



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101178029 B

(45) 授权公告日 2015. 08. 26

(21) 申请号 200710169447. 1

审查员 闫玲

(22) 申请日 2007. 11. 09

(30) 优先权数据

11/595606 2006. 11. 10 US

(73) 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 李经邦 T·O·莫尼兹

R·J·奥尔兰多

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 曾祥变 廖凌玲

(51) Int. Cl.

F02C 7/18(2006. 01)

(56) 对比文件

FR 2398884 A1, 1979. 02. 23,

EP 0584958 A1, 1994. 03. 02,

US 5472313 A, 1995. 12. 05,

EP 1528238 A2, 2004. 10. 29,

US 5611197 A, 1997. 03. 18,

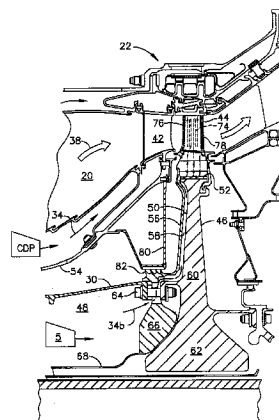
权利要求书4页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

级间冷却式涡轮发动机

(57) 摘要

一种燃气涡轮发动机 (10) 包括可操作地连接在一起的压缩机 (18), 燃烧器 (20), 和高压 (HP) 涡轮 (22)。级间冷却回路 (48) 流通式地从压缩机 (18) 的中间级 (3, 5) 连接至支撑一排涡轮叶片 (44) 的 HP 盘 (46) 的前向面 (50), 用于将级间排放的冷却空气引导至那里。



1. 一种燃气涡轮发动机,包括:

多级轴向式压缩机,其包括成排的用于使空气加压的压缩机叶片;

设置成与所述压缩机流通的环形燃烧器,其用于使燃料与所述压缩空气混合而产生燃烧气体;

高压涡轮,其包括一排具有燕尾榫的第一级高压涡轮叶片,所述燕尾榫安装在支撑转子盘的周边的相应燕尾槽中,所述转子盘由轴连接在所述压缩机叶片上;

所述转子盘包括从所述周边向内延伸出来、并使前向面终止于较宽毂部上的腹板,以及前密封板,所述前密封板沿着所述前向面而径向延伸,从而限定与所述燕尾槽流通的环形歧管;和

从所述压缩机的中间级流通式地连接至所述环形歧管的级间冷却回路,其用于将级间排放冷却空气引导至所述转子盘的前向面。

2. 根据权利要求 1 所述的发动机,其特征在于:

所述燃烧器支撑在内壳周围;并且

所述级间冷却回路设置在所述轴的內部,位于所述压缩机和所述转子盘之间,与所述歧管相流通。

3. 根据权利要求 2 所述的发动机,其特征在于:

所述轴在所述前密封板底部的辅助毂部处,固定地连接在所述转子盘腹板上;和

所述级间冷却回路由从所述辅助毂部向上游沿轴向延伸至所述中间级的管状挡界限定边界。

4. 根据权利要求 3 所述的发动机,其特征在于,所述中间级包括支撑相应的一排所述压缩机叶片的压缩机盘,并且所述挡板向前延伸至所述压缩机盘的毂部。

5. 根据权利要求 4 所述的发动机,其特征在于,所述级间冷却回路包括从所述压缩机叶片径向向内沿着所述压缩机盘而延伸的多个入口管,以便将所述级间排放空气引导至所述歧管中。

6. 根据权利要求 5 所述的发动机,其特征在于:

所述高压涡轮包括第一级高压涡轮喷嘴,其具有一排设置在所述燃烧器和所述高压涡轮叶片之间的定子叶片,用于降低跨越所述叶片前缘和叶片后缘的所述燃烧气体的压力;

所述高压涡轮叶片还各自包括沿着其所述前缘而径向延伸的前排第一冷却孔,以及沿着其所述后缘而径向延伸的后排第二冷却孔,用于排放来自内部叶片冷却回路的叶片冷却空气;

所述高压涡轮叶片配置成可用于额外地降低跨越其前缘和后缘的所述燃烧气体的压力;和

所述中间级设置在所述压缩机末级的上游,以实现使所述排放空气中的静压力大于所述燃烧气体在所述高压涡轮叶片的所述后缘处的静压力。

7. 根据权利要求 6 所述的发动机,其特征在于,还包括:

从所述内壳沿径向向内延伸的密封框架,从而密封地将自所述辅助毂部径向向外延伸出来的迷宫式密封齿连接起来;和

其中,所述内部叶片冷却回路设置成与所述歧管相流通,以便从中接收所述级间排放空气。

8. 根据权利要求 7 所述的发动机,其特征在于,所述中间级配置成可实现使所述排放空气中的静压力大于所述燃烧气体在所述高压涡轮叶片的所述前缘处的总的相对压力。

9. 根据权利要求 6 所述的发动机,其特征在于,所述内部叶片冷却回路设置在独立于所述级间冷却回路之外的回路中,并与所述压缩机的所述末级相流通。

10. 根据权利要求 9 所述的发动机,其特征在于,还包括:

前叶片固定器,其从所述辅助毂部径向向外延伸至所述密封板外部的所述高压涡轮叶片上;和

从所述内壳向后延伸的环形导流叶轮,其用于引导压缩机排放空气穿过所述高压涡轮叶片。

11. 一种燃气涡轮发动机,包括:

多级轴向压缩机,其包括成排的用于使空气加压的压缩机叶片;

设置成与所述压缩机流通的环形燃烧器,其用于使燃料与所述压缩空气混合而产生燃烧气体;

高压涡轮,其包括安装在转子盘的周边上的一排第一级高压涡轮叶片,并设置成与所述环形燃烧器流通,用于从所述燃烧气体中吸取能量以便为所述压缩机提供能量,其中所述转子盘通过轴连接在所述压缩机叶片上;和

从所述压缩机的中间级流通式地连接至所述轴与所述压缩机叶片之间的所述转子盘的前向面的级间冷却回路,其用于将级间排放冷却空气引导至所述转子盘前向面。

12. 根据权利要求 11 所述的发动机,其特征在于:

所述高压涡轮包括第一级高压涡轮喷嘴,其具有一排设置在所述环形燃烧器和所述高压涡轮叶片之间的定子叶片,用于降低跨越所述定子叶片前缘和定子叶片后缘的所述燃烧气体的压力;

所述高压涡轮叶片配置成用于额外地降低跨越其前缘和后缘的所述燃烧气体的压力;和

所述中间级设置在所述压缩机末级的上游,以实现使所述排放空气的静压力大于所述燃烧气体在所述高压涡轮叶片的所述后缘处的静压力。

13. 根据权利要求 12 所述的发动机,其特征在于,所述中间级位于所述压缩机的末级的上游至少两级处。

14. 根据权利要求 12 所述的发动机,其特征在于,所述中间级配置成可实现使所述排放空气中的静压力大于所述燃烧气体在所述高压涡轮叶片的所述前缘处的总的相对压力。

15. 根据权利要求 12 所述的发动机,其特征在于,所述中间级配置成可实现使所述排放空气中的静压力小于所述燃烧气体在所述高压涡轮叶片的所述前缘处的总的相对压力,但仍然大于所述燃烧气体在所述高压涡轮叶片的所述后缘处的所述静压力。

16. 根据权利要求 12 所述的发动机,其特征在于:

所述环形燃烧器被支撑在内壳周围;

所述高压涡轮安装在所述转子盘周边上的相应燕尾槽中;并且

所述级间冷却回路设置在所述轴的内部,位于所述压缩机和所述转子盘之间,与所述槽相流通。

17. 根据权利要求 16 所述的发动机,其特征在于:

所述转子盘包括前密封板,所述前密封板沿着所述转子盘前向面而径向延伸并与之轴向地间隔开,从而限定围绕所述转子盘周边与所述燕尾槽流通的环形歧管;和

所述级间冷却回路与所述歧管流通式地相连。

18. 根据权利要求 17 所述的发动机,其特征在于:

所述转子盘还包括从其所述周边径向向内延伸并终止于较宽毂部上的腹板;

所述轴在所述前密封板底部的辅助毂部处固定地连接在所述转子盘腹板上;和

所述级间冷却回路由从所述辅助毂部向上游沿轴向延伸至所述中间级的管状挡板的限定边界。

19. 根据权利要求 18 所述的发动机,其特征在于,所述中间级包括支撑相应的一排所述压缩机叶片的压缩机盘,并且所述挡板向前延伸至所述压缩机盘的毂部。

20. 根据权利要求 19 所述的发动机,其特征在于,所述级间冷却回路包括从所述压缩机叶片沿着所述压缩机盘而沿径向向内地延伸的多个入口管,以便将所述级间排放空气引导至所述歧管。

21. 根据权利要求 17 所述的发动机,其特征在于:

各所述高压涡轮叶片还包括沿着其所述前缘而径向延伸的前排第一冷却孔,以及沿着其所述后缘而径向延伸的后排第二冷却孔,用于排放来自内部叶片冷却回路的叶片冷却空气;并且

所述内部叶片冷却回路设置成与所述压缩机相流通,以便从中接收被加压的叶片冷却空气。

22. 根据权利要求 21 所述的发动机,其特征在于:

所述内部叶片冷却回路设置成与所述歧管相流通,以便从中接收所述级间排放空气。

23. 根据权利要求 22 所述的发动机,其特征在于,还包括:

从所述内壳沿径向向内延伸的密封框架,从而密封地将自辅助毂部径向向外延伸出来的迷宫式密封齿连接起来。

24. 根据权利要求 21 所述的发动机,其特征在于,所述内部叶片冷却回路设置在独立于所述级间冷却回路之外的回路中与所述压缩机的所述末级相流通。

25. 根据权利要求 24 所述的发动机,其特征在于,还包括:

前叶片固定器,其从辅助毂部径向向外延伸至所述前密封板外部的所述高压涡轮叶片上;和

从所述内壳向后延伸的环形导流叶轮,其用于引导压缩机排放空气穿过所述高压涡轮叶片。

26. 一种冷却具有多级轴向压缩机的燃气涡轮发动机中的高压涡轮的方法,所述压缩机提供压缩空气至环形燃烧器,用于产生热的燃烧气体,能量在所述涡轮中从燃烧气体中吸取,所述方法包括:

从所述压缩机排放级间压缩空气;和

将所述级间排放空气引导至所述涡轮中的转子盘的前向面,以用于对其进行冷却;和

将所述级间排放空气沿径向向外地引导至所述前向面。

27. 根据权利要求 26 所述的方法,其特征在于,所述高压涡轮包括喷嘴,其具有设置在所述环形燃烧器和一排安装在所述转子盘的周边上的高压涡轮叶片之间的叶片,所述方法

还包括：

降低跨越设置在所述环形燃烧器和一排所述高压涡轮叶片之间的所述叶片的前缘和后缘的所述燃烧气体的压力；

降低跨越所述高压涡轮叶片的前缘和后缘的所述燃烧气体的压力；和

排放所述压缩机末级上游的所述级间空气，以实现使所述排放空气的静压力大于所述燃烧气体在所述高压涡轮叶片的所述后缘处的静压力。

28. 根据权利要求 27 所述的方法，其特征在于，所述级间空气从所述压缩机中排放，其中所述排放空气中的静压力大于所述燃烧气体在所述高压涡轮叶片的所述前缘处的总的相对压力。

29. 根据权利要求 28 所述的方法，其特征在于，还包括：

将所述级间空气从所述转子盘前向面引导到所述高压涡轮叶片中以对其进行内部冷却，然后将所述空气通过出口孔沿着所述高压涡轮叶片的所述前缘和后缘以对应的回流安全裕度进行排放。

## 级间冷却式涡轮发动机

### 技术领域

[0001] 本发明大致涉及燃气涡轮，更具体地而言涉及其中的涡轮冷却。

### 背景技术

[0002] 在燃气涡轮发动机中，空气在压缩机中加压，并在燃烧器中与燃料混合，以便产生热的燃烧气体。能量从涡轮级中的燃烧气体中吸取，其通过一个传动轴而为压缩机提供动力，并且产生额外的功，以便为涡轮风扇航空发动机应用中的上游风扇提供动力，或驱动用于船舶和工业 (M&I) 应用的外部传动轴。

[0003] 基础的核心发动机通常包括具有成排的压缩机叶片和相应的导流叶片 (guide vane) 的多级轴向式压缩机 (axial compressor)，其将周围空气分级加压，并相应地提高其温度。自压缩机尾端排放的空气具有最高的压力，通常称为压缩机排放压力 (CDP)，并相应地具有较高的温度。

[0004] 在示例性配置中，压缩机具有七个压缩级以用于使空气压力增加到大气压力的许多倍，同时由于压缩循环，温度也会增加好几百度。根据燃气涡轮发动机的特定设计和其预期用途所需，可使用更少或更大数量的压缩级。

[0005] 自压缩机排放的 CDP 空气大部分和燃烧器中的燃料混合，以产生热的燃烧气体。之后这些燃烧气体在几个涡轮级中经历膨胀循环，以便从中吸取出能量，其相应地减少燃烧气体的压力和其温度。高压涡轮 (HPT) 直接位于燃烧器之后，并用于为核心发动机中的压缩机叶片提供能量。

[0006] 低压涡轮 (LPT) 位于 HPT 之后，并且驱动第二轴，为涡轮风扇发动机应用中的上游风扇提供能量，或驱动用于 M&I 应用的外部传动轴。

[0007] 燃气涡轮发动机的整体效率依赖于空气压缩的效率，燃烧效率，和燃料气体在涡轮级中的膨胀效率。

[0008] 因为涡轮构件在操作期间直接暴露于热的燃烧气体下，因此其需要合适的冷却以确保较长的使用寿命。例如，一些压缩机排放空气从燃烧过程分流以用于冷却燃烧器本身的内衬，以及冷却 HPT 的各种构件。

[0009] 各涡轮级通常包括上游涡轮喷嘴或定子 (stator)，其具有一排喷嘴叶片，其直接将燃烧气体导向下游，穿过相应的一排涡轮转子叶片。叶片通常安装在支撑转子的盘的周边，位于成形于盘中的相应的燕尾槽 (dovetail slot) 中。

[0010] 涡轮叶片和翼型通常是带有相应的内部冷却通道的空心翼型 (airfoil)，其在操作期间接收压缩机排放空气，用于使其冷却。空心叶片和翼型通常包括穿过其压力侧壁和吸力 (suction) 侧壁的多排薄膜冷却孔和其它排放孔，以便排放相应外部薄膜中的废弃内部冷却空气，用于进一步保护翼型。

[0011] 此外，支撑第一级涡轮叶片的涡轮转子盘是相对较大的构件，其带有安装有叶片的轮缘，径向向内延伸的狭窄的腹板 (web)，其终结在具有中心孔的较宽毂部 (hub) 上。转子盘在操作期间遇到相当大的离心荷载和受热，因而必须设计成可长时间使用。

[0012] 相反,在膨胀循环期间考虑到燃烧气体温度和压力上的降低,与 HPT 相比 LPT 需要更少的冷却。因此减少了冷却需求,并且通常级间排放的空气可用于冷却那里的各种构件。

[0013] 主涡轮流动路径设计成可能限制流过发动机时的燃烧气体,并减低燃烧器中的温度和压力。各种用于涡轮构件冷却回路与主流流动路径是独立的,并且必须提供足够压力下的冷却空气,以防止在操作期间吸入热的燃烧气体。

[0014] 例如,在固定的涡轮喷嘴和旋转的涡轮叶片之间提供合适的旋转密封,以防止热的燃烧气体被吸入或回流到冷却回路中。因为喷嘴叶片和涡轮叶片的翼型通常包括成排的冷却空气出口孔,所以冷却空气必须具有比外部燃烧气体更大的足够的压力,以提供合适的回流安全裕度 (backflow margin),以防止热的燃烧气体吸入到涡轮翼型自身内。

[0015] 因此,HPT 的构件通常利用完全压力 CDP 空气 (full-pressure CDPair) 进行冷却,而 LPT 构件可利用较低压力的级间排放空气进行冷却。

[0016] 这样,用于冷却涡轮构件的压缩机空气的使用可与 HPT 和 LPT 的不同冷却需求相匹配,从而减少对其的使用,并因此提高发动机效率。

[0017] 然而,在现代燃气涡轮发动机中,提高发动机效率是持续且首要的设计目标,因此需要通过减少从压缩机中吸取的压缩空气以进一步提高发动机效率。

## 发明内容

[0018] 一种燃气涡轮发动机,包括可操作地连接在一起的压缩机,燃烧器,和高压 (HP) 涡轮。级间冷却回路流通式地从压缩机的中间级连接至支撑一排涡轮叶片的 HP 盘的前向面 (forward face),用于将级间排放的冷却空气引导至那里。

## 附图说明

[0019] 根据优选和典型的实施例,在以下结合附图所做的详细说明中将更具体地描述本发明和其详细的目的和优势,其中:

[0020] 图 1 是涡轮风扇燃气涡轮发动机的局部剖切的轴向示意图。

[0021] 图 2 是穿过图 1 中所示的核心发动机的一部分的放大的轴向截面图。

[0022] 图 3 是图 2 中所示的高压涡轮的放大的轴向截面图。

[0023] 图 4 是与图 3 相似的根据一个备选实施例的高压涡轮的放大的轴向截面图。

[0024] 零部件清单

[0025] 1-7 压缩机叶片 ;10 涡轮发动机 ;12 中心线轴 ;14 风扇 ;16 升压压缩机 ;18 (HP) 压缩机 ;20 燃烧器 ;22 高压涡轮 (HPT) ;24 低压涡轮 (LPT) ;26 发动机舱 ;28 旁路导管 ;30 第一传动轴 ;32 第二传动轴 ;34 空气 ;36 燃料 ;38 燃烧气体 ;40 导流叶片 ;42 喷嘴叶片 ;44 涡轮叶片 ;46 转子盘 ;48 通道 ;50 前向面 ;52 燕尾槽 ;54 燃烧器外壳 ;56 密封板 ;58 分布歧管 ;60 腹板 ;62 轂部 ;64 螺栓 ;66 辅助轂部 ;68 管状挡板 ;70 转子盘 ;72 入口管 ;74 冷却通道 ;76 第一孔 ;78 第二孔 ;80 密封框架 ;82 密封齿 ;84 叶片固定器 ;86 导流叶轮 ;88 HP 叶片

## 具体实施方式

[0026] 图 1 中示意性地显示了典型的涡轮风扇飞机燃气涡轮发动机 10。发动机是关于纵向或轴向中心线轴 12 轴对称的,并且在典型的应用中适合于安装在飞机 (未显示) 的机翼

或机身上,用于为飞行中的飞机提供能量。

[0027] 发动机在连续的流通线中包括风扇 14, 低压或升压压缩机 16, 高压 (HP) 压缩机 18, 环形燃烧器 20, 高压涡轮 (HPT) 22, 和低压涡轮 (LPT) 24。

[0028] 环形机舱 (nacelle) 26 包围风扇 14, 并限定尾部围绕升压压缩机 16 而延伸的环形旁路导管 28。第一传动轴 30 将 HPT22 连接在 HP 压缩机 18 上, 并且第二传动轴 32 将 LPT24 连接在风扇 14 和升压压缩机 16 上。在上述各种发动机构件的传统配置中, 这两个传动轴合适于安装在发动机内的相应的框架中的轴承中。

[0029] 在操作期间, 周围空气 34 进入发动机的入口, 并通过风扇 14 进行部分加压, 并通过旁路导管 28 进行排放, 以便提供大部分推进力。穿过风扇的某些空气 34 进入升压压缩机 16, 并在其多个轴向压缩级中进行进一步的压缩循环, 在其多个轴向压缩级中, 还在 HP 压缩机 18 中提供了补充压缩。

[0030] 压缩空气 34 从压缩机中排出, 并适合于和燃烧器 20 中的燃料 36 混合, 用于产生热的燃烧气体 38。能量从 HPT22 中的燃烧气体 38 中吸取出来, 以驱动第一轴 30, 并为 HP 压缩机 18 提供能量。额外的能量从 LPT24 中的燃烧气体中吸取出来, 以驱动第二轴 32, 并为风扇 14 和升压压缩机 16 提供能量。

[0031] 上述发动机在配置与操作上是传统的, 并且包括多个压缩级和多个涡轮级。例如, 升压压缩机 16 可具有四个轴向级, 其包括与四排入口导流叶片轴向交替的四排压缩机叶片。

[0032] 高压压缩机 18 可包括例如, 七个轴向级, 其具有七排压缩机叶片 1-7, 如图 2 中详细所示, 与相应的那几排入口导流叶片 40 轴向交替, 并通过传统的扩散器而排放 CDP 空气。

[0033] HPT22 最好是单级涡轮, 典型的五级 LPT24 在次序上尾随其后。

[0034] 图 2 更详细地显示了基本核心发动机, 其包括设置成连续流通的高压压缩机 18, 环形燃烧器 20, 和 HPT22。

[0035] 图 2 中所示的 HPT22 包括第一级或 HP 涡轮喷嘴, 其具有适合于安装在外带和内带上的一排定子叶片 42。翼型后面是单排活动地安装在第一级或 HP 转子盘 46 的周边或轮缘上的 HP 涡轮叶片 44。盘 46 固定地连接在第一传动轴 30 上, 第一传动轴 30 则固定地连接在支撑高压压缩机 18 的压缩机叶片 1-7 的转子盘上。

[0036] HP 压缩机 18 和 HPT22 的配置与操作对于空气 34 的加压和后续燃烧气体 38 的膨胀, 以便从中吸取能量来说是传统的。具体地说, 空气 34 的压力和温度随着空气流向下游通过七级压缩机叶片 1-7 而轴向依次提高。在这个典型的配置中, 第七排压缩机叶片 7 限定了压缩机末级, 并在与压缩机排放压力 (CDP) 空气相关的最大压力 P7 和相应的高温 T7 下排放压缩空气。

[0037] CDP 空气与燃烧器中的燃料混合, 而产生热的燃烧气体 38, 其从第一级涡轮喷嘴叶片 42 之间的燃烧器的出口中排放出来。这些叶片轴向设置在燃烧器和第一级涡轮叶片 44 之间, 并且传统地配置成用于降低或减少沿着翼型弦线 (airfoil chord) 和跨过叶片前缘和后缘的燃烧气体的压力。

[0038] 各喷嘴叶片 42 具有轴向在上游前缘和下游后缘之间延伸的典型的通常凹入的压力侧和通常凸出的相对的吸力侧。喷嘴叶片 42 的轮廓可适合于选择成可随着燃烧气体流向下游, 而在涡轮喷嘴的入口和出口端之间实现极大的压力降。流过涡轮喷嘴的气体被加



速并旋转,其造成总压力的小的下降,以及静压力的大幅下降。

[0039] 相应地,图 2 中还显示了第一级涡轮叶片 44,其具有轴向地在前缘和后缘之间延伸的通常凹入的压力侧和通常凸出的相对的吸力侧。涡轮叶片 44 的剖面也是经过传统选择,以便额外地降低或减少燃烧气体 38 沿着翼型弦线和跨过其前缘和后缘的压力。从在涡轮转子叶片之间流动的气体中吸取功或能量,其造成总的压力和静压力的大幅下降。

[0040] 虽然随着能量增加,压缩级提高了空气的压力和温度,但是涡轮级降低了燃烧气体的压力和温度,以便从中吸取能量。

[0041] 因为使用图 2 所示的单级 HPT22 允许在首先跨过喷嘴叶片 42,之后跨过涡轮叶片 44 的燃烧气体发生极大的压力降,所以可为 HPT22 使用改进的冷却回路以进一步提高发动机的效率。

[0042] 更具体地说,图 2 显示了流通式地从 HP 压缩机的中间级连接至第一级盘 46 的前向面 50 的环形级间冷却回路或通道 48,用于引导标号为 34b 的加压的级间排放空气,以便其冷却。

[0043] 例如,由第五排压缩机叶片 5 代表的第五中间级可用作冷却排放空气 34b 的来源,该中间级设置在压缩机 18 的末级,第七级的上游。中间级的选择依赖于 HP 压缩机 18 的压缩循环和相应的 HPT22 的膨胀循环。

[0044] 更具体地说,通过在跨过喷嘴和 HPT22 的叶片的燃烧气体 38 中引起极大的压力降,较低压力的级间加压空气可从压缩机中排出,并适合于在不同的压力下驱动至 HPT,同时在比 HPT 中的燃烧气体更大的压力下仍保持合适的回流安全裕度。

[0045] 压缩机的中间级优选选择成可实现压缩空气 34 中的静压力 (PS),其适合于比 HP 叶片 44 后缘处的燃烧气体的静压力更大。

[0046] 例如,第五中间级位于比压缩机 18 的末级或第七级更靠前至少两个压缩级的上游处,并且可有效地用于为单级 HPT22 提供排放空气 34b 的来源。

[0047] 如上所示,空气 34 的压力和温度在 HP 压缩机 18 的七个级中逐级地提高,各级由相应的一排压缩机叶片 1-7 代表。压缩机中的空气压力上的整个或总的提高可能是非常大的,并且例如达到 10-30 个大气压。相应地,跨过压缩机 18 的压缩空气 34 的温度上升可能有几百度。

[0048] 通过利用上面公开的级间冷却回路 48 中的非 CDP 空气,可获得 CDP 空气分流上的极大降低,从而相当大地提高了发动机效率。因为 CDP 空气是发动机中可有助于实现其高压而执行最大做功的最昂贵的空气,所以其从其自身燃烧过程中的任何分流都相对地降低了发动机效率。并且,通过限制 CDP 空气的分流,可提高发动机的总效率。

[0049] 图 3 更详细地显示了 HPT22,其包括在其周边轮缘周围支撑一排第一级涡轮叶片 44 的第一级转子盘 46。级间冷却回路 48 开始于中间压缩机级,并且终止于第一级涡轮盘 46 以用于为其提供冷却空气。

[0050] 典型的第五级排放空气 34b 具有比压缩机末级排放的 CDP 空气 34 的压力  $P_7$  和温度  $T_7$  小得多的相应的静压力  $P_5$  和总温度  $T_5$ 。温度更低的排放空气 34b 适合于引导至涡轮叶片盘 46 的前向面 50,并为其提供更有效的冷却,其相应地降低了热应力,并提高了涡轮叶片盘 46 的寿命。

[0051] 此外,排放空气 34b 的中间压力  $P_5$  是足够高的,以防止燃烧气体 38 回流或吸入到

引导排放空气 34b 的 HPT 的各种冷却通道中。

[0052] 例如,图 2 和 3 显示了级间冷却回路 48 可便利地设置在第一传动轴 30 的内部,第一传动轴 30 在压缩机 18 和 HP 盘 46 之间轴向地延伸。如上所示,单个的涡轮叶片 44 具有传统的燕尾榫 (dovetail),其安装在轴向跨过涡轮叶片盘 46 的周边而延伸的相应的燕尾槽 52 中。级间冷却回路 48 优选配置成可将排放空气 34b 径向向外引导至盘前向面 50 上,并进入到燕尾槽 52 中,用于增强涡轮叶片盘本身的冷却。

[0053] 图 2 和 3 中所示的燃烧器 20 以传统的方式径向支撑在环形内燃烧器外壳 54 的周围,其为用于冷却燃烧器本身的径向内外衬垫的压缩机中的 CDP 空气提供了环向内边界。因此,级间冷却回路 48 优选是与包围燃烧器内壳 54 的 CDP 空气通道独立的。

[0054] 图 3 中所示的 HPT22 还包括径向沿着盘前向面 50 而延伸,并轴向向前与之间隔开的环形前密封板 56,从而限定了环形分布通道或歧管 58,其与燕尾槽 52 成流通式地设置在盘周边附近。级间冷却回路 48 适合于与歧管 58 的内端流通式地连接起来。

[0055] 通过这种方式,当盘 46 在操作期间旋转时,级间排放空气 34b 在离心力下被径向向外引导而穿过歧管 58,从而将排放空气传递到整排燕尾槽 52 中。如果需要,板 56 可包括位于歧管 58 内部的推进叶片(未显示),用于进一步提高空气压力。

[0056] 图 3 中所示的涡轮叶片盘 46 具有典型的较宽的周边轮缘,其中成形有轴向燕尾槽 52,较薄的环形腹板 60 从中径向向内延伸出来,并终结在较宽的具有贯通中心孔的中心盘毂部 62 上。在尾部凸缘上,第一传动轴 30 通过一排螺栓 64 而固定地连接在盘腹板 60 上。辅助毂部 66 整体地连接在密封板 56 的底端上,并利用相同螺栓 64 而固定地安装在螺栓结合凸缘上。提供了合适的孔穿过密封板 56 和辅助毂部 66 的结合部,从而在级间冷却回路 48 和歧管 58 之间提供流通。

[0057] 级间冷却回路 48 具有由传动轴 30 限定的外侧边界,并且优选具有由管状挡板 68 限定的内侧边界,管状挡板 68 轴向向前从辅助毂部 66 的孔延伸至上游压缩机的中间级。

[0058] 例如,图 2 中所显示的 HP 压缩机 18 的七个级各包括支撑相应一排压缩机叶片 1-7 的相应的压缩机转子盘 70,其中相应的燕尾榫和燕尾槽传统地配置在盘的周边。管状挡板 68 优选向前延伸至第五级压缩机盘 70 的毂部的中心孔内,与其形成密封接触。

[0059] 级间冷却回路 48 优选还包括多个圆周方向间隔开的入口管 72,其径向向内从第五级压缩机叶片 5 的底部,沿着相应的压缩机盘 70 而延伸,从而将级间排放空气 34b 径向向内和轴向围绕挡板 68 进行引导,以便流向出口歧管 58。入口管 72 可具有用于通过压缩机转子中的相应的孔而排出级间加压空气的传统配置,这些孔位于相邻几排压缩机叶片之间,优选位于其之间相应的几排导流叶片的区域中。

[0060] 如最初图 3 中所示,涡轮叶片 44 可各具有任何传统的配置,包括任何径向贯通的内部冷却回路或通道 74。内部冷却回路端接在穿过叶片翼型部分的几排冷却孔中,其包括一排前缘或第一孔 76 和另一排后缘或第二孔 78。

[0061] 叶片的内部冷却通道 74 适合于与 HP 压缩机 18 流通式地连接起来,用于从中接收加压空气,以便从内部冷却各叶片。然而,与外部燃烧气体的压力相比内部冷却空气的压力必须足够大,以便在叶片的前缘和后缘,及其之间保持合适的回流安全裕度,以防止在操作期间燃烧气体被吸入或回流到涡轮叶片中。

[0062] 在图 3 所示的典型的实施例中,叶片冷却通道 74 设置成与歧管 58 流通,以便接收

来自级间冷却回路 48 的级间排放空气 34b。这样,第一级涡轮叶片 44 可供有相应的第五级压力 P5 和温度 T5 下的第五级排放空气,用于增强涡轮叶片本身的冷却性能,且留有足够的回流安全裕度。

[0063] 在图 2 中,选择第五压缩机级来为 HPT 转子提供冷却空气,因为第五级可在压气机排放空气 34b 中实现这样的静压力,其比相应的一排第一冷却孔 76 附近的第一级涡轮叶片 44 前缘处的燃烧气体 38 的总的相对压力 (PTR) 更大。

[0064] 因为涡轮叶片 44 在操作期间旋转,并且首先沿着其前缘而接收入射的燃烧气体 38,所以通过前缘孔 76 排放的冷却空气的内部压力必须恰当地大于外部燃烧气体的总的相对压力,以提供合适的回流安全裕度,从而防止燃烧气体被吸入到涡轮叶片中。

[0065] 因为燃烧气体的压力在涡轮叶片 44 的前缘和后缘之间下降,所以第五级排放空气仍然能够在一排沿着涡轮叶片后缘而设置的第二孔 78 处提供足够的回流安全裕度。

[0066] 因此,作为以 CDP 冷却空气冷却图 3 中所示的第一级涡轮叶片 44 的传统方式的替代,低压且低温的级间排放空气不仅可用于冷却第一级盘 46 的前向面 50,而且可用于冷却安装在盘周边的第一级涡轮叶片 44。

[0067] 歧管 58 端接在燕尾槽 52 上,并将级间排放空气传递至叶片燕尾榫底部的相应入口中,以便流过单个叶片的内部冷却回路。密封板 56 优选具有外周边或轮缘,其限定了用于叶片 44 的叶片固定器,该叶片还与位于盘对侧的传统后叶片固定器协作,用于将叶片轴向卡在相应的轴向燕尾槽中。

[0068] 在图 3 所示的典型的实施例中,CDP 空气不用于冷却第一级涡轮叶片或转子盘,并因此在该设计中可消除传统的导流叶轮 (flowinducer),其消除了相应的复杂性。相反,简单的环形密封框架 80 径向向内从内壳 54 延伸出来,并在其中心孔处包括环形密封板 (sealingpad),以便密封地连接径向向外从一排装配螺栓 64 上面的辅助毂部 66 中延伸出来的迷宫式密封齿 82。

[0069] 这样,包围燃烧器的 CDP 冷却回路与级间冷却回路 48 隔离开,级间冷却回路 48 提供级间冷却空气,用于冷却第一级盘前向面和安装在其上面的涡轮叶片。

[0070] 使用非 CDP 空气来冷却第一级涡轮盘和叶片对于增强其冷却和其改善发动机的配置和总效率方面的复合效应具有重要意义。因为昂贵的 CDP 空气不用于涡轮转子冷却,所以提高了发动机的总效率。

[0071] 温度更低的空气用于冷却涡轮转子和叶片,其因此需要较少的冷却空气,并且还容许较长的叶片寿命。这样,考虑到其较低的操作温度,较冷的操作涡轮转子可以由较低廉的超合金组成。

[0072] 消除了上述用于 CDP 空气的导流叶轮系统,其简化了发动机的设计,并容许其具有较低的重量。

[0073] 并且,用于冷却涡轮转子的 CDP 空气的消除允许对与压缩机 18 和燃烧器 20 协作的 HPT 本身进行重新设计,以便进一步提高其总体效率。

[0074] 然而,利用 HPT 转子中的级间排放空气的主要好处是冷却转子本身,其不依赖于叶片冷却。图 4 显示了一个备选实施例,其中内部叶片冷却通道 74 设置成与相应独立于级间冷却回路 48 的回路中的压缩机 18 的第七级或末级相流通。

[0075] 在这个实施例中,密封板 56 端接在叶片燕尾榫的底部,以便只将级间排放空气

34b 引导穿过燕尾槽 52, 并流出该涡轮级的后叶片固定器中的相应孔。传统的环形前叶片固定器 84 从辅助毂部 66 沿径向向外地延伸至位于前密封板 56 的径向外部和前面的第一级涡轮叶片 44 中。

[0076] 环形导流叶轮 86 向后从内壳 54 中延伸出来, 内壳 54 具有合适的孔, 用于引导 CDP 空气 34 以不同于传统的方式而穿过内部叶片冷却回路 74。导流叶轮 86 包括一排叶轮翼型, 其引导 CDP 空气 34 切向从固定的导流叶轮 86 中穿过旋转的前叶片固定器 84 中的孔。

[0077] 之后在叶片固定器 84 和密封板 56 之间的流腔中径向向外引导 CDP 空气, 以提供 CDP 空气, 使其穿过成形于相应涡轮叶片的燕尾榫中的侧面入口。叶片的底部保持实心的, 以便使燕尾榫下面的级间排放空气与叶片中的 CDP 空气间隔开。

[0078] 使用 CDP 空气来冷却第一级涡轮叶片 44 是传统的, 并且具有降低发动机总效率的基本缺点。然而, 使用级间排放空气来冷却第一级涡轮盘 46 的前向面提供了转子冷却和寿命方面单独且显著的优势。

[0079] 此外, 图 2 和 4 显示了用于独立于涡轮叶片而冷却涡轮转子的级间排放空气的各种来源。替代第五级排放空气, 可类似地从位于第三压缩机叶片 3 之后的第三压缩机级中吸取排放空气。在这种配置下, 管状挡板 68 恰当地向上游延伸至相应的第三压缩机盘处, 同时通过下游压缩机盘的孔提供通路, 以便使级间冷却回路 48 延伸。

[0080] 使用第三级排放空气可以享有还要低的温度  $T_3$ , 同时相应于前级压缩机排出的甚至更低的静压力  $P_3$ 。

[0081] 因为级间排放空气可轴向引导穿过图 4 所示的燕尾槽 52, 因此其排放在沿着第一级叶片 44 的后缘而延伸的平面中, 其中燃烧气体在移动穿过喷嘴叶片 42 和涡轮叶片 44 之后具有显著的压力损失。第三级排放空气的静压力  $P_3$  仍然大于燃烧气体 38 沿着第一级涡轮叶片 44 的后缘的静压力  $P_S$ , 但不大于沿着第一级叶片前缘的总的相对压力  $P_{TR}$ 。因为 CDP 空气现在用于冷却第一级叶片 44, 所以在这个实施例中, 第三级排放空气的较低的静压力没有关系。

[0082] 通过认识到不再需要 CDP 空气来冷却第一级涡轮盘的前向面和安装在其上面的第一级涡轮叶片, 利用较低压力和较低温度的级间排放空气可获得发动机效率的显著提高。

[0083] 虽然这里已经描述了被认为是本发明优选且典型的实施例, 但是本领域中的技术人员从本文所授知识中应该明晰本发明的其它改型, 因此需要将所有这种落在本发明真实精髓和范围内的改型保护在所附权利要求中。

[0084] 因此要求保护的内容是所附权利要求所限定和区分的发明。

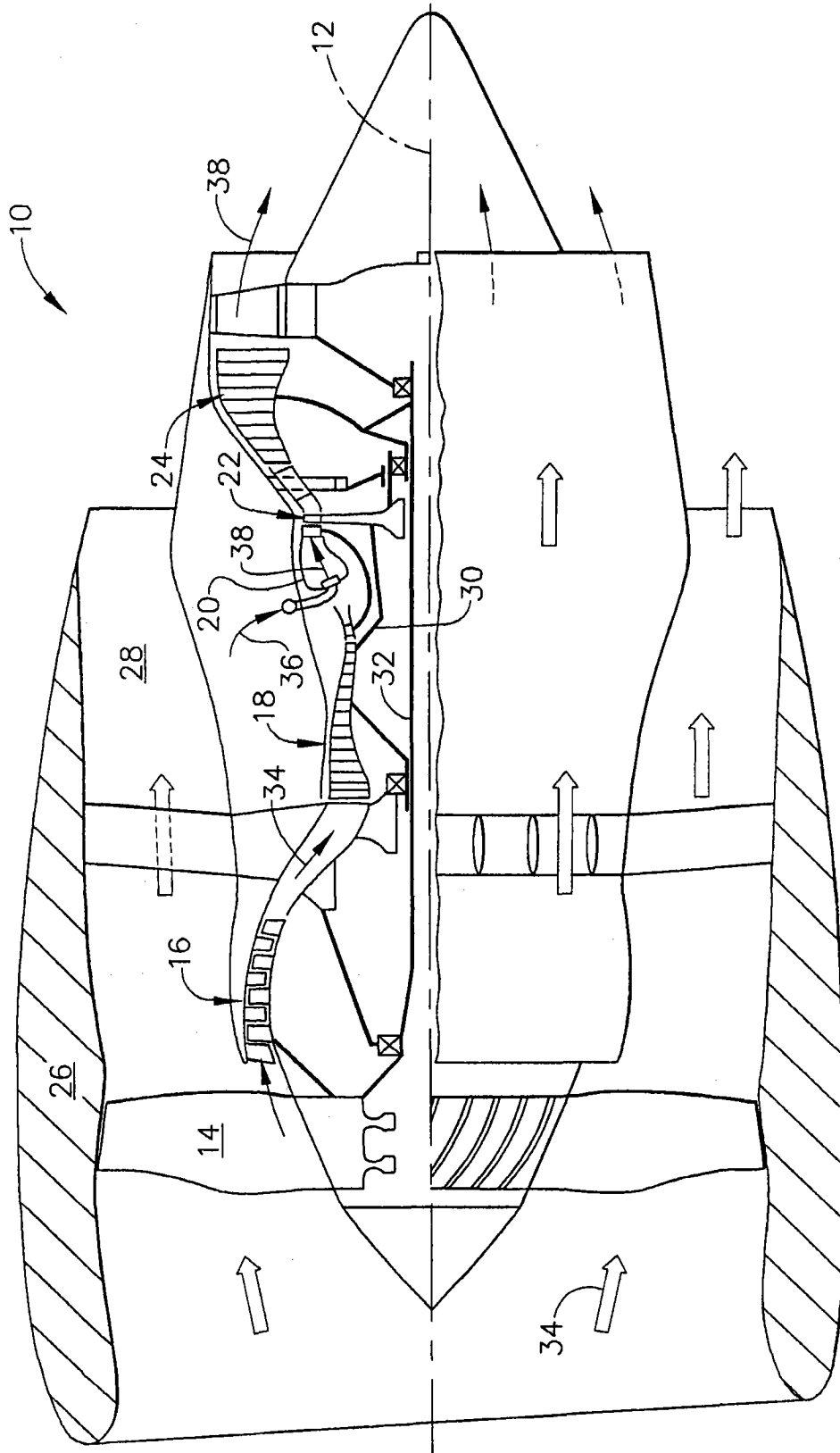


图 1

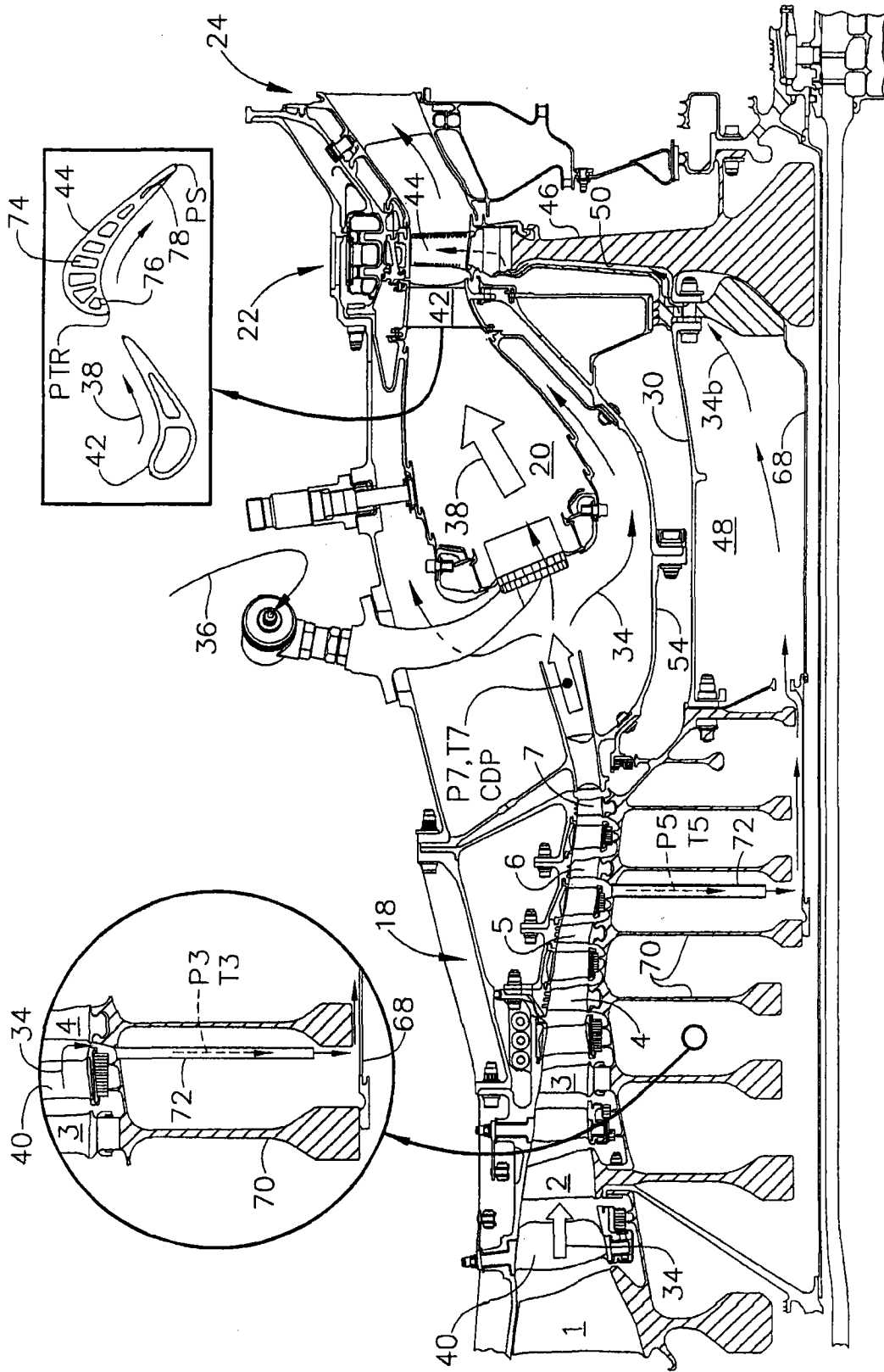


图 2

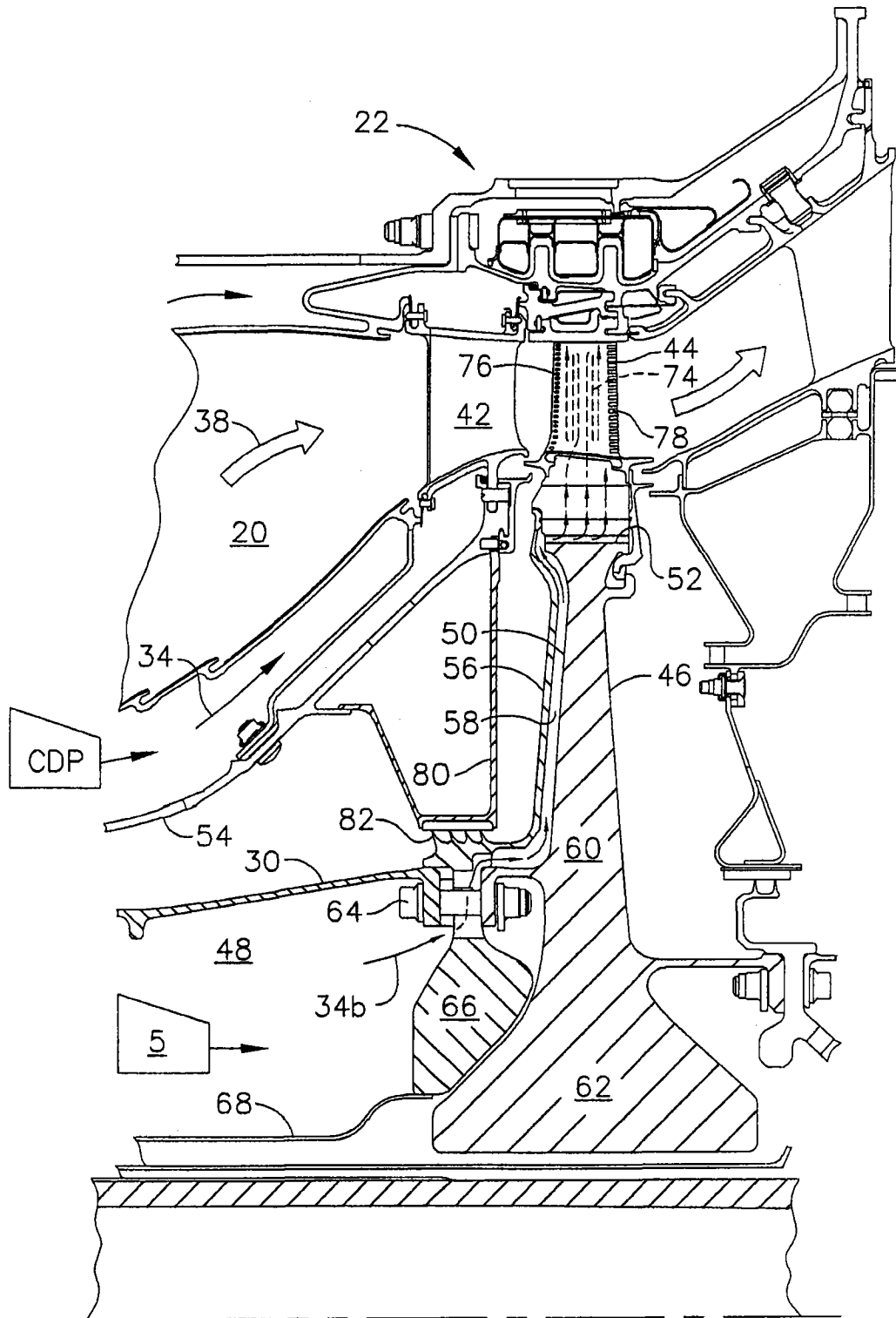


图 3

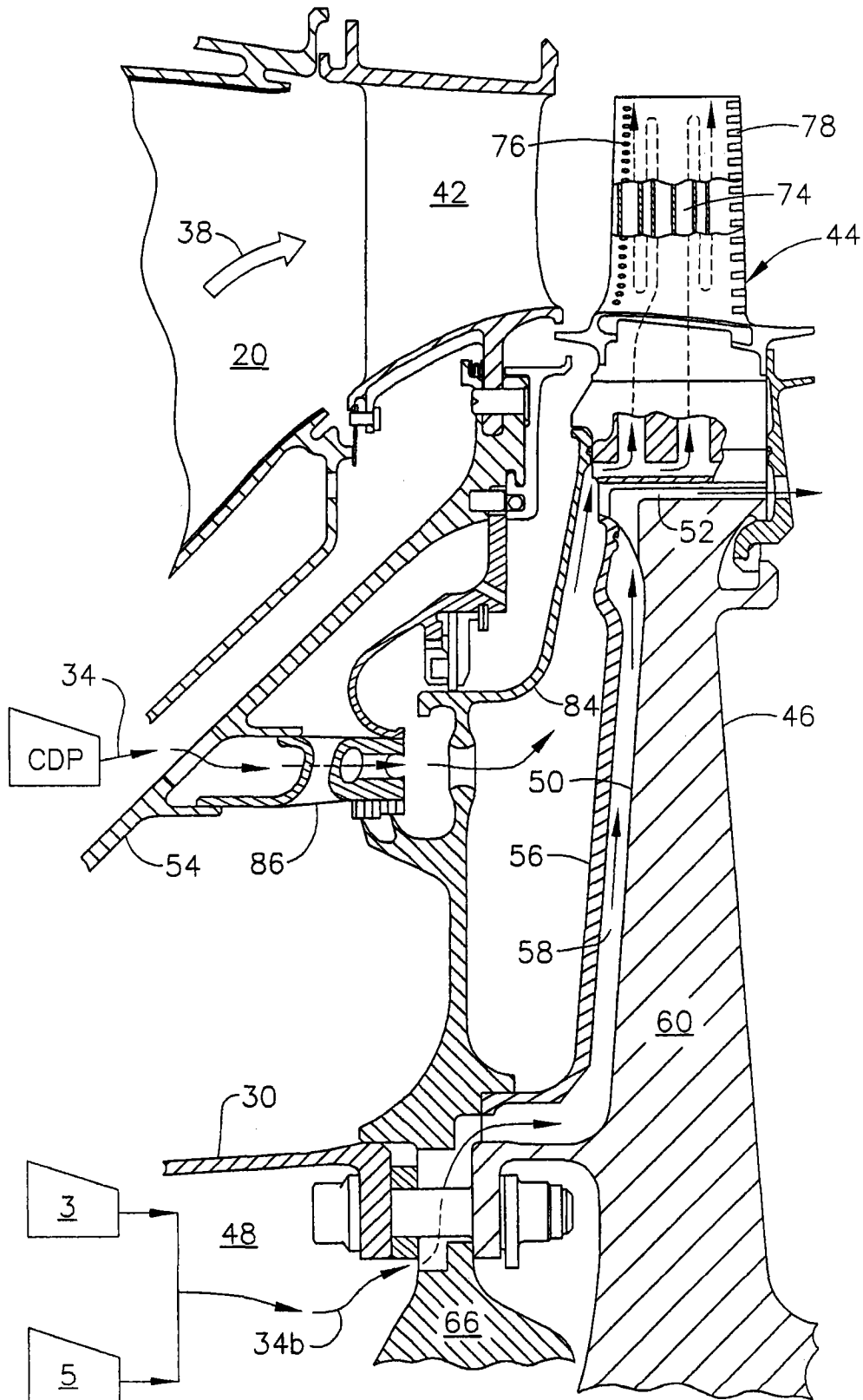


图 4