



## (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107023662 A

(43)申请公布日 2017. 08. 08

(21)申请号 201610843619.8

F02C 7/06(2006.01)

(22)申请日 2016.09.23

(30)优先权数据

14/865239 2015.09.25 US

(71)申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72)发明人 W.H.黑斯廷 K.L.费希尔

D.A.布拉德利 J.R.迪克曼

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 严志军 谭祐祥

(51)Int.Cl.

F16H 57/08(2006.01)

F16C 19/38(2006.01)

F16C 33/58(2006.01)

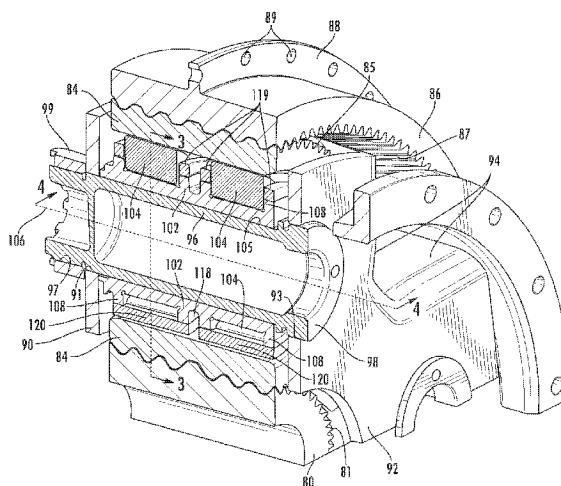
权利要求书2页 说明书12页 附图6页

### (54)发明名称

具有高长度与直径比的滚子的双排圆柱形滚子轴承

### (57)摘要

本发明涉及具有高长度与直径比的滚子的双排圆柱形滚子轴承。具体而言,提供了一种用于连接到周转轮系布置的托架的行星齿轮箱,周转轮系布置具有单个输入和单个输出,且包括太阳齿轮(80)、环形齿轮(86)和可在圆柱滚子轴承上旋转的至少一个双螺旋行星齿轮(84),其中各个圆柱形滚子(104)的长度与直径比超过1.0。燃气涡轮发动机(10)包括将压缩机区段的压缩机(22)联接到涡轮区段的涡轮(30)的轴(36)。周转轮系布置具有来自联接到太阳齿轮(80)的轴(36)的单个输入、来自托架的单个输出,其联接到风扇(38)的轴(45),且包括具有圆柱形滚子(104)的行星齿轮箱,圆柱形滚子(104)具有超过1.0的长度与直径比。



1. 一种用于连接到周转轮系布置的托架的行星齿轮箱,所述周转轮系布置仅具有单个输入和单个输出,且包括太阳齿轮(80)和沿周向围绕所述行星齿轮箱和所述太阳齿轮(80)设置的环形齿轮(86),所述行星齿轮箱包括:

支撑销(96),其构造成固定至所述托架,且限定与在轴向方向(A)上延伸的中心轴线(106)等距的圆柱形外表面(101);

内圈(102),其限定圆柱形内表面(112),所述圆柱形内表面(112)非可旋转地连接到所述支撑销(96)的圆柱形外表面(101),所述内圈(102)限定外表面,所述外表面限定至少一个轨道,限定在所述外表面中的各个轨道构造成在其中接纳和可旋转地引导相应多个圆柱形滚子(104);

可旋转地设置在所述内圈(102)的各个相应轨道内的相应多个圆柱形滚子(104);

外圈,其限定接触相应多个圆柱形滚子(104)中的各个的圆柱形内部表面(103),所述外圈限定圆柱形外表面,其限定构造成与所述太阳齿轮(80)和所述环形齿轮(86)两者啮合的齿轮装置表面(85);

其中各个圆柱形滚子(104)限定圆柱形外表面(114),其设置成具有在平行于所述轴向方向的方向上延伸的旋转轴线,且各个圆柱形滚子(104)的所述圆柱形外表面(114)由沿正交于所述旋转轴线的方向延伸穿过所述旋转轴线的直径限定;以及

其中各个圆柱形滚子(104)的外圆柱形表面限定平行于所述圆柱形滚子(104)的旋转轴线的方向上的长度,且各个圆柱形滚子的长度(L)与各个圆柱形滚子的直径(D)的比率大于一。

2. 根据权利要求1所述的行星齿轮箱,其特征在于,各个圆柱形滚子的长度(L)与各个圆柱形滚子的直径(D)的比率大于1.3。

3. 根据权利要求1所述的行星齿轮箱,其特征在于,各个圆柱形滚子(104)具有落入1.3到1.8的范围内的长度与直径比,包含1.8。

4. 根据权利要求1所述的行星齿轮箱,其特征在于,所述外圈的齿轮装置表面为双螺旋齿轮装置表面,具有所述外圈的两个双螺旋齿轮装置表面中的每一个与所述外圈的两个双螺旋齿轮装置表面中的另一个不平行地设置的偏移。

5. 根据权利要求1所述的行星齿轮箱,其特征在于,所述行星齿轮箱还包括用于各个相应轨道的相应滚子保持架,其设置在所述内圈(102)与所述外圈之间,且构造成在各个相应轨道中保持相应轨道中的各对相邻圆柱形滚子(104)中的各个相应圆柱形滚子(104)之间的相应分离,其中各个相应轨道由成对的导轨限定,所述导轨在所述轴向方向上与彼此间隔开且沿周向围绕所述内圈(102)延伸,且向各个相应滚子保持架提供相应的引导表面。

6. 根据权利要求1所述的行星齿轮箱,其特征在于,所述内圈(102)的内圆柱形表面压配到所述支撑销(96)的圆柱形外表面(101)。

7. 根据权利要求1所述的行星齿轮箱,其特征在于,所述圆柱形滚子(104)中的每一个由陶瓷材料形成。

8. 一种燃气涡轮发动机(10),包括:

风扇(38),其包括多个叶片(40),所述叶片(40)从毂(48)沿径向延伸,且可围绕穿过所述毂(48)居中地限定的第一旋转轴线(12)旋转;

压缩机区段,其设置在所述风扇(38)下游且包括一个或多个压缩机(22,24);

位于所述压缩机区段下游的涡轮区段,所述涡轮区段包括一个或多个涡轮(28,30);

可旋转的输入轴(36),其机械地联接所述压缩机区段的所述一个或多个压缩机(22)中的至少一个,以与所述涡轮区段的所述一个或多个涡轮(30)中的至少一个一致地旋转;

周转轮系布置,其仅具有单个输入和单个输出,且包括托架、可围绕平行于所述第一旋转轴线(12)的第二旋转轴线旋转的太阳齿轮(80)、周向地围绕所述太阳齿轮(80)设置的环形齿轮(86)、至少一个行星齿轮箱,所述行星齿轮箱由所述托架承载且容纳可相对于所述托架围绕平行于所述第一旋转轴线(12)的第三旋转轴线(106)旋转的行星齿轮(84),所述至少一个行星齿轮(84)与所述太阳齿轮(80)和所述环形齿轮(86)两者啮合;以及

发动机封壳(50),其包绕所述风扇(38)、所述压缩机(22,24)、所述涡轮(30,32)和所述周转轮系布置,其中所述环形齿轮(86)和所述托架中仅一者非可旋转地联接到所述发动机封壳(50);且

所述行星齿轮箱还包括:

支撑销(96),其固定到所述托架,且限定与在轴向方向上延伸的中心轴线(106)等距的圆柱形外表面(101),

内圈(102),其限定圆柱形内表面(112),所述圆柱形内表面(112)非可旋转地连接到所述支撑销(96)的圆柱形外表面(101),所述内圈(102)限定外表面,所述外表面限定至少一个轨道,其构造成在其中接纳和可旋转地引导相应多个圆柱形滚子(104),

外圈,其限定内圆柱形表面(103)和外圆柱形表面,所述外圆柱形表面限定所述行星齿轮(84)的齿轮装置表面(85),且构造成与所述太阳齿轮(80)和所述环形齿轮(86)两者啮合,

多个圆柱形滚子(104),其中各个圆柱形滚子(104)分布在所述内圈(102)的各个轨道之间,各个圆柱形滚子(104)围绕平行于所述第二旋转轴线的第四旋转轴线自由旋转,各个圆柱形滚子(104)限定接触所述内圈(102)和所述外圈(84)的圆柱形内表面(103)两者的圆柱形外表面(114),各个圆柱形滚子限定平行于所述第三旋转轴线的方向上的长度(L),且其中各个圆柱形滚子(104)的长度(L)与直径(D)比大于一。

9.根据权利要求8所述的燃气涡轮发动机,其特征在于,所述压缩机区段的所述一个或多个压缩机包括低压压缩机(22),其中所述涡轮区段的所述一个或多个涡轮包括低压涡轮(30),且其中所述轴为将所述低压压缩机(22)机械地联接到所述低压涡轮(30)的低压轴(36)。

10.根据权利要求8所述的燃气涡轮发动机,其特征在于,各个圆柱形滚子(104)具有落入1.3到1.8的范围内的长度与直径比,包含1.8。

## 具有高长度与直径比的滚子的双排圆柱形滚子轴承

### 技术领域

[0001] 本主题大体上涉及圆柱滚子轴承,或更具体地涉及用于燃气涡轮发动机中的周转齿轮箱中的行星齿轮的圆柱滚子轴承。

### 背景技术

[0002] 燃气涡轮发动机大体上包括布置成与彼此流动连通的风扇和核心,其中核心在穿过燃气涡轮的流的方向上设置在风扇下游。燃气涡轮发动机的核心大体上包括成串流顺序的:压缩机区段、燃烧区段、涡轮区段和排气区段。就多轴涡轮发动机而言,压缩机区段可包括设置在低压压缩机(LP压缩机)下游的高压压缩机(HP压缩机),且涡轮区段可类似地包括设置在高压涡轮(HP涡轮)下游的低压涡轮(LP涡轮)。就此构造而言,HP压缩机经由高压轴(HP轴)与HP涡轮联接,且LP压缩机经由低压轴(LP轴)与LP涡轮联接。

[0003] 在操作中,越过风扇的空气中的至少一部分提供至核心的入口。空气的此部分由LP压缩机然后由HP压缩机逐渐地压缩,直到压缩空气到达燃烧区段。燃料在燃烧区段内与压缩的空气混合且燃烧以提供燃烧气体。燃烧气体从燃烧区段传送穿过HP涡轮且然后穿过LP涡轮。穿过涡轮区段的燃烧气体的流驱动HP涡轮和LP涡轮,其中每一个继而又经由HP轴和LP轴驱动HP压缩机和LP压缩机中的相应一个。燃烧气体然后传送穿过排气区段,例如,至大气。

[0004] LP涡轮驱动LP轴,其驱动LP压缩机。除驱动LP压缩机之外,LP轴可通过周转轮系布置的风扇齿轮箱驱动风扇,其允许风扇为了更高效率而在低于LP轴的转速的每单位时间转数下旋转。风扇齿轮箱可旋转地支撑太阳齿轮,其相对于环形齿轮和多个行星齿轮居中地设置,行星齿轮围绕太阳齿轮设置,且接合在太阳齿轮与环形齿轮之间。LP轴通过联接到太阳齿轮来将输入提供至周转轮系布置,而风扇联接以与行星齿轮的托架一致地旋转。各个行星齿轮与太阳齿轮且与环形齿轮啮合,环形齿轮保持静止。风扇的轴可在其自身的轴承上旋转,该轴承容纳在太阳齿轮箱中,太阳齿轮箱也称为固定到托架的旋转中心区域的风扇齿轮箱。各个行星齿轮可在其自身的轴承上旋转,该轴承容纳在行星齿轮箱内,其固定到托架的外周区域。

[0005] 对于任何给定的燃气涡轮发动机应用,行星齿轮都设计成提供LP轴的转速与风扇轴的转速之间的固定减速比。由于容纳各个行星齿轮的各个行星齿轮箱设置在燃气涡轮发动机的流动通路内,故挑战在于设计出一方面满足发动机的所有飞行状态的可靠且稳健的行星齿轮箱,同时另一方面设计出足够紧凑来以不需要整个发动机尺寸相比为了适应行星齿轮箱另外所需的更大且更重的方式配合在流动通路内的行星齿轮箱。

[0006] 陶瓷滚动元件重量较轻,且已知提供比钢滚子更长的寿命,然而陶瓷滚子元件以球形滚子轴承或球滚子轴承的形式使用,其并不轴向地顺应且因此与一些螺旋齿轮构造不相容。

[0007] 因此,具有用于减小风扇与LP轴之间的周转轮系所需的封壳的一个或多个构件的燃气涡轮发动机将是有用的。具体而言,具有用于减小容纳了行星齿轮装置的行星齿轮的

行星齿轮箱所需的封壳的一个或多个构件的燃气涡轮发动机将是特别有益的。

## 发明内容

[0008] 本发明的方面和优点将在以下描述中部分地阐述,或可从描述中清楚,或可通过实施本发明学习到。

[0009] 在本公开内容的一个示例性实施例中,提供了一种用于燃气涡轮发动机的动力齿轮箱的行星齿轮的轴承。轴承意在用于周转轮系布置。在一个示例性行星实施例中,各个行星齿轮与太阳齿轮输入和静止的环形齿轮啮合,以将减小转速的输出给予行星齿轮的托架。在另一个示例性星形实施例中,各个行星齿轮与太阳齿轮输入啮合,而托架保持静止,以将减小减速的输入给予环形齿轮。输入由涡扇发动机的LP轴的旋转提供,且输出提供成使涡扇发动机的风扇轴旋转。行星轴承为内圈引导的,且内圈为具有至少一个滚子轨道的单件。滚子保持架设计成具有到内圈的小空隙。行星齿轮、太阳齿轮和环形齿轮中的各个上的齿期望地以双螺旋模式布置,使得行星齿轮由太阳齿轮和环形齿轮两者沿轴向约束。轴承使用多个圆柱形滚子,其具有可旋转地接触内圈和外圈两者的外圆柱形表面,其由行星齿轮的圆柱形内表面形成。各个滚子的外圆柱形表面具有比滚子的直径的一倍大且期望地比直径的1.3倍大以及达到和包括直径的1.8倍的轴向长度。

[0010] 在本公开内容的另一个示例性实施例中,一种燃气涡轮发动机设有动力齿轮箱,其包括由行星轴承可旋转地支撑的行星齿轮。燃气涡轮发动机包括包含低压压缩机的压缩机区段,以及位于压缩机区段下游的涡轮区段。涡轮区段包括高压(HP)涡轮和低压(LP)涡轮。燃气涡轮发动机还包括低压轴,其经由周转轮系布置将低压压缩机机械地联接到低压涡轮,周转轮系布置包括如上文概述和下文更详细描述的一个或多个行星轴承。

[0011] 技术方案1. 一种用于连接到周转轮系布置的托架的行星齿轮箱,所述周转轮系布置仅具有单个输入和单个输出,且包括太阳齿轮和沿周向围绕所述行星齿轮箱和所述太阳齿轮设置的环形齿轮,所述行星齿轮箱包括:

支撑销,其构造成固定至所述托架,且限定与在轴向方向上延伸的中心轴线等距的圆柱形外表面;

内圈,其限定圆柱形内表面,所述圆柱形内表面非可旋转地连接到所述支撑销的圆柱形外表面,所述内圈限定外表面,所述外表面限定至少一个轨道,限定在所述外表面中的各个轨道构造成在其中接纳和可旋转地引导相应多个圆柱形滚子;

可旋转地设置在所述内圈的各个相应轨道内的相应多个圆柱形滚子;

外圈,其限定接触相应多个圆柱形滚子中的各个的内圆柱形表面,所述外圈限定外圆柱形表面,其限定构造成与所述太阳齿轮和所述环形齿轮两者啮合的齿轮装置表面;

其中各个圆柱形滚子限定圆柱形外表面,其设置成具有在平行于所述轴向方向的方向上延伸的旋转轴线,且各个圆柱形滚子的所述圆柱形外表面由沿正交于所述旋转轴线的方向延伸穿过所述旋转轴线的直径限定;以及

其中各个圆柱形滚子的外圆柱形表面限定平行于所述圆柱形滚子的旋转轴线的方向上的长度,且各个圆柱形滚子的长度与各个圆柱形滚子的直径的比率大于一。

[0012] 技术方案2. 根据技术方案1所述的行星齿轮箱,其中,各个圆柱形滚子的长度与各个圆柱形滚子的直径的比率大于1.3。

[0013] 技术方案3. 根据技术方案1所述的行星齿轮箱,其中,各个圆柱形滚子具有落入1.3到1.8的范围内的长度与直径比,包含1.8。

[0014] 技术方案4. 根据技术方案1所述的行星齿轮箱,其中,各个圆柱形滚子的所述圆柱形外表面的至少中心区段沿所述圆柱形滚子的轴向长度的中心区段与所述旋转轴线等距一致地设置。

[0015] 技术方案5. 根据技术方案1所述的行星齿轮箱,其中,所述外圈的齿轮装置表面为双螺旋齿轮装置表面,具有所述外圈的两个双螺旋齿轮装置表面中的每一个与所述外圈的两个双螺旋齿轮装置表面中的另一个不平行地设置的偏移。

[0016] 技术方案6. 根据技术方案1所述的行星齿轮箱,其中,所述行星齿轮箱还包括用于各个相应轨道的相应滚子保持架,其设置在所述内圈与所述外圈之间,且构造成在各个相应轨道中保持相应轨道中的各对相邻圆柱形滚子中的各个相应圆柱形滚子之间的相应分离,其中各个相应轨道由成对的导轨限定,所述导轨在所述轴向方向上与彼此间隔开且沿周向围绕所述内圈延伸,且向各个相应滚子保持架提供相应的引导表面。

[0017] 技术方案7. 根据技术方案6所述的行星齿轮箱,其中,各个相应滚子保持架限定周向排,相应滚子保持架的各个周向排设置在所述内圈的相应轨道上方,各个周向排限定多个大体上圆柱形的开口,各个大体上圆柱形的开口限定所述轴向方向上的主轴线和周向方向上的副轴线,各排中的开口沿周向围绕相应滚子保持架等距间隔开,其中各排中的开口的数目等于设置在相应滚子保持架的相应排下方的相应轨道中的圆柱形滚子的数目,其中各个相应圆柱形滚子设置成使其圆柱形外表面延伸穿过由相应滚子保持架限定的相应开口。

[0018] 技术方案8. 根据技术方案1所述的行星齿轮箱,其中,各个相应轨道沿周向围绕所述内圈的外表面延伸,成对轨道中的每一个在所述轴向方向上与所述成对轨道中的另一个间隔开,所述成对轨道中的每一个设置成在周向方向上相对于所述成对轨道中的另一个平行,所述成对轨道中的每一个限定滚道表面,其相对于所述内圈的内圆柱形表面沿周向且同心地延伸,且接触设置在相应轨道中的所述圆柱形滚子的各个圆柱形外表面的一部分,所述成对轨道中的各个限定成对的沿径向延伸的侧壁,其沿所述轴向方向与彼此间隔开。

[0019] 技术方案9. 根据技术方案1所述的行星齿轮箱,其中,所述内圈的内圆柱形表面压配到所述支撑销的圆柱形外表面。

[0020] 技术方案10. 根据技术方案1所述的行星齿轮箱,其中,所述圆柱形滚子中的每一个由陶瓷材料形成。

[0021] 技术方案11. 一种燃气涡轮发动机,包括:

风扇,其包括多个叶片,所述叶片从毂沿径向延伸,且可围绕穿过所述毂居中地限定的第一旋转轴线旋转;

压缩机区段,其设置在所述风扇下游且包括一个或多个压缩机;

位于所述压缩机区段下游的涡轮区段,所述涡轮区段包括一个或多个涡轮;

可旋转的输入轴,其机械地联接所述压缩机区段的所述一个或多个压缩机中的至少一个,以与所述涡轮区段的所述一个或多个涡轮中的至少一个一致地旋转;

周转轮系布置,其仅具有单个输入和单个输出,且包括托架、可围绕平行于所述第一旋

转轴线的第二旋转轴线旋转的太阳齿轮、周向地围绕所述太阳齿轮设置的环形齿轮、至少一个行星齿轮箱,所述行星齿轮箱由所述托架承载且容纳可相对于所述托架围绕平行于所述第一旋转轴线的第三旋转轴线旋转的行星齿轮,所述至少一个行星齿轮与所述太阳齿轮和所述环形齿轮两者啮合;以及

发动机封壳,其包绕所述风扇、所述压缩机、所述涡轮和所述周转轮系布置,其中所述环形齿轮和所述托架中仅一者非可旋转地联接到所述发动机封壳;且

所述行星齿轮箱还包括:

支撑销,其固定到所述托架,且限定与在轴向方向上延伸的中心轴线等距的圆柱形外表面,

内圈,其限定圆柱形内表面,所述圆柱形内表面非可旋转地连接到所述支撑销的圆柱形外表面,所述内圈限定外表面,所述外表面限定至少一个轨道,其构造成在其中接纳和可旋转地引导相应的多个圆柱形滚子,

外圈,其限定内圆柱形表面和外圆柱形表面,所述外圆柱形表面限定所述行星齿轮的齿轮装置表面,且构造成与所述太阳齿轮和所述环形齿轮两者啮合,

多个圆柱形滚子,其中各个圆柱形滚子分布在所述内圈的各个轨道之间,各个圆柱形滚子围绕平行于所述第二旋转轴线的第四旋转轴线自由旋转,各个圆柱形滚子限定接触所述内圈和所述外圈的圆柱形内表面两者的圆柱形外表面,各个圆柱形滚子限定平行于所述第三旋转轴线的方向上的长度,且其中各个圆柱形滚子的长度与直径比大于一。

[0022] 技术方案12. 根据技术方案11所述的燃气涡轮发动机,其中,所述压缩机区段的所述一个或多个压缩机包括低压压缩机,其中所述涡轮区段的所述一个或多个涡轮包括低压涡轮,且其中所述轴为将所述低压压缩机机械地联接到所述低压涡轮的低压轴。

[0023] 技术方案13. 根据技术方案11所述的行星齿轮箱,其中,各个圆柱形滚子的长度与各个圆柱形滚子的直径的比率大于1.3。

[0024] 技术方案14. 根据技术方案11所述的燃气涡轮发动机,其中,各个圆柱形滚子具有落入1.3到1.8的范围内的长度与直径比,包含1.8。

[0025] 技术方案15. 根据技术方案11所述的行星齿轮箱,其中,各个圆柱形滚子的圆柱形外表面的至少中心区段沿所述圆柱形滚子的轴向长度的中心区段与所述旋转轴线等距一致地设置。

[0026] 技术方案16. 根据技术方案11所述的行星齿轮箱,其中,各个圆柱形外圈的齿轮装置表面为双螺旋齿轮装置表面,具有所述外圈的两个双螺旋齿轮装置表面中的每一个与所述外圈的两个双螺旋齿轮装置表面中的另一个不平行地设置的偏移。

[0027] 技术方案17. 根据技术方案11所述的行星齿轮箱,其中,所述行星齿轮箱还包括相应的滚子保持架,其设置在所述内圈与所述外圈之间,且构造成在各个相应轨道中保持相应轨道中的各对相邻圆柱形滚子中的各个相应圆柱形滚子之间在周向方向上的相应分离,其中各个相应轨道由成对的导轨限定,所述导轨在所述轴向方向上与彼此间隔开,且沿周向围绕所述内圈延伸,且向各个相应滚子保持架提供相应的引导表面。

[0028] 技术方案18. 根据技术方案17所述的行星齿轮箱,其中,所述滚子保持架限定第一周向排和在所述轴向方向上与所述第一周向排分开的第二周向排,所述滚子保持架的各个周向排设置在所述内圈的成对轨道中的相应轨道上方,各个周向排限定多个大体上圆柱

形的开口,各个大体上圆柱形的开口限定所述轴向方向上的主轴线和所述周向方向上的副轴线,各排中的所述开口沿周向围绕所述罩等距间隔开,其中各排中的开口的数目等于设置在所述滚子保持架的相应排下方的成对轨道中的相应一个中的圆柱形滚子的数目,其中各个相应圆柱形滚子设置成使得其圆柱形表面延伸穿过由所述滚子保持架限定的相应开口。

[0029] 技术方案19. 根据技术方案11所述的行星齿轮箱,其中,所述内圈的外表面与所述内圈的内圆柱形表面同心,各个相应轨道沿周向围绕所述内圈的外表面延伸,各个相应轨道在所述轴向方向上与任何其它相应轨道分开,各个相应轨道设置成在所述周向方向上相对于任何其它相应轨道平行。

[0030] 技术方案20. 根据技术方案11所述的行星齿轮箱,其中,所述内圈的内圆柱形表面压配到所述支撑销的圆柱形外表面。

[0031] 本发明的这些及其它特征、方面和优点将参照以下描述和所附权利要求变得更好理解。结合到本说明书中且构成说明书的一部分的附图示出了本发明的实施例,且连同描述用于解释本发明的原理。

## 附图说明

[0032] 包括针对本领域的普通技术人员的其最佳模式的本发明的完整且开放的公开内容在参照附图的说明书中提出,在附图中:

图1为根据本公开内容的各种实施例的示例性燃气涡轮发动机的示意性截面视图。

[0033] 图2为图1的示例性燃气涡轮发动机的风扇轴与LP轴之间的周转轮系的一个四分之一段的局部透视和局部截面视图。

[0034] 图3为大体上沿图2中表示为3-3的视线截取的截面视图。

[0035] 图4为大体上沿图2中表示为4-4的视线截取的截面视图。

[0036] 图5为图2的示例性齿轮装置布置的分解的示例性构件的升高透视图。

[0037] 图6为由图4中的数字6表示的圈内示出的内容的放大视图。

[0038] 构件清单

- 10 涡扇喷气发动机
- 12 纵向或轴向中心线
- 14 风扇区段
- 16 核心涡轮发动机
- 18 外壳
- 20 入口
- 22 低压压缩机
- 24 高压压缩机
- 26 燃烧区段
- 28 高压涡轮
- 30 低压涡轮
- 32 喷气排气区段
- 34 高压轴/转轴

- 36 低压轴/转轴
- 38 风扇
- 40 叶片
- 42 盘
- 44 促动部件
- 45 风扇轴
- 46 动力齿轮箱
- 48 机舱
- 50 风扇壳或机舱
- 52 出口导向导叶
- 54 下游区段
- 56 旁通空气流通路
- 58 空气
- 60 入口
- 62 空气的第一部分
- 64 空气的第二部分
- 66 燃烧气体
- 68 定子导叶
- 70 涡轮转子叶片
- 72 定子导叶
- 74 涡轮转子叶片
- 76 风扇喷嘴排气区段
- 78 热气体通路
- 80 太阳齿轮
- 81 太阳齿轮80的齿轮齿
- 84 行星齿轮
- 85 行星齿轮84的齿轮齿
- 86 环形齿轮
- 87 环形齿轮86的齿轮齿
- 88 环形齿轮86的中心周向凸缘
- 89 穿过凸缘88的轴向孔
- 90 托架的前壁
- 91 穿过前壁90的开孔
- 92 托架的后壁
- 93 穿过后壁92的开孔
- 94 托架的沿轴向延伸的侧壁
- 96 销
- 97 销96的带螺纹的直径减小的表面
- 98 销96的环形的沿径向向外延伸的凸缘

- 99 销96的固持件
- 101 销96的圆柱形外表面101
- 102 内圈
- 103 行星齿轮84的圆柱形内表面
- 104 圆柱形滚子
- 106 销96的中心轴线和行星齿轮84的旋转轴线
- 107 内圈102的前滚道
- 108 内圈102的凸起的导轨
- 109 内圈102的后滚道
- 110 由凸起的导轨108限定的侧壁
- 112 内圈102的圆柱形内表面
- 114 滚子104的圆柱形外表面
- 118 滚子保持架
- 119 滚子保持架118的肩部元件
- 120 滚子保持架118的腹板元件。

### 具体实施方式

[0039] 现在将详细参照本发明的实施例,其一个或多个示例在附图中示出。该详细描述使用了数字和字母标号来表示附图中的特征。附图和描述中相似或类似的标号用于表示本发明的相似或类似的部分。如本文使用的用语“第一”、“第二”和“第三”可互换使用,以将一个构件与另一个区分开,且不意在表示独立构件的位置或重要性。用语“上游”和“下游”是指相对于流体通路中的流体流的相对方向。例如,“上游”是指流体从其流动的方向,且“下游”指示流体流至的方向。如本文使用的流体可为气体(诸如空气)或液体(诸如润滑剂)。

[0040] 现在参照附图,其中相同的数字表示贯穿附图的相同元件,图1为根据本公开内容的示例性实施例的燃气涡轮发动机的示意性截面视图。更具体而言,对于图1的实施例,燃气涡轮发动机为本文称为“涡扇发动机10”的高旁通涡扇喷气发动机10。如图1中所示,涡扇发动机10限定轴向方向A(平行于为了参照提供的纵向中心线12延伸)和与轴向方向A正交的径向方向R。大体上,涡扇10包括风扇区段14和设置在风扇区段14下游的核心涡轮发动机16。

[0041] 绘出的示例性核心涡轮发动机16大体上包括大致管状的外壳18,其限定环形入口20。如图1中示意性所示,外壳18以串流关系包围:压缩机区段,其包括增压器或低压(LP)压缩机22,下游后接高压(HP)压缩机24;燃烧区段26;涡轮区段,其包括高压(HP)涡轮28,下游后接低压(LP)涡轮30;以及喷气排气喷嘴区段32。高压(HP)轴或转轴34将HP涡轮28传动地连接到HP压缩机24。低压(LP)轴或转轴36将LP涡轮30传动地连接到LP压缩机22以使它们一致地旋转。压缩机区段、燃烧区段26、涡轮区段和喷嘴区段32一起限定核心空气流动通路。

[0042] 对于图1中绘出的实施例,风扇区段14包括可变桨距风扇38,其具有以间隔开的方式联接至盘42的多个风扇叶片40。如图1中绘出的那样,风扇叶片40从盘42大体上沿径向方向R向外延伸。各个风扇叶片40可通过风扇叶片40相对于盘42围绕桨距轴线P旋转,风扇叶片40可操作地联接到适合的促动部件44,促动部件44构造成一致地共同改变风扇叶片40的

桨距。风扇叶片40、盘42和促动部件44可经由风扇轴45一起围绕纵轴线12旋转,风扇轴45由跨过动力齿轮箱46的LP轴36供以动力。动力齿轮箱46包括用于将风扇轴45且因此风扇38相对于LP轴36的转速调整至更有效的风扇转速的多个齿轮。

[0043] 仍参看图1的示例性实施例,盘42由空气动力轮廓的可旋转的前毂48覆盖,以促进空气流穿过多个风扇叶片40。此外,示例性风扇区段14包括环形风扇壳或外机舱50,其沿周向包绕风扇38和/或核心涡轮发动机16的至少一部分。应当认识到的是,机舱50可构造成由多个沿周向间隔开的出口导向导叶52相对于核心涡轮发动机16支撑。作为备选,机舱50也可由结构风扇框架的支柱支撑。此外,机舱50的下游区段54可在核心涡轮发动机16的外部上延伸,以便限定其间的旁通空气流通路56。

[0044] 在涡扇发动机10的操作期间,大量空气58通过风扇区段14和/或机舱50的相关联的入口60进入涡扇10中。当大量空气58穿过风扇叶片40时,如由箭头62指出的空气58的第一部分引导或传送到旁通空气流通路56中,且如由箭头64指出的空气58的第二部分引导或传送到核心空气流动通路的上游区段中,或更具体而言进入LP压缩机22的入口20中。空气的第一部分62与空气的第二部分64之间的比率通常称为旁通比。空气的第二部分64的压力然后在其传送穿过高压(HP)压缩机24且进入压缩区段26时增大,在该处其与燃料混合且燃烧以提供燃烧气体66。

[0045] 燃烧气体66传送进入且膨胀穿过HP涡轮28,在该处,来自燃烧气体66的热能和/或动能的一部分经由联接到外壳18的HP涡轮定子导叶68和联接到HP轴或转轴34的HP涡轮转子叶片70的连续级获得,因此引起HP轴或转轴34旋转,从而支持HP压缩机24的操作。燃烧气体66然后传送进入且膨胀穿过LP涡轮30,在该处,热能和动能的第二部分从燃烧气体66经由联接到外壳18的LP涡轮定子导叶72和联接到LP轴或转轴36的LP涡轮转子叶片74的连续级获得,因此引起LP轴或转轴36旋转,从而经由动力齿轮箱46支持LP压缩机22的操作和风扇38的旋转。

[0046] 燃烧气体66随后传送穿过核心涡轮发动机16的喷气排气喷嘴区段32来提供推力。同时,空气的第一部分62的压力在空气的第一部分62在其从涡扇10的风扇喷嘴排气区段76排出之前传送穿过旁通空气流通路56时显著增大,也提供推力。HP涡轮28、LP涡轮30和喷气排气喷嘴区段32至少部分地限定热气体通路78,以用于将燃烧气体66传送穿过核心涡轮发动机16。

[0047] 然而,应当认识到的是,图1中绘出的示例性风扇发动机10仅作为示例,且在其它示例性实施例中,涡扇发动机10可具有任何其它适合的构造。例如,在其它示例性实施例中,风扇38可以以任何其它适合的方式(例如,作为固定桨距风扇)构造,且还可使用任何其它适合的风扇框架构造支撑。此外,还应当认识到的是,在其它示例性实施例中,可使用任何其它适合的LP压缩机22构造。还应当认识到的是,在还有其它示例性实施例中,本公开内容的方面可结合到任何其它适合的燃气涡轮发动机中。例如,在其它示例性实施例中,本公开内容的方面例如可结合涡轮轴发动机、涡轮螺旋桨发动机、涡轮核心发动机、涡轮喷气发动机等。

[0048] 图2绘出了根据本公开内容的方面构造的动力齿轮箱46的部分。为了示出可旋转地支撑各个行星齿轮的行星轴承的特征的目的,图2示出了部分以透视且部分以截面提供且集中在期望用作动力齿轮箱46的构件的行星齿轮箱构造的示例性实施例的一个四分之

一区段的行星轴承部分上的视图。动力齿轮箱46为周转类型,且具有旋转中心轴线,其与图1中所示的纵轴线12重合。

[0049] 如图2中示意性所示,例如,动力齿轮箱46包括位于中心的太阳齿轮80,其可围绕图1中所示的纵轴线12旋转。旋转地支撑太阳齿轮80的轴承已从附图中省略,因为太阳齿轮80的轴承不是本公开内容的主题。太阳齿轮80期望地具有双螺旋模式的齿轮齿81。托架包绕太阳齿轮80,太阳齿轮80可相对于托架旋转。托架承载至少一个行星齿轮84且期望地行星齿轮84的环形阵列。在所示的示例中,存在四个行星齿轮84,但可使用不同数目的行星齿轮84。如图5中所示,各个行星齿轮84期望具有双螺旋模式的齿轮齿85,其构造成与太阳齿轮80的齿轮齿81啮合。

[0050] 如图2中示意性所示,例如,动力齿轮箱46期望地为周转轮系布置,其具有环形齿轮86,环形齿轮86沿周向围绕太阳齿轮80和行星齿轮84设置。在该特定实施例中,环形齿轮86以图1中未示出的方式联接到外壳18,因为该特定布置可以以任何数目的常规方式执行,其中任何一个都适用于示出本公开内容的示例性实施例的目的。例如,环形齿轮86可经由中心周向凸缘88固定(如通过机械地螺接或焊接)到外壳18,凸缘88钻有穿过其间的多个轴向孔89。在使用周转轮系布置的星形构造的备选实施例中,联接到外壳18的为托架,且该联接的细节对于本发明的期望方面的阐释不是必需的。然而,在两个实施例中,环形齿轮86与各个行星齿轮84可旋转地啮合,行星齿轮84也与太阳齿轮80可旋转地啮合,且因此环形齿轮86也期望具有构造成与行星齿轮84的齿85啮合的双螺旋模式的齿轮齿87。

[0051] 太阳齿轮80、行星齿轮84和环形齿轮86共同构成齿轮系。各个行星齿轮84与太阳齿轮80和环形齿轮86两者啮合。太阳齿轮80、行星齿轮84和环形齿轮86可由钢合金制成。本文构想的周转轮系布置期望地为行星构造,其仅具有单个输入和单个输出,且环形齿轮86保持静止。在操作中,太阳齿轮80由输入转动,输入为LP轴,而承载行星齿轮箱的托架联接到机械负载,机械负载为图1中所示的风扇轴45。因此,动力齿轮箱46以已知方式将太阳齿轮80的转速有效减小至适于联接到托架的负载的转速,即,风扇轴45的旋转。

[0052] 各个行星齿轮84由轴承可旋转地承载,轴承继而又由行星齿轮箱承载,行星齿轮箱继而又由托架承载。在理解到各个行星齿轮84相同地构造和安装(尽管到托架上的不同点)的情况下,将描述用于一个行星齿轮84的轴承的构造和安装。

[0053] 如图2和图4中示意性所示,例如,托架包括前壁90和沿与前壁90沿轴向间隔开的后壁92,且一起形成各个行星齿轮箱的托架的部分。前壁90和后壁92中的每一个相应地限定穿过其间的相应的同轴开孔91和93。托架期望地包括多个侧壁94,其在托架的前壁90与后壁92之间沿轴向延伸且连接前壁90和后壁92。期望地,成对的侧壁94设置在相应地限定在托架的前壁90和后壁92中的同轴开孔91、93的相对侧上。在使用周转轮系布置的行星构造的一个示例性实施例中,托架以常规方式非可旋转地联接到风扇轴45,使得它们在相同速度下一致地旋转,但此联接的方式对于本公开内容的理解不是关键的,且因此不必进一步论述。在使用周转轮系布置的星形构造的备选实施例中,以常规方式非可旋转地联接到风扇轴45的为环形齿轮,使得它们在相同速度下一致地旋转,但此联接的方式对于本公开内容的理解不是关键的,且因此不必进一步论述。

[0054] 如图2-图4和图6中所示,例如,支撑销96是中空、大体上圆柱形的,且具有前端和后端。支撑销96设置成将行星齿轮84的轴承安装到托架,且因此构造成固定到托架。如图2

中所示,例如,支撑销96的各个相对端接纳在限定于托架中的开孔91和93中的一个中。如图2和图4中所示,例如,支撑销96的前端包括带螺纹的减小直径的表面97,而后端包括环形的沿径向向外延伸的凸缘98。固持件99(在该示例中,带螺纹的锁紧螺母)在前端处接合减小直径的表面97,以相对于向后的轴向移动将支撑销96装固就位。

[0055] 例如,如图3和图6中所示,支撑销96限定圆柱形外表面101。如图2中所示,支撑销96的圆柱形外表面101与中心轴线106等距设置,中心轴线106沿轴向方向延伸穿过支撑销96。该中心轴线106还限定用于行星齿轮84的旋转轴线。

[0056] 支撑销96期望地包括形成在其中且沿径向延伸穿过其间的多个给送孔,但就本公开内容所关注而言,由于这些给送孔的数目和放置是常规的,它们都未在本文的附图中示出。在操作中,油给送穿过支撑销96的后端处的开口,且从油通过此给送孔流至内圈102的位置给送到中空支撑销96的内部中,提供了冷却和润滑两者。

[0057] 如图6中所示,例如,行星轴承包括内圈102,其限定圆柱形内表面112,内表面112非可旋转地连接到支撑销96的圆柱形外表面101。期望地,内圈102的内圆柱形表面112压配至支撑销96的圆柱形外表面101。行星轴承为内圈引导的,且因此内圈102期望地为单个整体构件,具有设置成与内表面112相对的外表面,其限定至少一个滚子轨道,轨道限定滚子滚道。各个相应的轨道由成对的导轨108限定,导轨108沿轴向方向与彼此间隔开,且沿周向围绕内圈102延伸,且将相应的引导表面提供至各个相应的滚子保持架118(下文更完整地描述)。如本文构想出的那样,内圈102可包括单个轨道或多个轨道,诸如双轨道内圈102或三轨道内圈102等。然而,本文的行星齿轮箱的结构和操作的阐释将使用双轨道内圈102的特定示例,因此获悉将如何适应额外轨道,或在双轨道中的一个消除之后单个轨道仍存在。因此,在双轨道实施例,内圈102的外表面包括两对凸起的导轨108,其沿周向方向围绕内圈102连续地延伸,且限定成对的环状滚道,分别是前滚道107和后滚道109。例如,如图6中示意性所示,成对轨道中的各个的凸起的导轨108限定沿轴向方向与彼此间隔开的一对沿径向延伸的侧壁110。各对凸起的导轨108的相应侧壁110限定成对滚道107、109中的一个的两个末端边缘,其形成限定在双轨道内圈102的外表面中的成对轨道中的一个的部分。具有沿轴向与彼此间隔开的双滚道107、109的单个内圈的使用提供了成组滚子104之间的良好同心,但也可使用两个单独的内圈。内圈102的轴向大小期望地尺寸确定为使得内圈102不可相对于托架的相对且沿轴向间隔开的壁90、92沿轴向移动。

[0058] 如图4中所示,例如,成对轨道中的各个沿周向围绕内圈102的外表面延伸。成对轨道中的各个沿轴向方向与成对轨道中的另一个分离。成对轨道中的各个设置成沿周向方向相对于成对轨道中的另一个平行。成对轨道中的各个限定滚道107或109的形式的表面,其相对于内圈102的圆柱形内表面112沿周向且同心地延伸。

[0059] 内圈102中的成对轨道中的各个构造成在其中接纳和可旋转地引导相应的多个圆柱形滚子104,其相对于行星轴承的内圈102和外圈两者自由旋转。因此,内圈102的滚道107、109在两个串列的环中接纳滚子104。第一多个圆柱形滚子104可旋转地设置在内圈102的成对轨道中的第一个内的滚道107上。类似地,第二多个圆柱形滚子104可旋转地设置在内圈102的成对轨道中的第二个内的滚道109上。因此,内圈102的滚道107、109接触设置在相应轨道中的圆柱形滚子104的各个圆柱形外表面114的一部分。

[0060] 暂且不说其各个相对端处的通常圆化的转角和冠半径,例如,如图2、图5和图6中

示意性示出,在轮廓视图中,各个滚子104具有一致的圆柱形形状。例如,如图5中所示,各个圆柱形滚子104限定圆柱形外表面114,其设置成具有中心旋转轴线,该轴线沿滚子104的轴向方向延伸,且沿平行于旋转地支撑的行星齿轮84的旋转轴线106的方向延伸。期望地,各个圆柱形滚子104的圆柱形外表面114的至少中心区段沿圆柱形滚子104的轴向长度的中心区段与滚子的中心旋转轴线一致地等距设置。例如,如图6中示意性所示,各个滚子104的各个相对端将具有通常圆化的转角。尽管常规的相称的冠半径太小而在任何附图中不可辨别,但圆化转角和冠半径用于减小那些端部位置处的滚子104的圆柱形外表面114的直径。在各个相对端处由圆化转角和冠半径界定的为各个滚子104的圆柱形外表面114的中心区段,且在行星轴承的操作期间与内圈102的相应滚道107、109接触的表面为圆柱形外表面114的该中心区段。

[0061] 如图6中所示,例如,各个圆柱形滚子104的圆柱形外表面114由直径D限定,直径D沿在滚子104的轴向长度的中心区段处正交于滚子104的中心旋转轴线的方向延伸穿过滚子104的中心旋转轴线。如图6中示意性所示,例如,各个圆柱形滚子104的外圆柱表面114限定长度L,其沿平行于圆柱形滚子104的旋转轴线的方向从滚子104的一端到滚子104的相对端测得且包括具有圆化转角和冠半径的部分。各个圆柱形滚子的长度L与各个圆柱形滚子的直径D的比率大于一。期望地,各个圆柱形滚子的长度与各个圆柱形滚子的直径的比率大于1.3。例如,具有32mm的直径D的滚子期望地具有53mm的长度L。期望地,各个圆柱形滚子104具有落入1.3到1.8(包含)的范围内的长度与直径比(L/D)。圆柱形滚子104可包括已知成分的陶瓷材料,例如,氮化硅( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )。

[0062] 如图3和图6中所示,例如,行星轴承的外圈由行星齿轮84的圆柱形内圈103形成。因此,行星轴承的内圈84限定外圆柱形表面,其限定齿轮装置表面85,该表面85构造成与太阳齿轮80的齿轮装置表面81和环形齿轮86的齿轮装置表面87两者啮合。期望地,如图5中所示,例如,各个圆柱形外圈84的齿轮装置表面85为双螺旋齿轮装置表面,具有外圈84的两个双螺旋齿轮装置表面中的每一个与外圈的两个双螺旋齿轮装置表面中的另一个不平行地设置的偏移。

[0063] 由于各个齿轮啮合(太阳与行星和行星与环形)具有双螺旋齿轮齿廓,故在平行于轴线A的方向上不可能有太阳齿轮80与行星齿轮84之间的相对移动。在行星齿轮84与环形齿轮86之间也没有沿该方向的任何移动。双螺旋模式沿轴向将行星齿轮84约束至太阳齿轮80和环形齿轮84两者,且行星齿轮84安装成向托架提供轴向自由度。

[0064] 例如,如图3中所示,多个圆柱形滚子104设置在内圈102与用作行星轴承的外圈的行星齿轮84的圆柱形内表面103之间。例如,如图4中所示,行星轴承的外圈84的内圆柱形表面103可旋转地接触第一多个圆柱形滚子104和第二多个圆柱形滚子104两者。

[0065] 如图3-图5中所示,例如,行星齿轮箱期望地包括滚子保持架118,其设置在内圈102与外圈84之间且相对于两者自由旋转但在不同于外圈的转速的速度下。由于行星轴承为内圈引导的,故滚子保持架118设计成具有到内圈102的小空隙,且该小空隙期望为大约0.005到0.050英寸(包含)。在图3和图5中所示的实施例中,例如,由于内圈102具有并排的双轨道,故单独的滚子保持架118设在各个双轨道上。如图3和图5中所示,例如,各个滚子保持架118构造成在各个相应轨道中利用内圈102的其相应滚道107、109保持该相应轨道中的各对周向相邻的圆柱形滚子104中的各个相应圆柱形滚子104之间在周向方向上的相应分

离。如图5中所示,例如,滚子保持架118限定第一周向排和在轴向方向上与第一周向排分开的第二周向排。各个相应滚子保持架118的各个周向排设置在内圈102的成对轨道的相应轨道上方。如图6中所示,例如,滚子保持架118的相应肩部元件119设置在内圈102的相应凸起的导轨108上方。例如,如图3中的周向截面和图4中的轴向截面中所示,滚子保持架118的相应腹板元件120设置成在滚子保持架118的相对的肩部元件119之间沿轴向延伸。

[0066] 滚子保持架118中的各个周向排限定多个大体上圆柱形的开口。滚子保持架118的各个大体上圆柱形的开口由轴向方向上的主轴线和周向方向上的副轴线限定。例如,如图5中所示,滚子保持架118的各个大体上圆柱形的开口在轴向方向上由一对相对且间隔开的腹板元件120界定,且在周向方向上由一对相对且间隔开的肩部元件119界定。各个大体上圆柱形的开口的主轴线构造成适应独立滚子104的长度 $L$ ,而各个大体上圆柱形的开口的副轴线构造成适应独立滚子104的直径 $D$ 。如图3和图5中所示,例如,各排中的开口沿周向围绕滚子保持架118等距间隔开,其中各排中的开口的数目等于设置在相应成排滚子保持架118下方的成对轨道中的相应一个中的圆柱形滚子104的数目。因此,如图5中所示,例如,各个相应圆柱形滚子104设置成具有延伸穿过由滚子保持架118限定的相应开口的其圆柱形外表面114。

[0067] 具有本文所述的其行星轴承设备的行星齿轮箱具有优于现有技术的若干优点。其减小了传递给定量的功率所需的行星齿轮箱的直径。通过使各个滚子104的长度 $L$ 延伸超过滚子104的直径的1.0倍,行星轴承提供较大增加的平长度,其允许行星轴承承载更多负载,使得行星轴承可具有较小直径,或需要较少滚子104。各个滚子104的直径的这种减小允许了行星齿轮84的直径的减小,且因此整个行星齿轮箱的直径的减小。较小直径使得更容易将齿轮箱封装在发动机中,从而给予发动机的设计者在发动机的其它构件的其布置方面的更大灵活性,同时保持发动机的最佳尺寸和流动通路,从而最大化发动机效率且最小化发动机重量。由于行星齿轮84通常将具有比行星轴承所需的轴向间距更宽的面宽度,故较长滚子104引起的增大的轴承宽度在大多数情况中将不会增大行星齿轮箱的总体长度。

[0068] 对于绘出的实施例,行星滚子轴承可由任何适合的材料形成。例如,在至少某些示例性实施例中,滚子轴承可由适合的金属材料形成,诸如铬钢或高碳铬钢。然而,作为备选,在其它示例性实施例中,行星滚子轴承可包括由适合的陶瓷材料形成的一个或多个构件。

[0069] 陶瓷圆柱形滚子104的使用允许行星齿轮84具有沿轴向方向的自由度,简化了设计。陶瓷滚子104预期相比于钢滚子提供寿命的至少加倍,允许了齿轮箱46满足可靠性目标。陶瓷滚子104还带来优异的脱油性能、低油流动要求、低热生成和轻量设计作为额外益处。商业上,该设计将具有长寿命,这将最小化产品的寿命内的替换成本。

[0070] 该书面描述使用示例来公开本发明,包括最佳模式,并且还使本领域技术人员能够实践本发明,包括制造和使用任何装置或系统以及执行任何包含的方法。本发明可申请专利的范围由权利要求限定,并且可包括本领域技术人员想到的其它示例。如果这些其它示例具有不与权利要求的字面语言不同的结构要素,或者如果它们包括与权利要求的字面语言无实质差异的等同结构要素,则意在使这些其它示例处于权利要求的范围内。

[0071] 尽管描述了本发明的特定实施例,但本领域的技术人员将清楚可对其作出各种改型,而不脱离本发明的精神和范围。因此,本发明的优选实施例的以上描述和用于实施本发明的最佳模式仅出于示范目的且不出于限制目的提供。

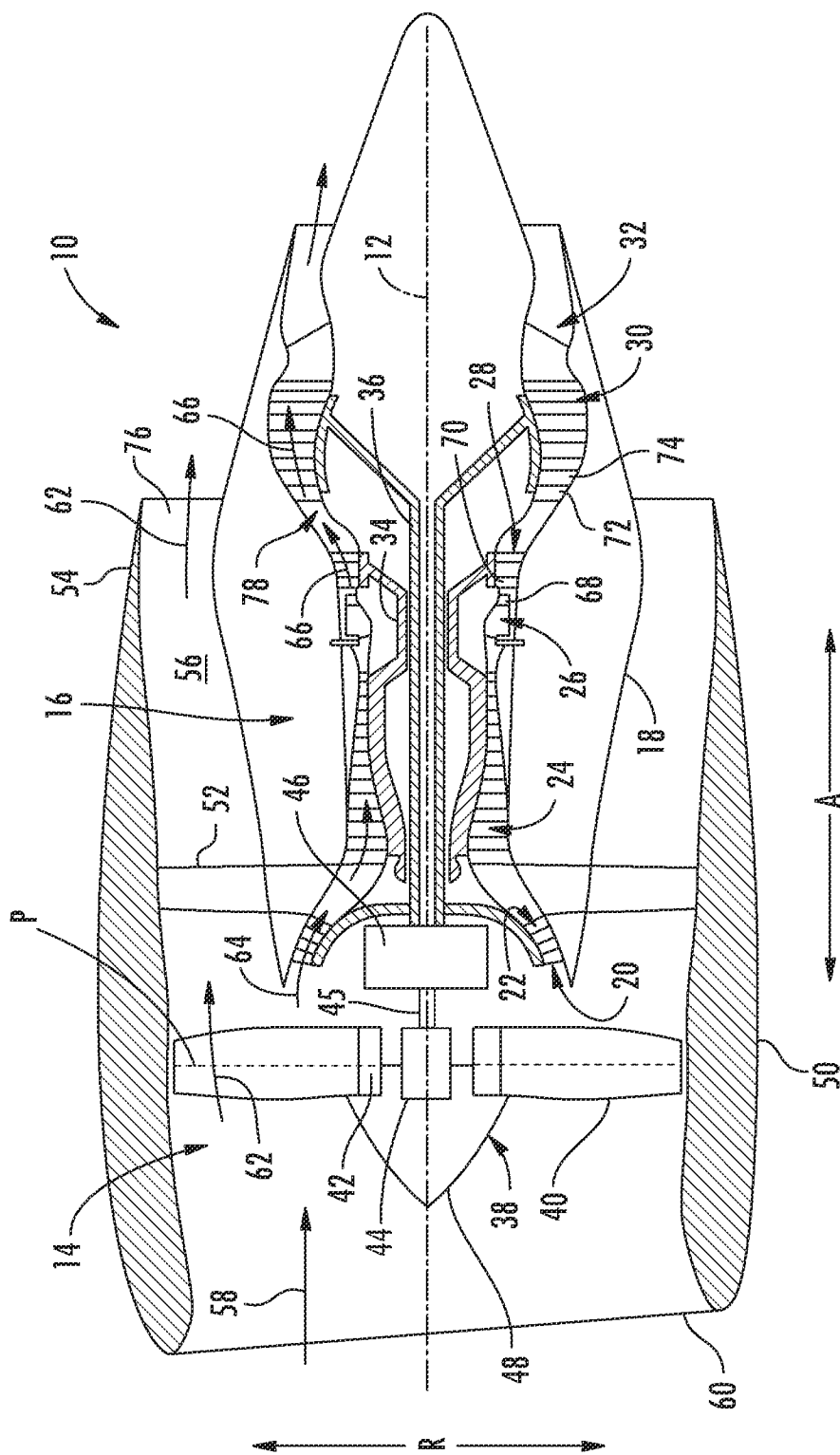


图 1

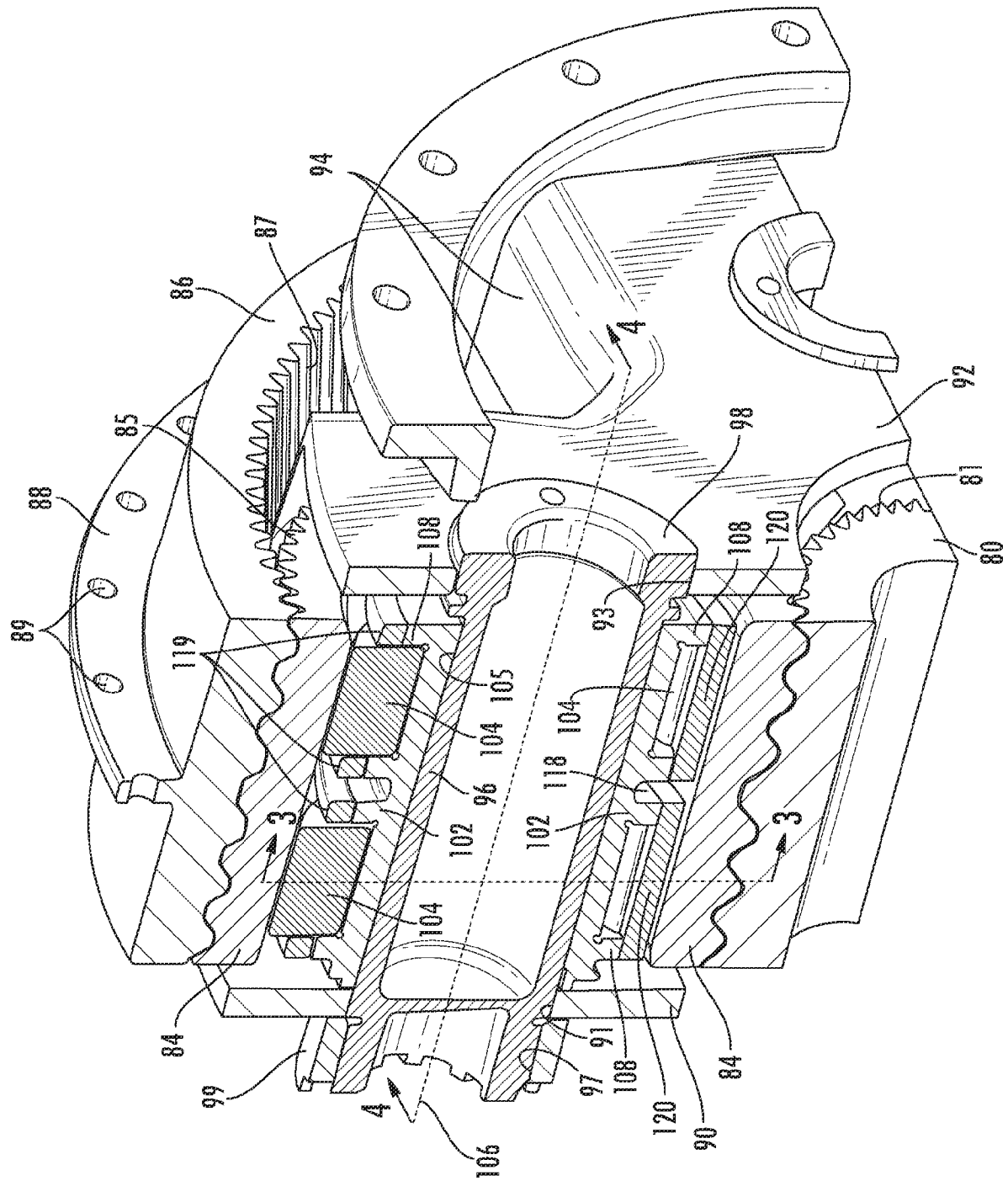


图 2

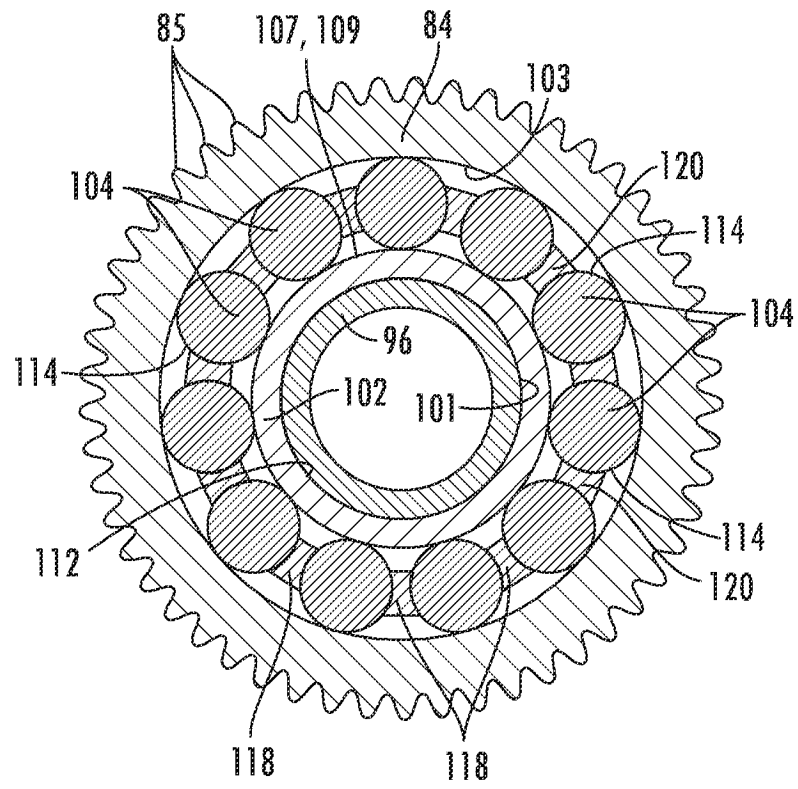


图 3

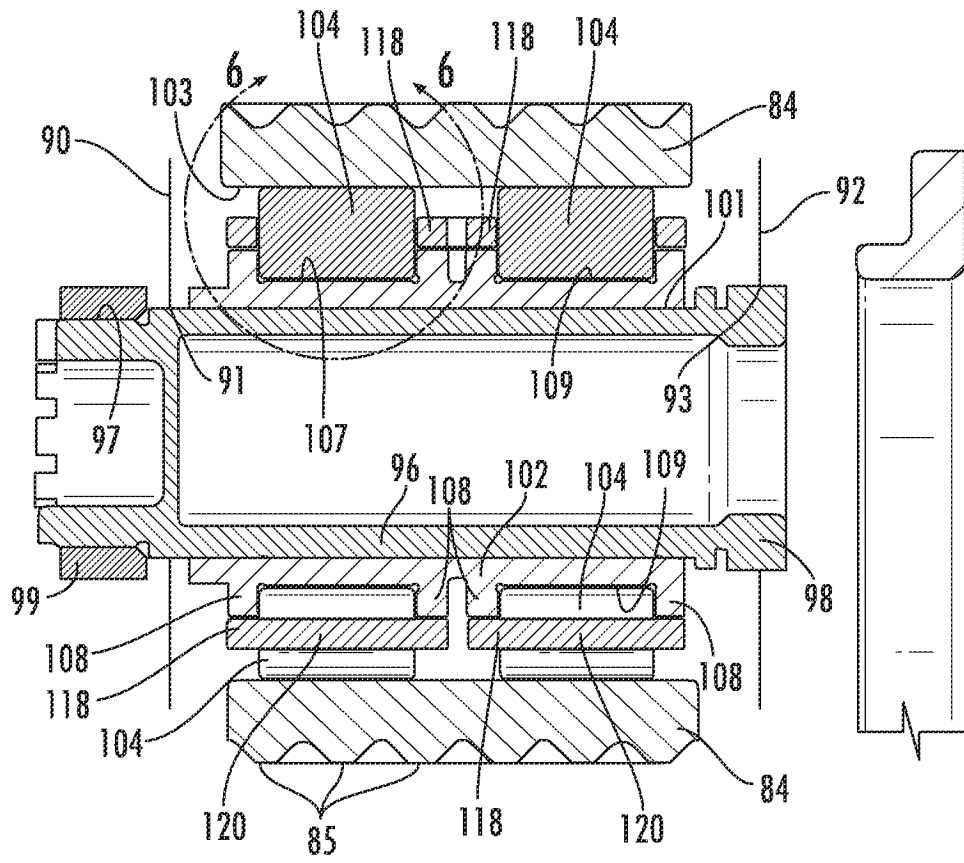


图 4

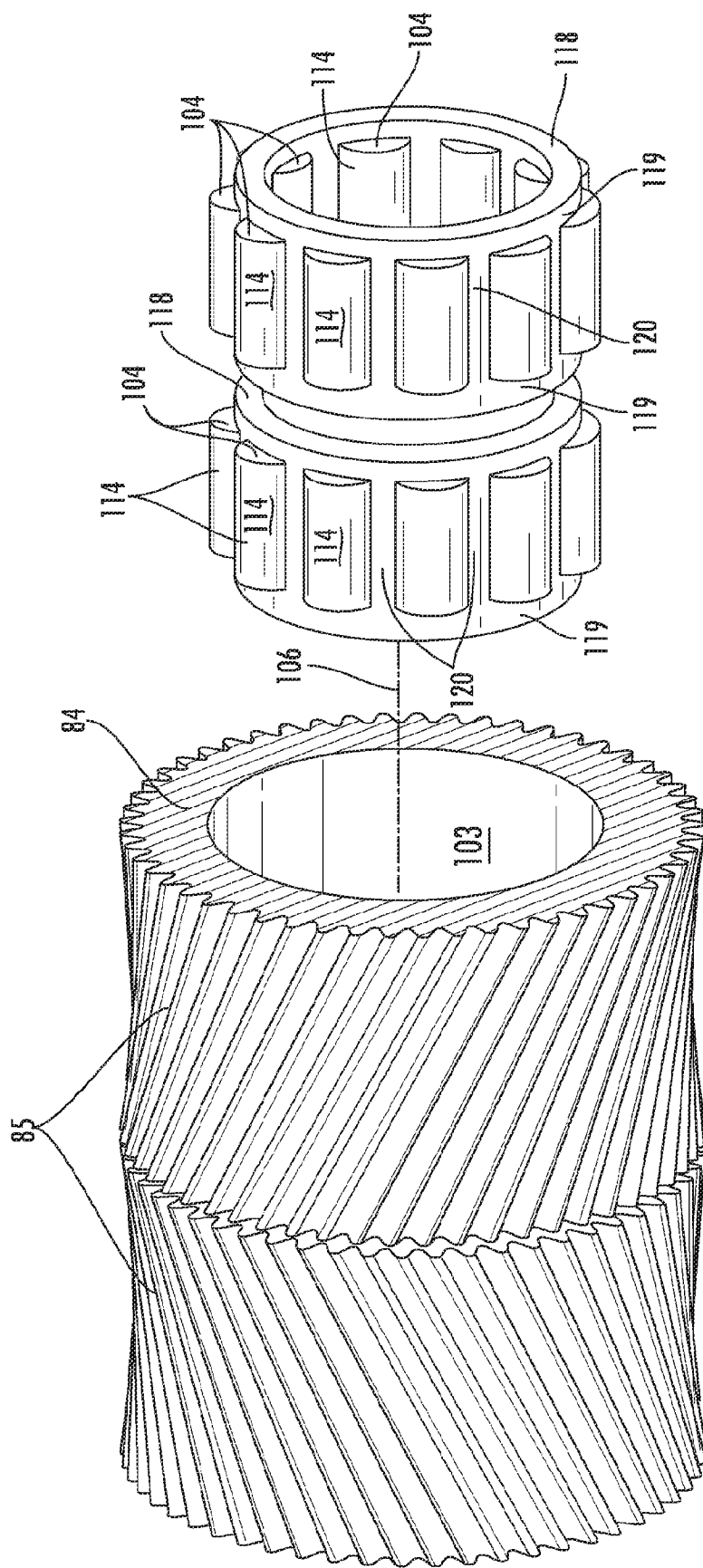


图 5

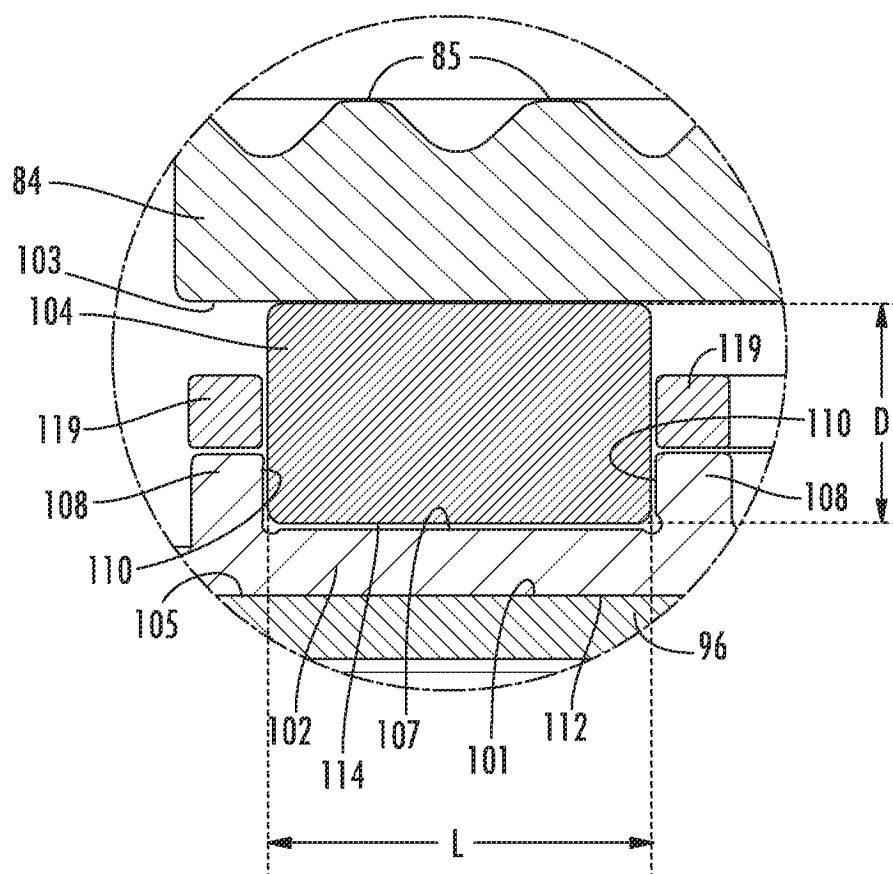


图 6