



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112412632 A

(43) 申请公布日 2021.02.26

(21) 申请号 202011303121.5

(22) 申请日 2020.11.19

(71) 申请人 中国航发沈阳发动机研究所

地址 110015 辽宁省沈阳市沈河区万莲路1号

(72) 发明人 万东凯 阎巍 施磊 李泳凡

赵肃 康忱 潘宝军

(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

代理人 刘传准

(51) Int.Cl.

F02C 9/44 (2006.01)

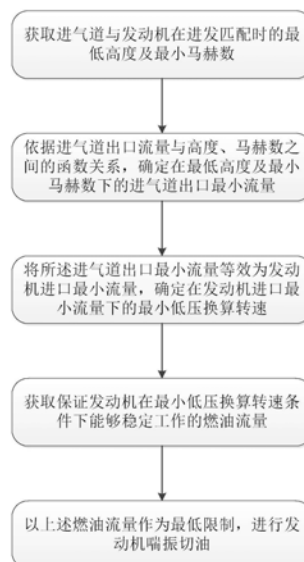
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种基于进口流量匹配的航空发动机喘振切油方法及系统

(57) 摘要

本申请属于飞机发动机设计领域,涉及一种基于进口流量匹配的航空发动机喘振切油方法及系统,所述方法包括:获取进气道与发动机在进发匹配时的最低高度及最小马赫数;确定在最低高度及最小马赫数下的进气道出口最小流量;将所述进气道出口最小流量等效为发动机进口最小流量,确定在发动机进口最小流量下的最小低压换算转速;获取保证发动机在最小低压换算转速条件下能够稳定工作的燃油流量;以上述燃油流量作为最低限制,进行发动机喘振切油。本申请通过考虑大马赫数飞行条件下进气道最小流量限制条件,转化为发动机切油规律要求,保证发动机的消喘处置不会影响到进发匹配,并消除或减轻喘振的影响。



1. 一种基于进口流量匹配的航空发动机喘振切油方法,其特征在于,包括:

步骤S1、获取进气道与发动机在进发匹配时的最低高度及最小马赫数;

步骤S2、依据进气道出口流量与高度、马赫数之间的函数关系,确定在最低高度及最小马赫数下的进气道出口最小流量;

步骤S3、将所述进气道出口最小流量等效为发动机进口最小流量,依据发动机低压换算转速与发动机进口流量、高度、马赫数之间的函数关系,确定在发动机进口最小流量下的最小低压换算转速;

步骤S4、获取保证发动机在最小低压换算转速条件下能够稳定工作的燃油流量;

步骤S5、以步骤S4计算的燃油流量作为最低限制,进行发动机喘振切油。

2. 如权利要求1所述的基于进口流量匹配的航空发动机喘振切油方法,其特征在于,步骤S3之后,进一步包括:

步骤S31、根据仿真计算和试验结果修正步骤S3计算的最小低压换算转速。

3. 如权利要求1所述的基于进口流量匹配的航空发动机喘振切油方法,其特征在于,步骤S4中,在进行保证发动机在最小低压换算转速条件下能够稳定工作的燃油流量计算时,自变量为最小低压换算转速与换算转速惯性值之和,其中,所述换算转速惯性值为:

$$\Delta N1R = k \cdot N1R \cdot \frac{dN1}{dt}$$

其中,K为基于发动机转子转动惯量的修正系数,N1R为在消喘切油时刻发动机的低压换算转速; $\frac{dN1}{dt}$ 为在消喘切油时刻发动机低压相对转速的变化速率。

4. 如权利要求3所述的基于进口流量匹配的航空发动机喘振切油方法,其特征在于,步骤S5中,进行发动机喘振切油的切油规律为:

$$wf_{dem} = \text{MAX}[wf_{设计}, wf(N1R_{最小} + \Delta N1R)]$$

其中, $wf_{设计}$ 为考虑燃烧室熄火的限制条件和退喘的切油需求所给定的燃油流量设计值, $wf(N1R_{最小} + \Delta N1R)$ 为步骤S4计算的保证发动机在最小低压换算转速条件下能够稳定工作的燃油流量。

5. 一种基于进口流量匹配的航空发动机喘振切油系统,其特征在于,包括:

进发匹配条件获取模块,用于获取进气道与发动机在进发匹配时的最低高度及最小马赫数;

进气道出口最小流量计算模块,用于依据进气道出口流量与高度、马赫数之间的函数关系,确定在最低高度及最小马赫数下的进气道出口最小流量;

最小低压换算转速计算模块,用于将所述进气道出口最小流量等效为发动机进口最小流量,依据发动机低压换算转速与发动机进口流量、高度、马赫数之间的函数关系,确定在发动机进口最小流量下的最小低压换算转速;

燃油流量计算模块,用于获取保证发动机在最小低压换算转速条件下能够稳定工作的燃油流量;

切油模块,用于以燃油流量计算模块计算的燃油流量作为最低限制,进行发动机喘振切油。

6. 如权利要求5所述的基于进口流量匹配的航空发动机喘振切油系统,其特征在于,还

包括：

修正模块，用于根据仿真计算和试验结果修正所述最小低压换算转速计算模块计算的最小低压换算转速。

7. 如权利要求5所述的基于进口流量匹配的航空发动机喘振切油系统，其特征在于，所述燃油流量计算模块中，在进行保证发动机在最小低压换算转速条件下能够稳定工作的燃油流量计算时，自变量为最小低压换算转速与换算转速惯性值之和，其中，所述换算转速惯性值为：

$$\Delta N1R = k \cdot N1R \cdot \frac{dN1}{dt}$$

其中，K为基于发动机转子转动惯量的修正系数，N1R为在消喘切油时刻发动机的低压换算转速； $\frac{dN1}{dt}$ 为在消喘切油时刻发动机低压相对转速的变化速率。

8. 如权利要求7所述的基于进口流量匹配的航空发动机喘振切油系统，其特征在于，所述切油模块被配置成进行发动机喘振切油的切油规律为：

$$wf_{dem} = \text{MAX}[wf_{设计}, wf(N1R_{最小} + \Delta N1R)]$$

其中， $wf_{设计}$ 为考虑燃烧室熄火的限制条件和退喘的切油需求所给定的燃油流量设计值， $wf(N1R_{最小} + \Delta N1R)$ 为步骤S4计算的保证发动机在最小低压换算转速条件下能够稳定工作的燃油流量。

一种基于进口流量匹配的航空发动机喘振切油方法及系统

技术领域

[0001] 本申请属于飞机发动机设计领域,特别涉及一种基于进口流量匹配的航空发动机喘振切油方法。

背景技术

[0002] 喘振是一种航空发动机典型的气动失稳问题,在发动机装备使用过程中易出现。一般军用航空发动机由于需要适应多种进气畸变状态,且稳定性边界会受到降稳因子影响而稳定裕度下降,普遍会设计有消喘系统,即能够自动识别发动机喘振状态,并采取切油(减少主燃烧室供油)的方法,能够提高流道内气流的流动性,消除喘振的异常状态。

[0003] 目前,航空发动机切油方法主要平衡考虑燃烧室熄火的限制条件和退喘的切油需求,但是没有考虑在大马赫数条件下,进气道最小流量对于切油方法的限制条件,在此飞行状态下可能出现因为发动机气动失稳喘振执行消喘后,由于进气道流量和发动机流量的不匹配,导致进气道失稳而带动发动机继续失稳,即喘振无法被消除的问题,使发动机丧失工作能力,甚至出现超温烧蚀涡轮部件的严重安全问题。

发明内容

[0004] 为了解决上述问题,本申请提供了一种基于进口流量匹配的航空发动机喘振切油方法及系统,通过增加大马赫数进气道最小流量的进发匹配限制条件,完善发动机消喘切油处置方法。

[0005] 本申请第一方面提供了一种基于进口流量匹配的航空发动机喘振切油方法,具体方案如下:

[0006] 步骤S1、获取进气道与发动机在进发匹配时的最低高度及最小马赫数;

[0007] 步骤S2、依据进气道出口流量与高度、马赫数之间的函数关系,确定在最低高度及最小马赫数下的进气道出口最小流量;

[0008] 步骤S3、将所述进气道出口最小流量等效为发动机进口最小流量,依据发动机低压换算转速与发动机进口流量、高度、马赫数之间的函数关系,确定在发动机进口最小流量下的最小低压换算转速;

[0009] 步骤S4、获取保证发动机在最小低压换算转速条件下能够稳定工作的燃油流量;

[0010] 步骤S5、以步骤S4计算的燃油流量作为最低限制,进行发动机喘振切油。

[0011] 优选的是,步骤S3之后,进一步包括:

[0012] 步骤S31、根据仿真计算和试验结果修正步骤S3计算的最小低压换算转速。

[0013] 优选的是,步骤S4中,在进行保证发动机在最小低压换算转速条件下能够稳定工作的燃油流量计算时,自变量为最小低压换算转速与换算转速惯性值之和,其中,所述换算转速惯性值为:

$$[0014] \quad \Delta NIR = k \cdot NIR \cdot \frac{dN1}{dt}$$

[0015] 其中,K为基于发动机转子转动惯量的修正系数,N1R为在消喘切油时刻发动机的低压换算转速; $\frac{dN1}{dt}$ 为在消喘切油时刻发动机低压相对转速的变化速率。

[0016] 优选的是,步骤S5中,进行发动机喘振切油的切油规律为:

[0017] $wf_{dem} = \text{MAX}[wf_{设计}, Wf(N1R_{最小} + \Delta N1R)]$

[0018] 其中, $wf_{设计}$ 为考虑燃烧室熄火的限制条件和退喘的切油需求所给定的燃油流量设计值, $Wf(N1R_{最小} + \Delta N1R)$ 为步骤S4计算的保证发动机在最小低压换算转速条件下能够稳定工作的燃油流量。

[0019] 本申请第二方面提供了一种基于进口流量匹配的航空发动机喘振切油系统,包括:

[0020] 进发匹配条件获取模块,用于获取进气道与发动机在进发匹配时的最低高度及最小马赫数;

[0021] 进气道出口最小流量计算模块,用于依据进气道出口流量与高度、马赫数之间的函数关系,确定在最低高度及最小马赫数下的进气道出口最小流量;

[0022] 最小低压换算转速计算模块,用于将所述进气道出口最小流量等效为发动机进口最小流量,依据发动机低压换算转速与发动机进口流量、高度、马赫数之间的函数关系,确定在发动机进口最小流量下的最小低压换算转速;

[0023] 燃油流量计算模块,用于获取保证发动机在最小低压换算转速条件下能够稳定工作的燃油流量;

[0024] 切油模块,用于以燃油流量计算模块计算的燃油流量作为最低限制,进行发动机喘振切油。

[0025] 优选的是,还包括:

[0026] 修正模块,用于根据仿真计算和试验结果修正所述最小低压换算转速计算模块计算的最小低压换算转速。

[0027] 优选的是,所述燃油流量计算模块中,在进行保证发动机在最小低压换算转速条件下能够稳定工作的燃油流量计算时,自变量为最小低压换算转速与换算转速惯性值之和,其中,所述换算转速惯性值为:

[0028]
$$\Delta N1R = k \cdot N1R \cdot \frac{dN1}{dt}$$

[0029] 其中,K为基于发动机转子转动惯量的修正系数,N1R为在消喘切油时刻发动机的低压换算转速; $\frac{dN1}{dt}$ 为在消喘切油时刻发动机低压相对转速的变化速率。

[0030] 优选的是,所述切油模块被配置成进行发动机喘振切油的切油规律为:

[0031] $wf_{dem} = \text{MAX}[wf_{设计}, Wf(N1R_{最小} + \Delta N1R)]$

[0032] 其中, $wf_{设计}$ 为考虑燃烧室熄火的限制条件和退喘的切油需求所给定的燃油流量设计值, $Wf(N1R_{最小} + \Delta N1R)$ 为步骤S4计算的保证发动机在最小低压换算转速条件下能够稳定工作的燃油流量。

[0033] 本申请的优点:通过考虑大马赫数飞行条件下进气道最小流量限制条件,转化为发动机切油规律要求,保证发动机的消喘处置不会影响到进发匹配,并消除或减轻喘振的

影响。

附图说明

[0034] 图1是本申请基于进口流量匹配的航空发动机喘振切油方法的一优选实施例的流程图。

具体实施方式

[0035] 为使本申请实施的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本申请实施方式中的附图,对本申请实施方式中的技术方案进行更加详细的描述。在附图中,自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。所描述的实施方式是本申请一部分实施方式,而不是全部的实施方式。下面通过参考附图描述的实施方式是示例性的,旨在用于解释本申请,而不能理解为对本申请的限制。基于本申请中的实施方式,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施方式,都属于本申请保护的范围。下面结合附图对本申请的实施方式进行详细说明。

[0036] 本申请第一方面提出了一种针对基于进口流量匹配的航空发动机喘振切油方法,如图1所示,主要包括:

[0037] 步骤S1、获取进气道与发动机在进发匹配时的最低高度及最小马赫数;

[0038] 步骤S2、依据进气道出口流量与高度、马赫数之间的函数关系,确定在最低高度及最小马赫数下的进气道出口最小流量;

[0039] 步骤S3、将所述进气道出口最小流量等效为发动机进口最小流量,依据发动机低压换算转速与发动机进口流量、高度、马赫数之间的函数关系,确定在发动机进口最小流量下的最小低压换算转速;

[0040] 步骤S4、获取保证发动机在最小低压换算转速条件下能够稳定工作的燃油流量;

[0041] 步骤S5、以步骤S4计算的燃油流量作为最低限制,进行发动机喘振切油。

[0042] 步骤S1-步骤S2中,进口流量匹配条件的转化:

[0043] $W_{\text{发动机进口最小流量}} = W_{\text{进气道出口最小流量}} = f(H, M) \quad H \geq H_0, M \geq M_0$, H为高度, M为马赫数, W为流量。

[0044] 获得进发匹配限制区域 ($H \geq H_0, M \geq M_0$) 内,在发动机进口最小流量条件。

[0045] 步骤S3中,根据发动机流量特性确定最小低压换算转速:

[0046] $N1R_{\text{最小}} = f(W_{\text{发动机进口最小流量}}, H, M)$ 。

[0047] 在一些可选实施方式中,步骤S3之后,进一步包括:

[0048] 步骤S31、根据仿真计算和试验结果修正步骤S3计算的最小低压换算转速。可以理解的是,根据仿真计算和试验结果修正获得在发动机工作包线内慢车状态工作条件下发动机进口最小流量和发动机低压换算转速的修正关系,根据修正关系修正步骤S3计算的最小低压换算转速。

[0049] 在一些可选实施方式中,步骤S4中,在进行保证发动机在最小低压换算转速条件下能够稳定工作的燃油流量计算时,自变量为最小低压换算转速与换算转速惯性值之和,其中,所述换算转速惯性值为:

[0050] $\Delta N1R = k \cdot N1R \cdot \frac{dN1}{dt}$

[0051] 其中,K为基于发动机转子转动惯量的修正系数,N1R为在消喘切油时刻发动机的低压换算转速; $\frac{dN1}{dt}$ 为在消喘切油时刻发动机低压相对转速的变化速率。

[0052] 在一些可选实施方式中,步骤S5中,进行发动机喘振切油的切油规律为:

[0053] $wf_{dem} = \text{MAX}[wf_{\text{设计}}, Wf(N1R_{\text{最小}} + \Delta N1R)]$

[0054] 其中, $wf_{\text{设计}}$ 为考虑燃烧室熄火的限制条件和退喘的切油需求所给定的燃油流量设计值, $Wf(N1R_{\text{最小}} + \Delta N1R)$ 为步骤S4计算的保证发动机在最小低压换算转速条件下能够稳定工作的燃油流量。

[0055] 本申请第二方面提供了一种与上述方法对应的基于进口流量匹配的航空发动机喘振切油系统,主要包括:

[0056] 进发匹配条件获取模块,用于获取进气道与发动机在进发匹配时的最低高度及最小马赫数;

[0057] 进气道出口最小流量计算模块,用于依据进气道出口流量与高度、马赫数之间的函数关系,确定在最低高度及最小马赫数下的进气道出口最小流量;

[0058] 最小低压换算转速计算模块,用于将所述进气道出口最小流量等效为发动机进口最小流量,依据发动机低压换算转速与发动机进口流量、高度、马赫数之间的函数关系,确定在发动机进口最小流量下的最小低压换算转速;

[0059] 燃油流量计算模块,用于获取保证发动机在最小低压换算转速条件下能够稳定工作的燃油流量;

[0060] 切油模块,用于以燃油流量计算模块计算的燃油流量作为最低限制,进行发动机喘振切油。

[0061] 在一些可选实施方式中,还包括:

[0062] 修正模块,用于根据仿真计算和试验结果修正所述最小低压换算转速计算模块计算的最小低压换算转速。

[0063] 在一些可选实施方式中,所述燃油流量计算模块中,在进行保证发动机在最小低压换算转速条件下能够稳定工作的燃油流量计算时,自变量为最小低压换算转速与换算转速惯性值之和,其中,所述换算转速惯性值为:

$$[0064] \quad \Delta N1R = k \cdot N1R \cdot \frac{dN1}{dt}$$

[0065] 其中,K为基于发动机转子转动惯量的修正系数,N1R为在消喘切油时刻发动机的低压换算转速; $\frac{dN1}{dt}$ 为在消喘切油时刻发动机低压相对转速的变化速率。

[0066] 在一些可选实施方式中,所述切油模块被配置成进行发动机喘振切油的切油规律为:

[0067] $wf_{dem} = \text{MAX}[wf_{\text{设计}}, Wf(N1R_{\text{最小}} + \Delta N1R)]$

[0068] 其中, $wf_{\text{设计}}$ 为考虑燃烧室熄火的限制条件和退喘的切油需求所给定的燃油流量设计值, $Wf(N1R_{\text{最小}} + \Delta N1R)$ 为步骤S4计算的保证发动机在最小低压换算转速条件下能够稳定工作的燃油流量。

[0069] 以上所述,仅为本申请的具体实施方式,但本申请的保护范围并不局限于此,任何

熟悉本技术领域的技术人员在本申请揭露的技术范围内,可轻易想到的变化或替换,都应涵盖在本申请的保护范围之内。因此,本申请的保护范围应以所述权利要求的保护范围为准。

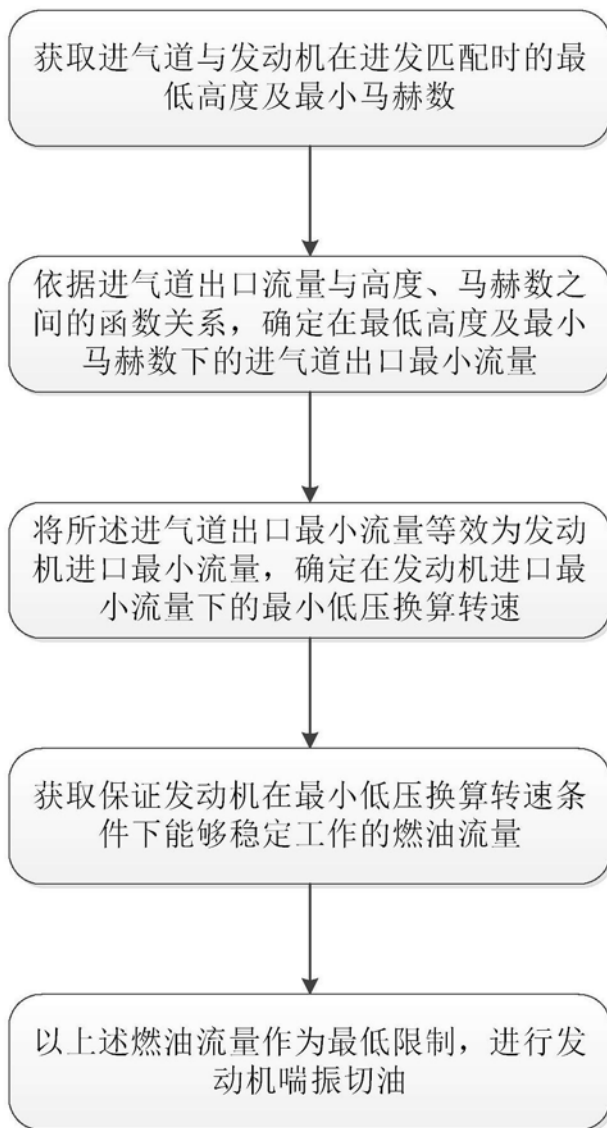


图1