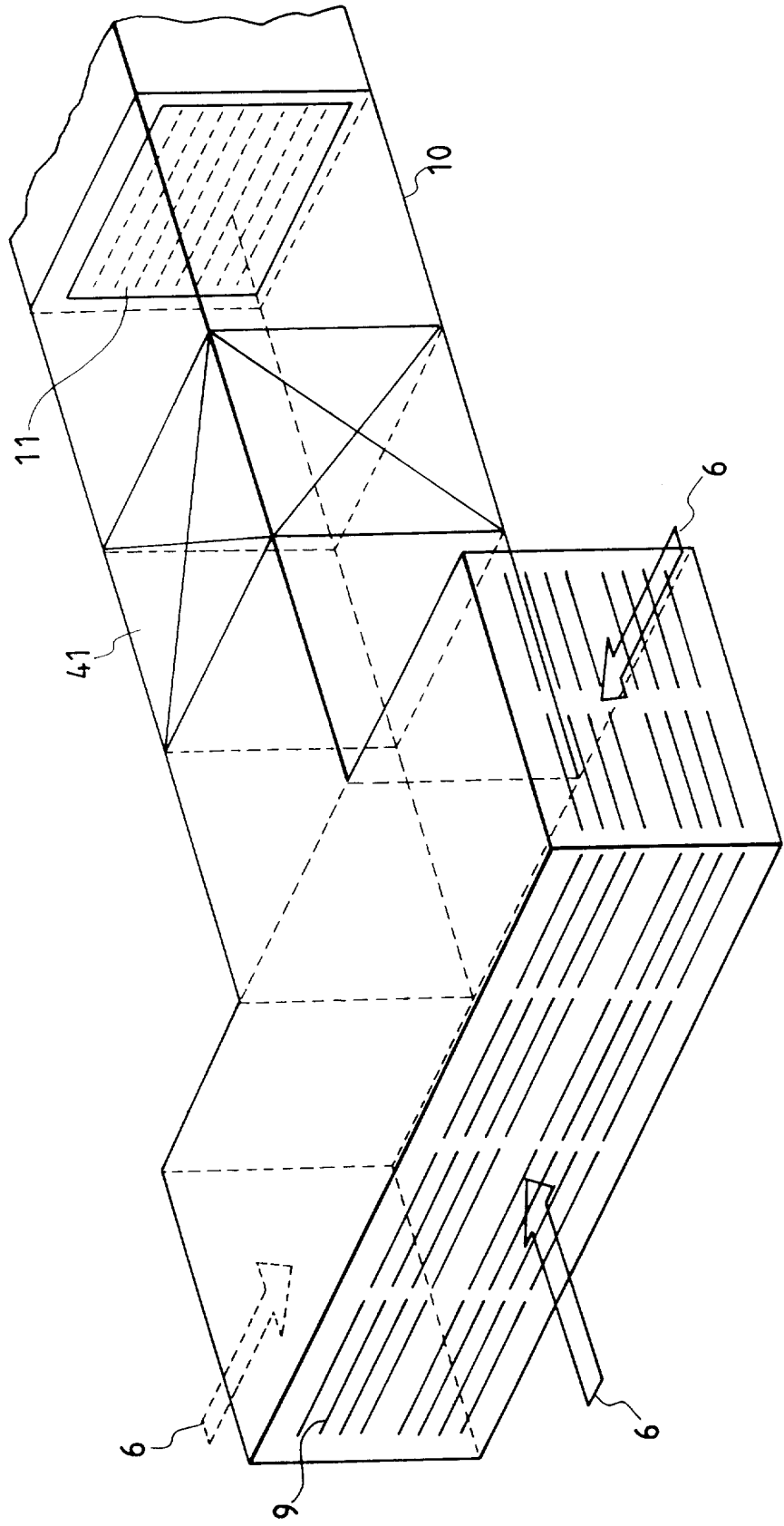


图.12

