



(21) 申请号 202411650614.4

(22) 申请日 2024.11.19

(71) 申请人 中国航发沈阳发动机研究所

地址 110066 辽宁省沈阳市沈河区万莲路1号

(72) 发明人 程荣辉 陈伟博 张志成 薛海波
张志舒 吴亚帅 邴连喜 张雪冬
柏帅宇(74) 专利代理机构 北京航信高科知识产权代理
事务所(普通合伙) 11526

专利代理师 郭鹏鹏

(51) Int. Cl.

F02K 3/075 (2006.01)

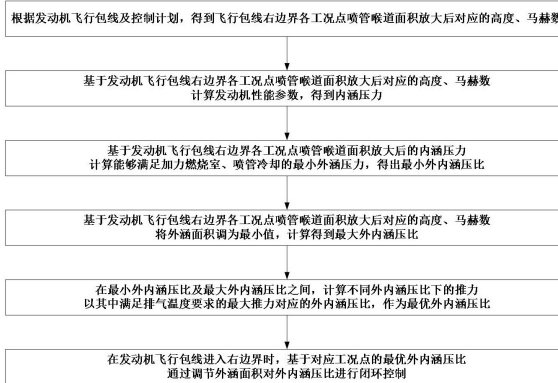
权利要求书2页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

一种航空涡扇发动机飞行包线右边界外内
涵压比控制方法

(57) 摘要

本申请属于航空涡扇发动机控制技术领域,具体涉及一种航空涡扇发动机飞行包线右边界外内涵压比控制方法,设计在发动机飞行包线进入右边界时,基于对应工况点的最优外内涵压比,通过调节外涵面积对外内涵压比进行闭环控制,将外内涵压比保持在最优外内涵压比,能够在满足排气温度要求的同时,降低加力燃烧室、喷管中掺混损失,以此能够提升推力,优化发动机性能,以及降低加力燃烧室、喷管中隔热屏的气动负荷,提升结构的可靠性。



1. 一种航空涡扇发动机飞行包线右边界外内涵压比控制方法,其特征在于,包括:

步骤一、根据发动机飞行包线及控制计划,得到飞行包线右边界各工况点喷管喉道面积放大后对应的高度、马赫数;

步骤二、基于发动机飞行包线右边界各工况点喷管喉道面积放大后对应的高度、马赫数,计算发动机性能参数,得到内涵压力;

步骤三、基于发动机飞行包线右边界各工况点喷管喉道面积放大后的内涵压力,计算能够满足加力燃烧室、喷管冷却的最小外涵压力,得出最小外内涵压比;

步骤四、基于发动机飞行包线右边界各工况点喷管喉道面积放大后对应的高度、马赫数,将外涵面积调为最小值,计算得到最大外内涵压比;

步骤五、基于发动机飞行包线右边界各工况点喷管喉道面积放大后对应的高度、马赫数,在最小外内涵压比及最大外内涵压比之间,计算不同外内涵压比下的推力,以其中满足排气温度要求的最大推力对应的外内涵压比,作为最优外内涵压比;

步骤六、在发动机飞行包线进入右边界时,基于对应工况点的最优外内涵压比,通过调节外涵面积对外内涵压比进行闭环控制。

2. 根据权利要求1所述的航空涡扇发动机飞行包线右边界外内涵压比控制方法,其特征在于,

步骤二中,具体是以发动机总体性能计算模型,计算发动机性能参数,得到内涵压力。

3. 根据权利要求2所述的航空涡扇发动机飞行包线右边界外内涵压比控制方法,其特征在于,

步骤三中,具体是以仿真计算能够满足加力燃烧室、喷管冷却的最小外涵压力,得出最小外内涵压比。

4. 根据权利要求3所述的航空涡扇发动机飞行包线右边界外内涵压比控制方法,其特征在于,

步骤四中,具体是以发动机总体性能计算模型,计算得到最大外内涵压比。

5. 根据权利要求4所述的航空涡扇发动机飞行包线右边界外内涵压比控制方法,其特征在于,

步骤五中,具体是以发动机总体性能计算模型,计算不同外内涵压比下的推力,相邻的不同外内涵压比间相差1%。

6. 根据权利要求5所述的航空涡扇发动机飞行包线右边界外内涵压比控制方法,其特征在于,

步骤六具体为:

将发动机飞行包线右边界各工况点的最优外内涵压比保存到发动机控制器中,在发动机飞行包线进入右边界时,基于对应工况点的最优外内涵压比,通过外涵面积对外内涵压比进行闭环控制,包括:

S1、计算发动机的外内涵压比与最优外内涵压比的偏差 $\Delta = p_{Dem} - p$, 其中, p_{Dem} 为发动机的最优外内涵压比; p 为发动机的外内涵压比, $p = p_{16} / p_6$, p_{16} 为外涵压力, p_6 为内涵压力;

S2、以PI控制算法计算外涵面积调节机构作动筒电液伺服阀控制电流 $I = \Delta \times K_p + I_{平衡} + \frac{K_i}{S}$,

其中, K_p 为比例控制参数, 为常数; $I_{\text{平衡}}$ 为外涵面积调节机构作动筒电液伺服阀平衡电流, 为常数; K_i 为积分控制参数, 为常数; $\frac{1}{s}$ 表示积分环节;

S3、将外涵面积调节机构作动筒电液伺服阀控制电流 I , 输送给外涵面积调节机构作动筒电液伺服阀, 对外涵面积调节机构作动筒进行驱动, 以外涵面积调节机构对外涵面积进行调节, 使发动机的外内涵压比与最优外内涵压比的偏差 Δ 趋于零。

一种航空涡扇发动机飞行包线右边界外内涵压比控制方法

技术领域

[0001] 本申请属于航空涡扇发动机控制技术领域,具体涉及一种航空涡扇发动机飞行包线右边界外内涵压比控制方法。

背景技术

[0002] 为降低航空涡扇发动机的可探测性,通常会将部分外涵气用于加力燃烧室、喷管冷却,该部分外涵气从加力隔热屏及喷管隔热屏中流出,形成冷却气膜,最终会与内涵气流掺混后流出发动机。

[0003] 航空涡扇发动机飞行包线右边界,进口压力较高,通常通过扩大喷管喉道面积,提高进口空气流量,提高推力。

[0004] 在航空涡扇发动机飞行包线右边界,随着喷管喉道面积的扩大,外涵压力会急剧增加,致使外涵气冷却加力燃烧室、喷管与内涵气流的掺混损失增加,使发动机推力降低,且会增大与内涵的压差,致使外内涵压比增大,会较大的增加加力燃烧室、喷管中隔热屏的气动负荷,降低结构可靠性。

[0005] 鉴于上述技术缺陷的存在提出本申请。

发明内容

[0006] 本申请的目的是提供一种航空涡扇发动机飞行包线右边界外内涵压比控制方法,以克服或减轻已知存在的至少一方面的技术缺陷。

[0007] 本申请的技术方案是:

一种航空涡扇发动机飞行包线右边界外内涵压比控制方法,包括:

步骤一、根据发动机飞行包线及控制计划,得到飞行包线右边界各工况点喷管喉道面积放大后对应的高度、马赫数;

步骤二、基于发动机飞行包线右边界各工况点喷管喉道面积放大后对应的高度、马赫数,计算发动机性能参数,得到内涵压力;

步骤三、基于发动机飞行包线右边界各工况点喷管喉道面积放大后的内涵压力,计算能够满足加力燃烧室、喷管冷却的最小外涵压力,得出最小外内涵压比;

步骤四、基于发动机飞行包线右边界各工况点喷管喉道面积放大后对应的高度、马赫数,将外涵面积调为最小值,计算得到最大外内涵压比;

步骤五、基于发动机飞行包线右边界各工况点喷管喉道面积放大后对应的高度、马赫数,在最小外内涵压比及最大外内涵压比之间,计算不同外内涵压比下的推力,以其中满足排气温度要求的最大推力对应的外内涵压比,作为最优外内涵压比;

步骤六、在发动机飞行包线进入右边界时,基于对应工况点的最优外内涵压比,通过调节外涵面积对外内涵压比进行闭环控制。

[0008] 可选的,上述的航空涡扇发动机飞行包线右边界外内涵压比控制方法中,步骤二中,具体是以发动机总体性能计算模型,计算发动机性能参数,得到内涵压力。

[0009] 可选的,上述的航空涡扇发动机飞行包线右边界外内涵压比控制方法中,步骤三中,具体是以仿真计算能够满足加力燃烧室、喷管冷却的最小外涵压力,得出最小外内涵压比。

[0010] 可选的,上述的航空涡扇发动机飞行包线右边界外内涵压比控制方法中,步骤四中,具体是以发动机总体性能计算模型,计算得到最大外内涵压比。

[0011] 可选的,上述的航空涡扇发动机飞行包线右边界外内涵压比控制方法中,步骤五中,具体是以发动机总体性能计算模型,计算不同外内涵压比下的推力,相邻的不同外内涵压比间相差1%。

[0012] 可选的,上述的航空涡扇发动机飞行包线右边界外内涵压比控制方法中,步骤六具体为:

将发动机飞行包线右边界各工况点的最优外内涵压比保存到发动机控制器中,在发动机飞行包线进入右边界时,基于对应工况点的最优外内涵压比,通过外涵面积对外内涵压比进行闭环控制,包括:

S1、计算发动机的外内涵压比与最优外内涵压比的偏差 $\Delta = p_{Dem} - p$, 其中, p_{Dem} 为发动机的最优外内涵压比; p 为发动机的外内涵压比, $p = p_{16} / p_6$, p_{16} 为外涵压力, p_6 为内涵压力;

S2、以PI控制算法计算外涵面积调节机构作动筒电液伺服阀控制电流 $I = \Delta \times K_p + I_{平衡} + \frac{K_i}{s}$, 其中, K_p 为比例控制参数,为常数; $I_{平衡}$ 为外涵面积调节机构作动筒电液伺服阀平衡电流,为常数; K_i 为积分控制参数,为常数; $\frac{1}{s}$ 表示积分环节;

S3、将外涵面积调节机构作动筒电液伺服阀控制电流 I , 输送给外涵面积调节机构作动筒电液伺服阀,对外涵面积调节机构作动筒进行驱动,以外涵面积调节机构对外涵面积进行调节,使发动机的外内涵压比与最优外内涵压比的偏差 Δ 趋于零。

[0013] 本申请至少存在以下有益技术效果:

提供一种航空涡扇发动机飞行包线右边界外内涵压比控制方法,设计在发动机飞行包线进入右边界时,基于对应工况点的最优外内涵压比,通过调节外涵面积对外内涵压比进行闭环控制,将外内涵压比保持在最优外内涵压比,能够在满足排气温度要求的同时,降低加力燃烧室、喷管中掺混损失,以此能够提升推力,优化发动机性能,以及降低加力燃烧室、喷管中隔热屏的气动负荷,提升结构的可靠性。

附图说明

[0014] 图1是本申请实施例提供的航空涡扇发动机飞行包线右边界外内涵压比控制方法的示意图;

图2是本申请实施例提供的在发动机飞行包线进入右边界时,基于对应工况点的最优外内涵压比,通过外涵面积对外内涵压比进行闭环控制的示意图。

[0015] 为了更好说明本实施例,附图某些内容会有省略,仅用于示例性说明,不能理解为对本申请的限制。

具体实施方式

[0016] 为使本申请的技术方案及其优点更加清楚,下面将结合附图对本申请的技术方案作进一步清楚、完整的详细描述,可以理解的是,此处所描述的具体实施例仅是本申请的部分实施例,其仅用于解释本申请,而非对本申请的限定。需要说明的是,为了便于描述,附图中仅示出了与本申请相关的部分,其他相关部分可参考通常设计。

[0017] 此外,除非另有定义,本申请描述中所使用的技术术语或者科学术语应当为本申请所属领域内一般技术人员所理解的通常含义。本申请描述中所使用的表示方位的词语,仅用以表示相对的方向或者位置关系,当被描述对象的绝对位置发生改变后,其相对位置关系也可能发生相应的改变。本申请描述中所使用的“包括”指出现在该词前面的元件或者物件涵盖出现在该词后面列举的元件或者物件及其等同,而不排除其他元件或者物件。

[0018] 此外,还需要说明的是,除非另有明确的规定和限定,在本申请的描述中使用的“安装”、“连接”等类似词语应做广义理解,例如,连接可以是固定连接,也可以是可拆卸连接;可以是机械连接,也可以是电连接;可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连,领域内技术人员可根据具体情况理解其在本申请中的具体含义。

[0019] 为了提升航空涡扇发动机的可操作性,部分航空涡扇发动机装配有外涵面积调节机构,用于对外涵面积进行调整,以此,本申请提供一种航空涡扇发动机飞行包线右边界外内涵压比控制方法,如图1所示。

[0020] 步骤一、根据发动机飞行包线及控制计划,得到飞行包线右边界各工况点喷管喉道面积放大后对应的高度、马赫数。

[0021] 步骤二、基于发动机飞行包线右边界各工况点喷管喉道面积放大后对应的高度、马赫数,计算发动机性能参数,得到内涵压力。

[0022] 具体可以发动机总体性能计算模型,计算发动机性能参数,得到内涵压力。

[0023] 步骤三、基于发动机飞行包线右边界各工况点喷管喉道面积放大后的内涵压力,计算能够满足加力燃烧室、喷管冷却的最小外涵压力,得出最小外内涵压比。

[0024] 具体可以仿真计算能够满足加力燃烧室、喷管冷却的最小外涵压力,得出最小外内涵压比。

[0025] 步骤四、基于发动机飞行包线右边界各工况点喷管喉道面积放大后对应的高度、马赫数,将外涵面积调为最小值,计算得到最大外内涵压比。

[0026] 具体可以发动机总体性能计算模型,计算得到最大外内涵压比。

[0027] 发动机外涵面积的增加,会使风扇压比降低,进而导致发动机的推力降低,以及使涵道比增加,导致核心机流量减少、排气温度升高,对发动机产生不利影响,在对最大外内涵压比进行确定时,需要与加力燃烧室、喷管的掺混损失等方面进行综合考虑。

[0028] 步骤五、基于发动机飞行包线右边界各工况点喷管喉道面积放大后对应的高度、马赫数,在最小外内涵压比及最大外内涵压比之间,计算不同外内涵压比下的推力,以其中满足排气温度要求的最大推力对应的外内涵压比,作为最优外内涵压比。

[0029] 具体可以发动机总体性能计算模型,计算不同外内涵压比下的推力,相邻的不同外内涵压比间相差1%。

[0030] 步骤六、在发动机飞行包线进入右边界时,基于对应工况点的最优外内涵压比,通过调节外涵面积对外内涵压比进行闭环控制。

[0031] 可将发动机飞行包线右边界各工况点的最优外内涵压比保存到发动机控制器中,在发动机飞行包线进入右边界时,基于对应工况点的最优外内涵压比,通过外涵面积对外内涵压比进行闭环控制,如图2所示,具体过程如下:

S1、计算发动机的外内涵压比与最优外内涵压比的偏差 $\Delta = p_{Dem} - p$, 其中, p_{Dem} 为发动机的最优外内涵压比; p 为发动机的外内涵压比, $p = p_{16} / p_6$, p_{16} 为外涵压力, p_6 为内涵压力。

[0032] S2、以PI控制算法计算外涵面积调节机构作动筒电液伺服阀控制电流 $I = \Delta \times K_p + I_{平衡} + \frac{K_i}{s}$, 其中, K_p 为比例控制参数, 为常数; $I_{平衡}$ 为外涵面积调节机构作动筒电液伺服阀平衡电流, 为常数; K_i 为积分控制参数, 为常数; $\frac{1}{s}$ 表示积分环节。

[0033] S3、将外涵面积调节机构作动筒电液伺服阀控制电流 I , 输送给外涵面积调节机构作动筒电液伺服阀, 对外涵面积调节机构作动筒进行驱动, 以外涵面积调节机构对外涵面积进行调节, 使发动机的外内涵压比与最优外内涵压比的偏差 Δ 趋于零。

[0034] 上述实施例公开的航空涡扇发动机飞行包线右边界外内涵压比控制方法, 设计在发动机飞行包线进入右边界时, 基于对应工况点的最优外内涵压比, 通过调节外涵面积对外内涵压比进行闭环控制, 将外内涵压比保持在最优外内涵压比, 能够在满足排气温度要求的同时, 降低加力燃烧室、喷管中掺混损失, 以此能够提升推力, 优化发动机性能, 以及降低加力燃烧室、喷管中隔热屏的气动负荷, 提升结构的可靠性。

[0035] 至此, 已经结合附图所示的优选实施方式描述了本申请的技术方案, 领域内技术人员应该理解的是, 本申请的保护范围显然不局限于这些具体实施方式, 在不偏离本申请的原理的前提下, 本领域技术人员可以对相关技术特征作出等同的更改或替换, 这些更改或替换之后的技术方案都将落入本申请的保护范围之内。

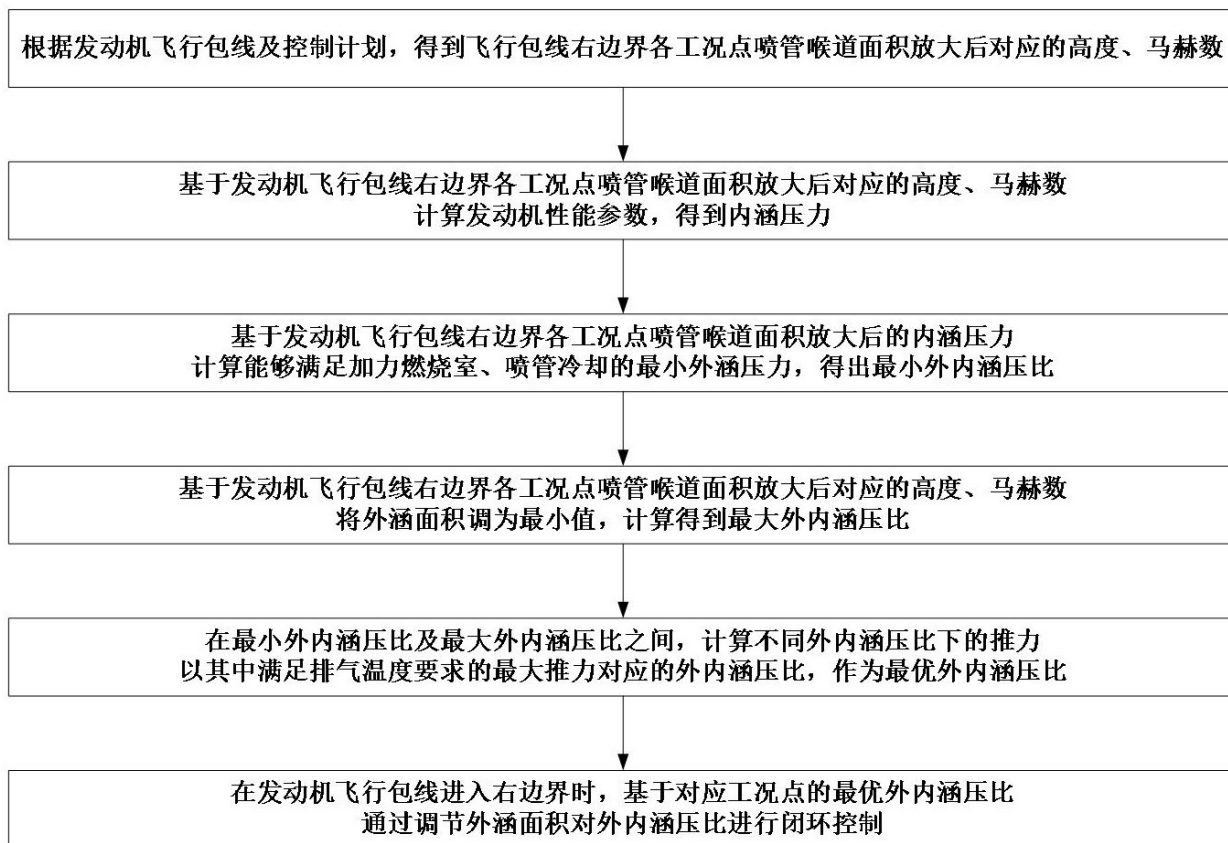


图 1

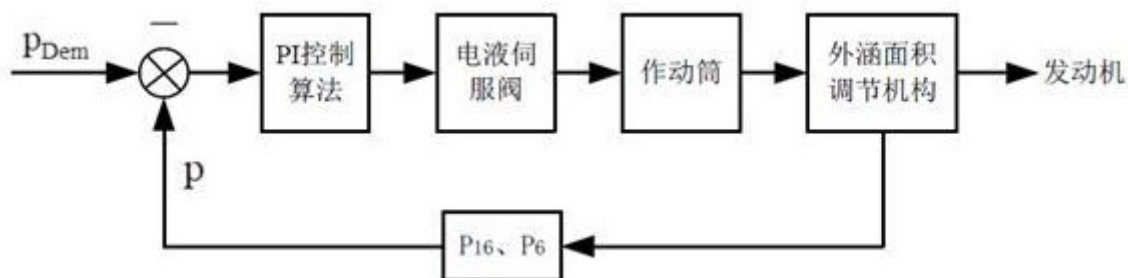


图 2