

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200480041998.4

[51] Int. Cl.

F02C 9/18 (2006.01)

F02C 1/05 (2006.01)

F02C 3/10 (2006.01)

F01D 17/00 (2006.01)

G21D 3/00 (2006.01)

[45] 授权公告日 2008 年 7 月 23 日

[11] 授权公告号 CN 100404820C

[22] 申请日 2004.12.22

[21] 申请号 200480041998.4

[30] 优先权

[32] 2004.2.23 [33] JP [31] 046223/2004

[86] 国际申请 PCT/JP2004/019169 2004.12.22

[87] 国际公布 WO2005/080772 日 2005.9.1

[85] 进入国家阶段日期 2006.8.22

[73] 专利权人 三菱重工业株式会社

地址 日本东京

[72] 发明人 野内升 佃嘉章 梶下秀昭 蒲原觉

[56] 参考文献

JP2003-166428A 2003.6.13

WO2002078010A1 2002.10.3

JP2000-80926A 2000.3.21

审查员 韩 宇

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司

代理人 刘晓峰

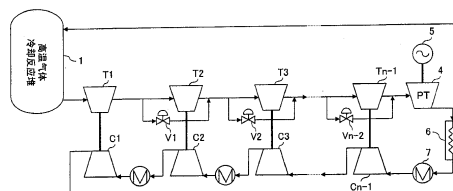
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 7 页

[54] 发明名称

燃气涡轮机组

[57] 摘要

一种燃气涡轮机组，其中，与压缩机共轴设置的多个第一燃气涡轮和与发电机共轴设置的第二燃气涡轮利用通过涂敷颗粒燃料的裂变提供的热能加热的冷却剂旋转。通过在启动时控制旁通在高达 $(n-1)$ 个轴上的第一燃气涡轮的数量为 $(n-1)$ 个的旁通阀打开，控制旁通通道的流。因此，高达 (n) 个轴上的第一燃气涡轮的旋转速度从高温气体冷却反应堆的上游侧上的初级开始向着每个轴的较低级依次增加到额定旋转速度。



1. 一种燃气涡轮机组，包括：

高温气体冷却反应堆，用于通过由涂敷颗粒燃料中的包覆裂变产物的核裂变获得热能来加热冷却剂；

“n”轴第一燃气涡轮，利用高温气体冷却反应堆加热的冷却剂旋转，并与用于压缩冷却剂的压缩机共用相同轴，其中，n是自然数；

第二燃气涡轮，利用旋转每个“n”轴第一燃气涡轮后的充当末级的所述第一燃气涡轮排出的冷却剂旋转，并与执行电功率产生操作的发电机共用相同轴；以及

“n-1”件旁通阀，用于分别使在“n”轴第一燃气涡轮中除了靠近高温冷却气体发电机的第一级中的第一燃气涡轮外的每个“n-1”轴第一燃气涡轮旁通至冷却剂；

其中，在启动期间，通过控制“n-1”件旁通阀的开度，从第一级中的第一燃气涡轮开始，每个“n”轴第一燃气涡轮的旋转速度顺序地逐个轴升高到额定旋转速度。

2. 根据权利要求1所述的燃气涡轮机组，

其中，所述旁通阀使所述第二燃气涡轮旁通。

3. 一种燃气涡轮机组，包括：

高温气体冷却反应堆，用于通过由涂敷颗粒燃料中的包覆裂变产物的核裂变获得热能来加热冷却剂；

高压燃气涡轮，利用高温气体冷却反应堆加热的冷却剂旋转，并与用于压缩冷却剂的高压压缩机共用相同轴；

低压燃气涡轮，利用所述高压燃气涡轮排出的冷却剂旋转，并与用于压缩冷却剂的低压压缩机共用相同轴；

用于电功率产生的燃气涡轮，利用所述低压燃气涡轮排出的冷却剂旋转，并与执行电功率产生的发电机共用相同轴；以及

旁通阀，使低压涡轮旁通至冷却剂；

其中，在启动期间，在旁通阀完全关闭的情况下在装填冷却剂后，通

过控制旁通阀的开度使高压压缩机的旋转速度升高到额定旋转速度，接着通过完全关闭旁通阀，低压压缩机的旋转速度升高到额定旋转速度。

4. 根据权利要求3所述的燃气涡轮机组，
其中，所述旁通阀使用于电功率产生的燃气涡轮旁通。

燃气涡轮机组

技术领域

本发明涉及利用高温气体冷却反应堆产生的热量的燃气涡轮机组，尤其涉及设置有由高温气体冷却反应堆的热量加热的气体驱动并提供废气给高温气体冷却反应堆的燃气涡轮的燃气涡轮机组。

背景技术

作为一种类型的核反应堆（nuclear reactor）的高温气体冷却反应堆采用涂敷颗粒燃料作为燃料，这种涂敷颗粒燃料是覆盖有耐热热解碳（PyC）和碳化硅（SiC）的核燃料，还采用用作阻滞剂和堆芯内结构材料的耐热石墨，其中氦气用作其冷却剂。另外，作为其中插入有燃料棒的石墨块的块型燃料和被球状压缩的热载体床燃料被用作将用于高温气体冷却反应堆的涂敷颗粒燃料。然后，通过用陶瓷而非金属材料构成反应堆堆芯，反应堆堆芯能够经受接近 1000℃ 的高温。

结果，通过利用由高温冷却反应堆产生的热量，可以获得其它类型的核反应堆不能实现的超过 800℃ 的高排出气体温度，从而实现高温效率的电功率。另外，由于当燃料温度升高时，燃料溶化和涂敷层的破损很少发生，所以要使用的燃料是相当安全的，裂变产物即使在意外事件条件下也能保持。另外，在日本，“高温工程测试反应堆”（HTTR）作为高温气体冷却反应堆工作。

在电功率产生机组中，这种如上所述的高温气体冷却反应堆被用于蒸汽循环电功率产生，其中蒸汽通过来自高温气体冷却反应堆的高温气体生成，从而驱动燃气涡轮，还被用于封闭循环燃气涡轮电功率产生，其中燃气涡轮由来自高温气体冷却反应堆的高温气体驱动。这里，在具有与传统热电功率产生的条件等同的蒸汽条件的燃气涡轮电功率产生中，实现了约 40% 的热效率，但通过采用具有越高于 850℃ 的核反应堆冷却剂排出温度

的封闭循环燃气涡轮电功率产生，可以实现 45%至 50%的热效率。

接着，作为在封闭循环燃气涡轮电功率产生中使用的高温气体冷却反应堆，披露了一种在燃气涡轮机组中的高温气体冷却反应堆，其中，在高温气体冷却反应堆中的系统循环不同于燃气涡轮中的系统循环。（参见专利文件 1）在专利文件 1 披露的燃气涡轮机组中，在辅回路中的氦气被由设置到主回路的高温气体冷却反应堆获得的高温氦气加热，接着，燃气涡轮由辅回路中的经过加热的氦气驱动。

另外，本申请人披露了燃气涡轮机组，其中与高压压缩机共用相同轴的燃气涡轮和与发电机共用相同轴的燃气涡轮按照通过不同的轴连接的方式设置，且通过不同的轴连接的燃气涡轮由来自高温气体冷却反应堆的氦气驱动。已经开发出“热载体床模组反应堆”（PBMR），其用作上述的这种燃气涡轮机组，设置有使用热载体床燃料的热载体床反应堆堆芯。

另外，专利文件 2 中的燃气涡轮机组是设置有双轴燃气涡轮的燃气涡轮机组，其中，通过相同轴连接至发电机的燃气涡轮还通过相同轴被连接至低压压缩机。从而，增加了将要施加给通过一个轴被连接至低压压缩机和发电机的燃气涡轮的负载。因此，已经开出处使用“PBMR”的燃气涡轮机组，其中，为了分布负载，提供了通过一个轴连接至低压压缩机的燃气涡轮，采用了包括三个轴的燃气涡轮的燃气涡轮机组。

专利文件 1：专利申请公开 H10-322215

专利文件 2：专利申请公开 H9-144557

发明内容

本发明要解决的技术问题

在如上述的燃气涡轮机组中，在启动时，为了避免旋转速度造成构成燃气涡轮机组的转动叶片共振，有必要迅速提高每个燃气涡轮机组的旋转速度直到安全区中的旋转速度。此时，在专利文件 2 中的燃气涡轮机组中，通过使发电机作为晶闸管操作，与发电机共用相同轴的燃气涡轮机组的旋转速度增加，同时，通过从高温气体冷却反应堆供应氦气，与压缩机共用相同轴的燃气涡轮机组的旋转速度增加。

然而，当由来自高温气体冷却反应堆的氦气增加转速的燃气涡轮连接

至多个轴时，传统上，每个燃气涡轮不被单独控制。因此，当在连接至多个轴的燃气涡轮增加转速到安全区中的旋转速度时起动时，需要考虑可能有燃气涡轮没有获得安全区中的旋转速度，造成转动叶片的共振发生，这可能造成叶片被损坏。

本发明的目的在于提供燃气涡轮机组，其设置有连接至多个轴的燃气涡轮，并且能在启动期间安全控制每个燃气涡轮。

解决技术问题所采用的手段

为了实现本发明，根据本发明的燃气涡轮机组包括高温气体冷却反应堆，用于通过由涂敷颗粒燃料 (coated-particle fuel) 中的包覆裂变产物 (clad fission products) 的核裂变获得热能来加热冷却剂；“n”轴第一燃气涡轮，利用高温气体冷却反应堆加热的冷却剂旋转，并与用于压缩冷却剂的压缩机共用相同轴，其中，n 是自然数；第二燃气涡轮，利用在旋转每个“n”轴第一燃气涡轮后的末级的所述第一燃气涡轮排出的冷却剂旋转，并与执行电功率产生的发电机共用相同轴；以及“n-1”件旁通阀，用于分别使在“n”轴第一燃气涡轮中除了靠近高温冷却气体发电机的第一级中的第一燃气涡轮外的每个“n-1”轴第一燃气涡轮旁通至冷却剂；其中，在启动期间，通过控制“n-1”件旁通阀的开度 (lift)，从第一级中的第一燃气涡轮开始，每个“n”轴第一燃气涡轮的旋转速度顺序地逐个轴升高到额定旋转速度。

另外，根据本发明的燃气涡轮机组包括高温气体冷却反应堆，用于通过由涂敷颗粒燃料中的包覆裂变产物的核裂变获得热能来加热冷却剂；高压燃气涡轮，利用高温气体冷却反应堆加热的冷却剂旋转，并与用于压缩冷却剂的高压压缩机共用相同轴；低压燃气涡轮，利用所述高压燃气涡轮排出的冷却剂旋转，并与用于压缩冷却剂的低压压缩机共用相同轴；用于电功率产生的燃气涡轮，利用所述低压燃气涡轮排出的冷却剂旋转，并与执行电功率产生的发电机共用相同轴；以及旁通阀，使低压涡轮旁通至冷却剂；其中，在启动期间，在旁通阀完全关闭的情况下在装填冷却剂后，通过控制旁通阀的开度使高压压缩机的旋转速度升高到额定旋转速度，接着通过完全关闭旁通阀，低压压缩机的旋转速度升高到额定旋转速度。

本发明的优点

根据本发明，当包括多个轴的燃气轮机机组的旋转速度在启动期间增加至额定旋转速度时，通过提供旁通阀并控制旁通阀的开度，每个共用相同轴的燃气涡轮被单独地控制，从而使得增加转速成为可能。因此，与所有燃气涡轮都同时增加转速的情况相比，本发明可以确认是否将每个燃气涡轮的转速提高到额定旋转速度，使得燃气涡轮可安全启动。

附图说明

图 1 是示出根据本发明的第一实施例的燃气轮机机组的结构的框图；

图 2A 是示出在图 1 的燃气轮机机组启动期间高压涡轮的旋转速度的转换的时序图；

图 2B 是示出在图 1 的燃气轮机机组启动期间低压涡轮的旋转速度的转换的时序图；

图 2C 是示出在图 1 的燃气轮机机组启动期间旁通阀开度的转换的时序图；

图 3 是示出根据本发明的第二实施例的燃气轮机机组的结构的框图；

图 4 是示出根据本发明的第一实施例的燃气轮机机组的另一结构的框图；

图 5 是示出根据本发明的第一实施例的燃气轮机机组的另一结构的框图；

图 6 是示出根据本发明的第二实施例的燃气轮机机组的另一结构的框图；

图 7 是示出根据本发明的第二实施例的燃气轮机机组的另一结构的框图。

附图标记列表

1. 高温气体冷却反应堆
2. 高压涡轮 (HPT)
3. 低压涡轮 (LPT)
4. 功率燃气涡轮 (PT)
5. 发电机
6. 热交换器

7. 前置冷却器
8. 低压压缩机 (LPC)
9. 中间冷却器
10. 高压压缩机 (HPC)
- 11 和 12. 旁通阀

具体实施方式

第一实施例

现在参考附图, 随后将描述本发明的第一实施例。图 1 是示出根据本发明的燃气涡轮机组的结构框图。

图 1 中的燃气涡轮机组包括: 高温气体冷却反应堆 1, 用于提供具有裂变产物的核裂变而产生的热能的氦气, 并排出高温氦气; 高压燃气涡轮 (HPT) 2, 其由从高温气体冷却反应堆 1 排出的氦气驱动; 低压涡轮 (LPT) 3, 其由 HPT 2 排出的氦气驱动; 功率燃气涡轮 (PT) 4, 其由 LPT 3 排出的氦气驱动; 发电机, 其被构造成通过相同轴连接至 PT 4 并由 PT 4 旋转; 热交换器 6, 用于通过被供给 PT 4 排出的氦气来进行热交换; 前置冷却器 7, 用于冷却氦气, 热量通过热交换器 6 释放从所述氦气释放; 低压压缩机 (LPC) 8, 用于压缩通过前置冷却器冷却的氦气; 中间冷却器 9, 用于冷却由 LPC 8 压缩并加压的氦气; 高压压缩机 (HPC) 10, 用于对由中间冷却器 9 冷却的氦气进行加压, 从而供给热交换器 6; 以及旁通阀 11, 使从 HPT 2 排出的氦气旁通 LPT 3, 从而供给 PT 4。

当如上所述构造的燃气涡轮机组以额定负载工作时, 燃料成分供给通过采用用于阻滞剂和堆芯材料的耐热石墨以设置有耐热结构的高温气体冷却反应堆 1, 这些燃料成分是具有多层涂敷有热解碳和碳化硅的裂变产物的微小陶瓷燃料颗粒的涂敷颗粒燃料, 接着, 燃料成分中的裂变产物进行核裂变。由裂变产物的核裂变产生的热量被供给由热交换器 6 提供的氦气, 高温高压的氦气被供给 HPT 2。另外, 热载体床燃料或块燃料被用作包括涂敷颗粒燃料的燃料成分。

接着, HPT 2 由来自高温气体冷却反应堆 1 的高温高压氦气旋转, 从而旋转 HPC 10, 同时, 由 HPT 2 排出的氦气被供给 LPT 3。此时, 通过

完全关闭旁通阀 11，从 HPT 2 排出的所有氦气被供给 LPT 3。因此，以同样的方式，LPT 3 由旋转 HPT 2 的氦气旋转，以旋转 LPC 8，同时，由 LPT 3 排出的氦气被供应给 PT 4。另外，PT 4 由旋转 LPT 3 的氦气旋转，从而旋转发电机 5，从而产生电功率。通过上述方式分别旋转 HPT 2、LPT 3、和 PT 4 而完成其工作的氦气被供给热交换器 6。

在热交换器 6 中，从 PT 4 排出的高温氦气被供应，通过使在 HPC 10 中压缩的氦气与来自 PT 4 的氦气进行热交换，来自 HPC 10 的加热后的氦气被供给高温气体冷却反应堆 1，同时，来自 PT 4 的冷却氦气被供给前置冷却器 7。由前置冷却器 7 冷却的氦气通过供给由 LPT 3 旋转的 LPC 8 而被压缩并加压。此时，氦气的浓度通过使氦气由前置冷却器 7 冷却而增加，从而增强了 LPC 8 的压缩效率。

接着，加过压的氦气在被中间冷却器 9 重新冷却后，被由 HPT 2 旋转的 HPC 10 压缩并加压。同时，以与由前置冷却器 7 冷却的同样的方式，通过使氦气由中间冷却器 9 冷却，HPC 的压缩效率通过增加氦气的浓度而增强。由 HPC 10 加压过的氦气由加热器 6 加热并被供给高温气体冷却反应堆 1。

通过参考图 2A 至图 2C，下面将描述其每个部分在额定操作期间与上述相同工作的燃气轮机机组的启动期间的动作。首先，随着旁通阀 11 被完全关闭，储存罐（未示出）中的氦气被装进氦气主系统，氦气主系统包括图 1 的燃气轮机机组中的高温气体冷区反应堆 1、HPT 2、LPT 3、PT 4、热交换器 6、LPC 8、和 HPC 9。此时，通过同时启动用于初始设置的鼓风系统（未示出），装进主系统的氦气被循环，流量被控制以防止氦气流入 LPC 8 和 HPC 10。

接着，当确认装进主系统的氦气的温度和压力达到预定值时，操作被转移到高温气体冷却反应堆 1 中的临界操作。接着，当高温气体冷却反应堆 1 的内部达到临界状态时，高温气体冷却反应堆 1 的出口温度被控制以落入预定温度范围。随后，通过控制流经 HPT 2、LPT 3 和 PT 4 的氦气的流量，并通过将发电机 5 作为晶闸管操作，PT 4 的旋转速度增加至额定旋转速度“Rb”。接着，当 PT 4 的旋转速度被确认已经增加到额定旋转速度“Rb”时，发电机 5 被同步。

如上所述,当发电机 5 在自启动初始化经过时间“ t_a ”后被同步时,如图 2A 和图 2B 所示,HPT 2 和 LPT 3 的旋转速度被确认已经达到旋转速度“ R_a ”。接着,通过控制流经 LPC 8 和 HPC 10 的氦气的流量来增加机组负载。此时,如图 2C 所示,通过打开旁通阀 15 直到其开度达“ x ”%,来自 HPT 2 的一部分氦气通过旁通阀 15 被供给 PT 4。接着,负载增加,同时,如图 2A 所示,HPT 2 的旋转速度增加至额定旋转速度“ R_b ”。另外,通过打开旁通阀 15 直到其开度达“ x ”%,如图 2B 所示,LPT 3 的旋转速度可被维持在旋转速度“ R_a ”。

接着,当确认 HPT 2 的旋转速度在经过时间“ t_b ”后达到额定旋转速度“ R_b ”时,如图 2C 所示,旁通阀 11 被完全关闭,来自 HPT 2 的所有氦气均被供给 LPT 3。结果,流到 LPT 3 的氦气的流量增加,使得如图 2B 所示,LPT 3 的旋转速度增加到额定旋转速度“ R_b ”。当 HPT 2、LPT 3、和 PT 4 的旋转速度增加至额定旋转速度“ R_b ”时,机组负载进一步增加,使得无负载操作被转移至额定负载操作。另外,当机组负载如上所述增加时,高温气体冷区反应堆 1 的出口温度被控制以获得预定温度。

如上所述,在本实施例中,通过安装旁通阀 11,HPT 2 和 LPT 3 的旋转速度可在机组启动期间被单独控制。结果,通过分别将 HPT 2 和 LPT 3 的旋转速度增加至额定旋转速度,HPT 2 和 LPT 3 可在安全区域操作。

第二实施例

下面将参考附图描述本发明的第二实施例。图 3 是示出根据本实施例的燃气涡轮机组的结构框图。另外,图 3 中用作图 1 中的燃气涡轮机组同样目的的燃气涡轮机组的部分将被设置同样的标记,省略对其的详细描述。

与图 1 中的燃气涡轮机组不同的是,图 3 中的燃气涡轮机组设置有代替了旁通阀 11 的旁通阀 12,其使从 HPT 2 排出的氦气旁通 LPT 3 和 PT 4,以供给热交换器 6。当以此方式构造的燃气涡轮机组以额定负载工作时,通过完全关闭旁通阀 12 并使燃气涡轮机组中的每个部分执行与第一实施例相同的动作,电功率由发电机 5 产生。

当如上所述的燃气涡轮机组启动时,与第一实施例的方式相同,随着旁通阀 12 完全关闭,储存罐中的氦气被装入并循环。接着,当确认装入

主系统的氦气已获得预定温度和预定压力时，高温气体冷却的反应堆 1 的出口温度被控制，以获得预定温度。

此后，通过将发电机 5 作为晶闸管操作，PT 4 的旋转速度增加至额定旋转速度“Rb”，接着，发电机 5 被同步。随后，机组负载增加，首先，同时，通过打开旁通阀 12 直到其开度达“x”%，HPT 2 的旋转速度增加至额定旋转速度“Rb”，接着，随着旁通阀完全关闭，LPT 3 的旋转速度增加至额定旋转速度“Rb”。接着，通过进一步提高机组负载，无负载操作转移到额定负载操作。

如上所述，在本实施例中，通过安装旁通阀 12，HPT 2 和 LPT 3 的旋转速度可在机组启动期间被单独控制。结果，通过分别将 HPT 2 和 LPT 3 的旋转速度增加至额定旋转速度，HPT 2 和 LPT 3 可在安全区域操作。

另外，根据第一和第二实施例的燃气轮机机组包括三轴燃气涡轮，但可以包括具有三个以上的轴的“n”轴涡轮。此处，如图 4 至图 7 所示，由于与发电机共用同样的轴的燃气涡轮（PT）4 是单轴涡轮，分别与压缩机“C1”至“Cn-1”共用同样的轴的燃气涡轮（T1）至“Tn-1”具有“n-1”个轴，同时，“n-2”件旁通阀“V1”至“Vn-2”被安装，以使得氦气旁通除了第一级燃气涡轮“T1”外每个与压缩机“C2”至“Cn-1”共用同样的轴的燃气涡轮“T2”至“Tn-2”。

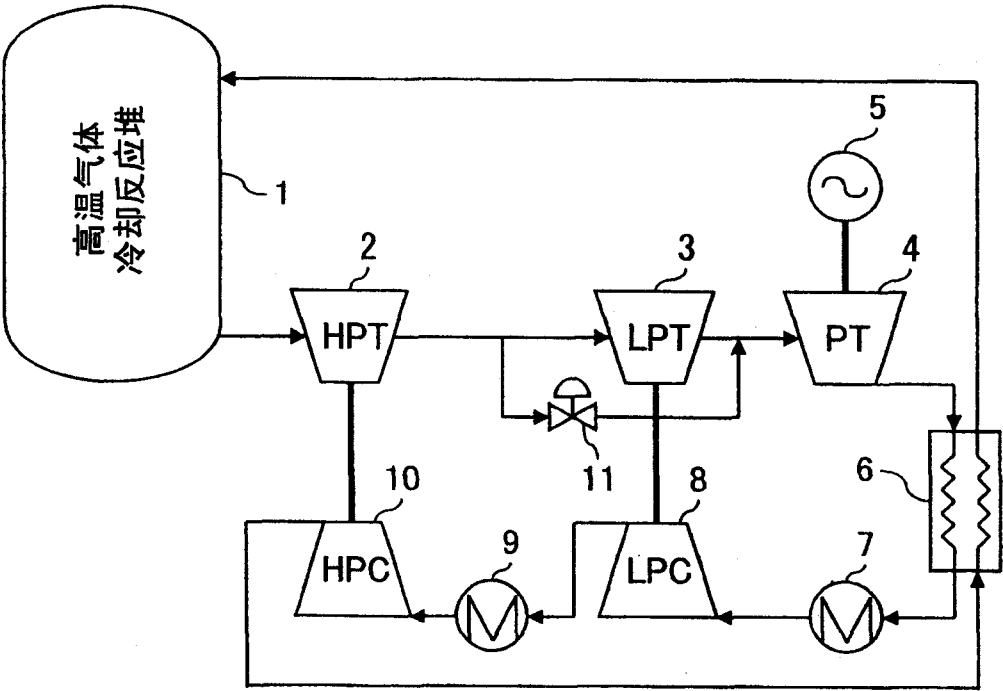
接着，以与第一实施例相同的方式，当 PT 4 没有被旁通时，如图 4 所示，每个与压缩机共用相同轴的“n-2”燃气涡轮可具有被以串联（tandemly）设置方式安装的旁通阀“V1”至“Vn-2”，并且，如图 5 所示，可具有可被以这样的次序平行安装的旁通阀“V1”至“Vn-2”：旁通阀“V1”用于旁通“n-2”轴燃气涡轮“T2”至“Tn-1”，旁通阀“V2”用于旁通“n-3”轴燃气涡轮“T3”至“Tn-1”，等等，“Vn-2”用于旁通单轴燃气涡轮“Tn-1”。此外，以与第二实施例相同的方式，为了使氦气旁通 PT 4，也如图 6 中所示，在旁通阀“V1”至“Vn-2”以衔接设置方式被安装的情形下，旁通阀“Vn-2”被安装，以便旁通 PT 4；另外，在旁通阀“V1”至“Vn-2”被平行安装的情形下，也如图 7 中所示，旁通阀“V1”至“Vn-2”的每个都被安装，以便旁通 PT 4。

并且，当如图 4 至图 7 中所示设置旁通阀“V1”至“Vn-2”时，在

图4和图6的情形下,首先,旁通阀“V1”至“Vn-2”被打开,以便将燃气涡轮“T1”设置在额定旋转速度。随后,旁通阀“V1”、“V2”、等等、和“Vn-2”被依次完全关闭,从而使得燃气涡轮“T2”、“T3”、等等、和“Tn-1”依次被加速至额定旋转速度。并且,在图5和图7的情形下,首先,旁通阀“V1”被打开,以便将燃气涡轮“T1”设置在额定旋转速度。随后,在完全关闭旁通阀“V1”后,旁通阀以例如旁通阀“V2”、等等、和“Vn-2”的次序被打开,以便实现其开度,接着被完全关闭,从而使得燃气涡轮以例如燃气涡轮“T2”、“T3”、等等、和“Tn-1”的次序被加速至额定旋转速度。

工业实用性

根据本发明的燃气涡轮机组可用于设置有高温气体冷却反应堆和连接至多个轴的燃气涡轮的燃气涡轮机组,另外在无论待用于高温气体冷却反应堆的涂敷颗粒燃料是热载体床燃料还是块燃料的情况下均能应用。



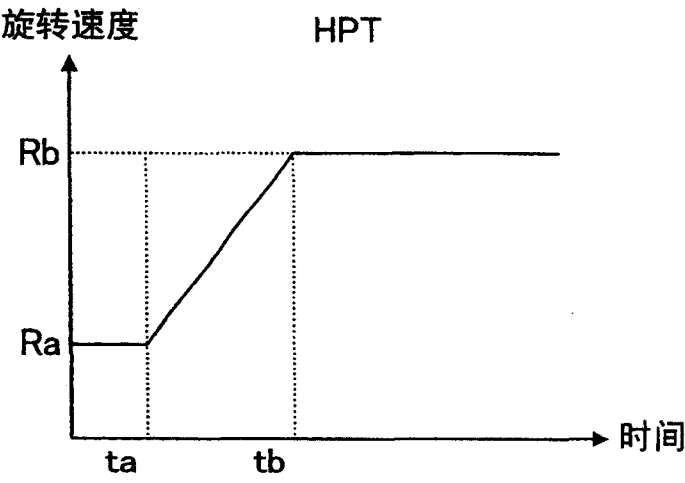


图 2A

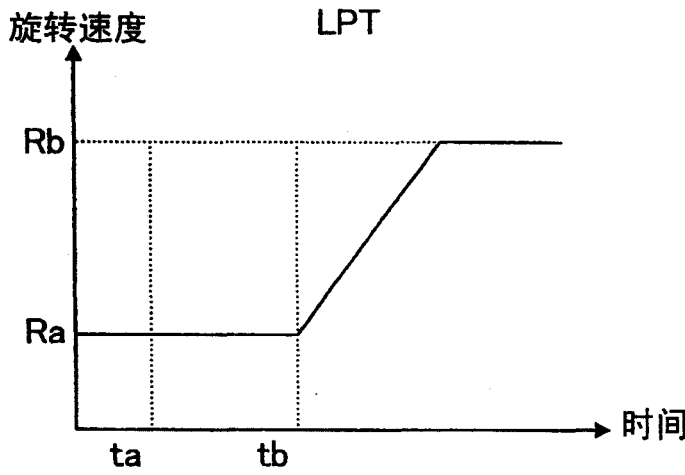


图 2B

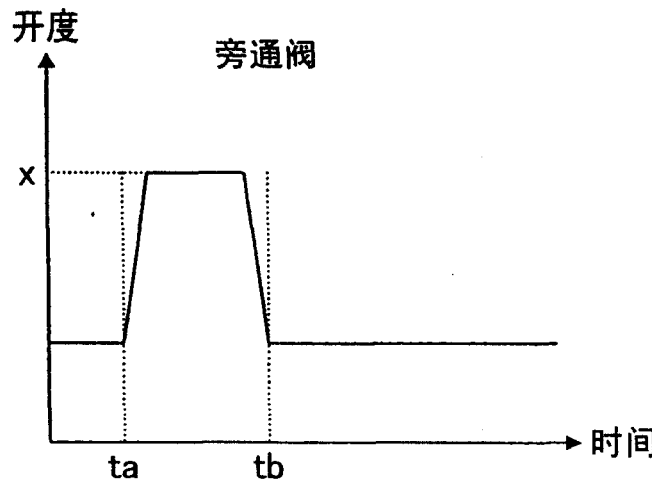


图 2C

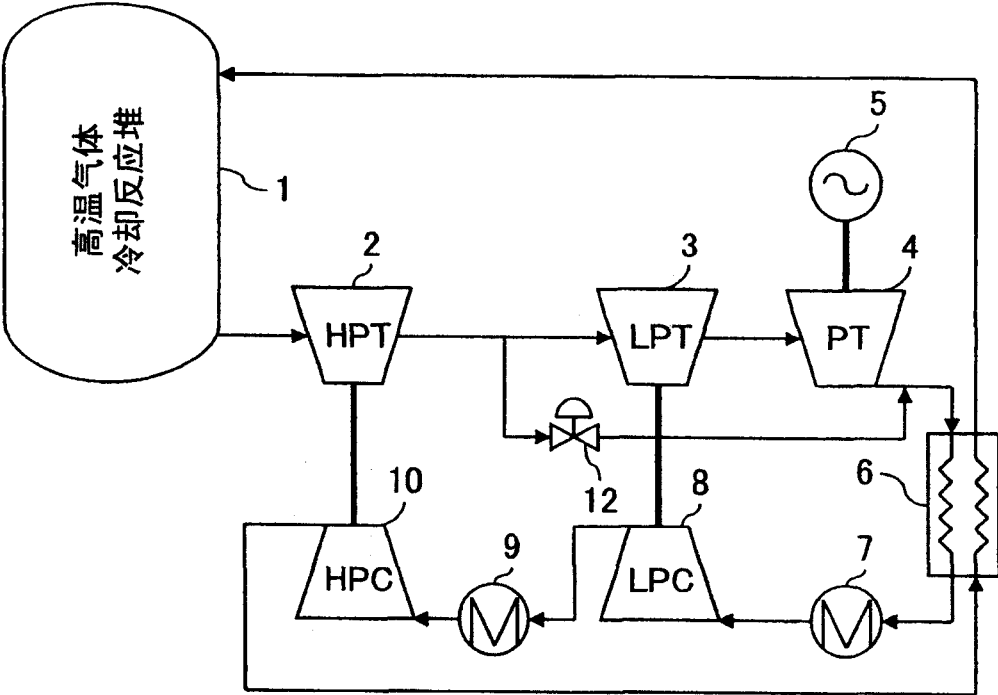


图 3

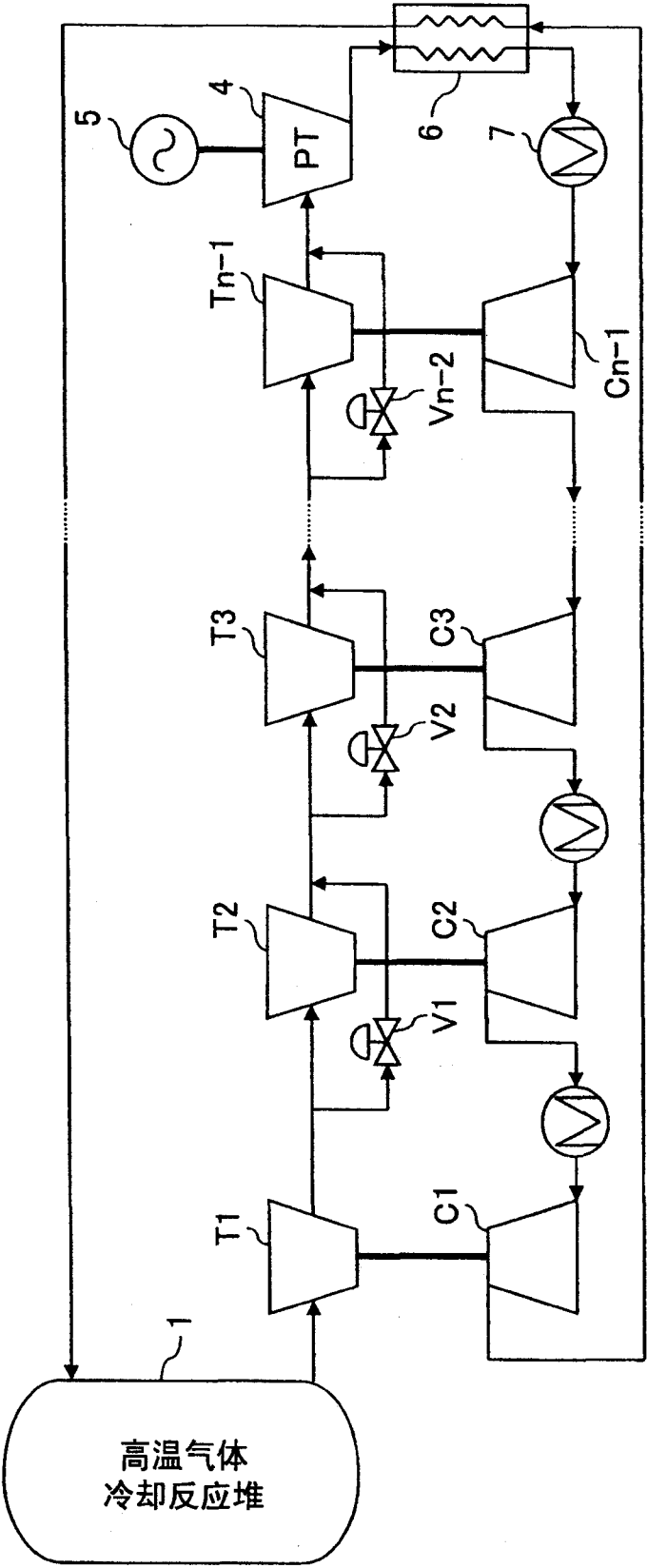


图 4

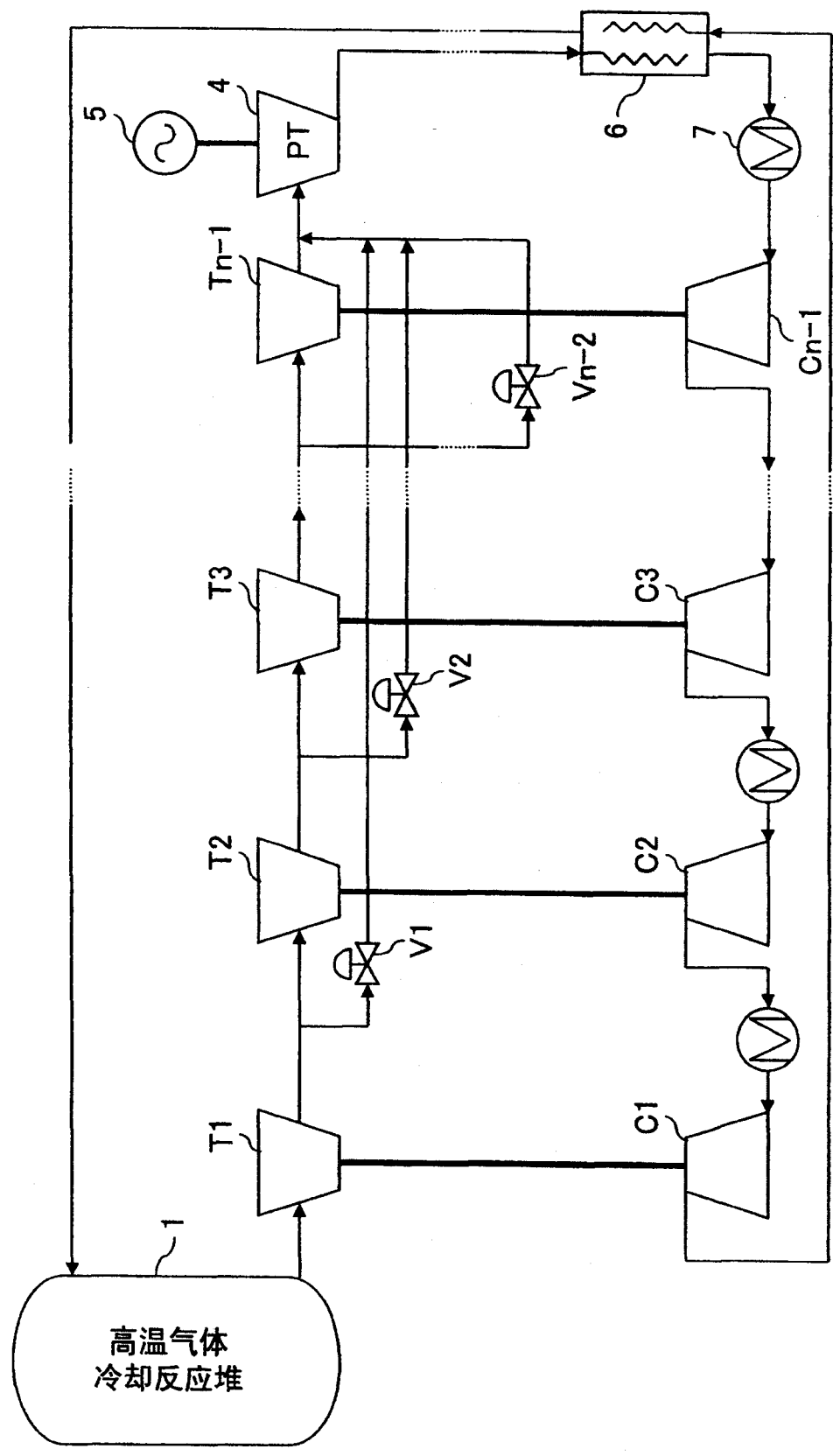


图 5

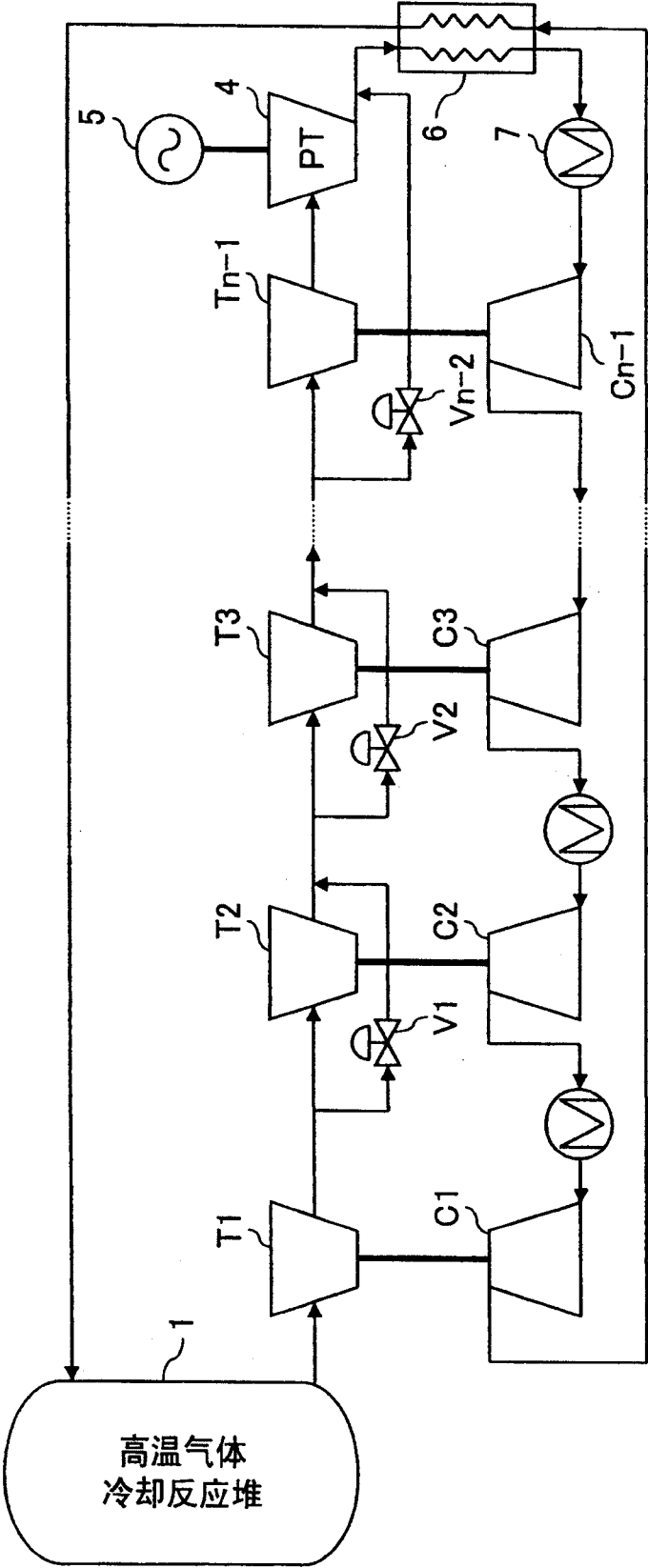


图 6

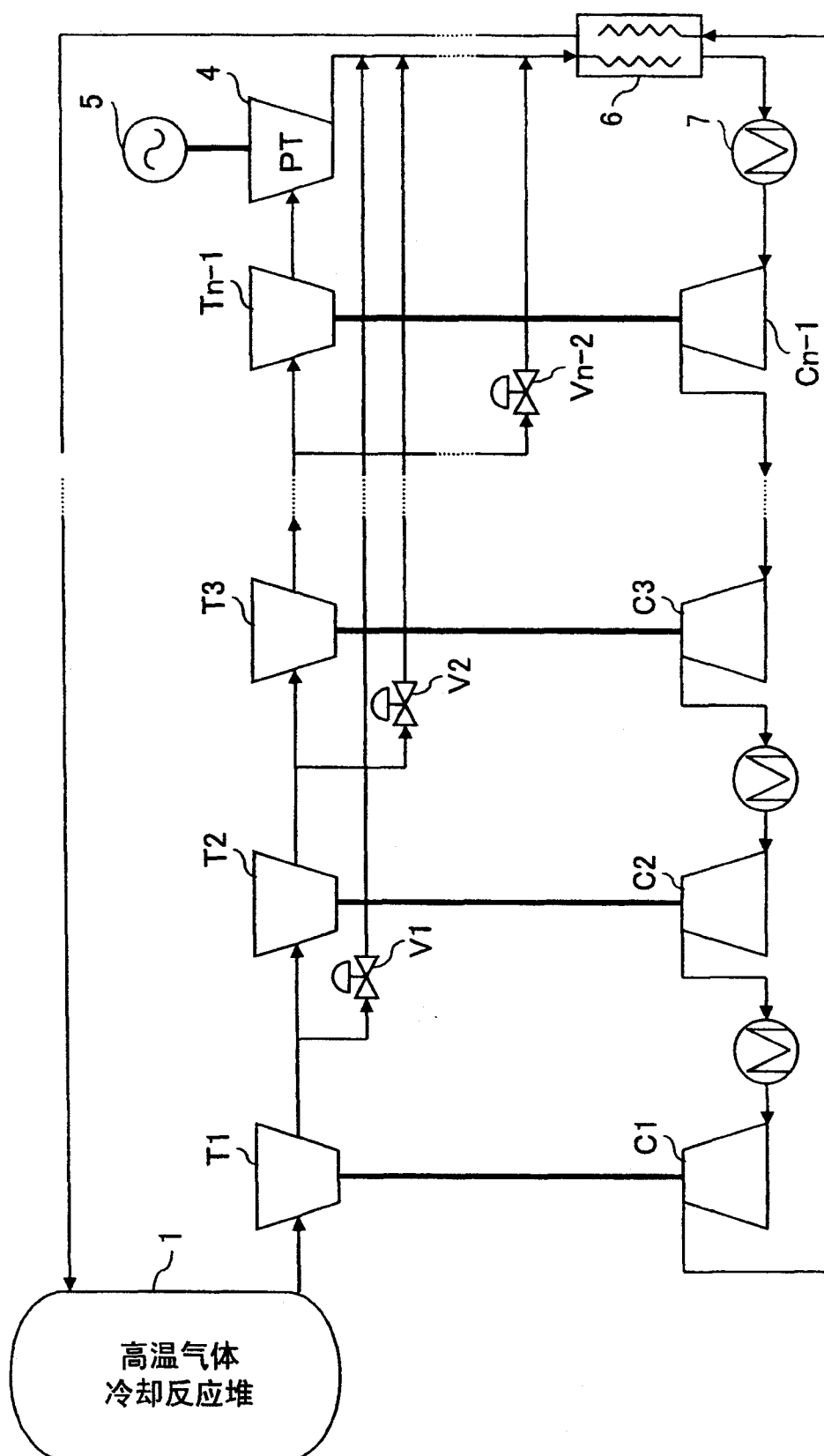


图 7