



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115306754 A

(43) 申请公布日 2022. 11. 08

(21) 申请号 202211244067.0

(22) 申请日 2022.10.12

(71) 申请人 中国航发四川燃气涡轮研究院
地址 610500 四川省成都市新都区新都学
府路999号

(72) 发明人 文璧 刘元是 杜军 石飞云
黄维娜 李晓明

(74) 专利代理机构 北京清大紫荆知识产权代理
有限公司 11718
专利代理师 窦雪龙

(51) Int. Cl.
F04D 27/00 (2006.01)
G01M 15/14 (2006.01)
G01H 17/00 (2006.01)

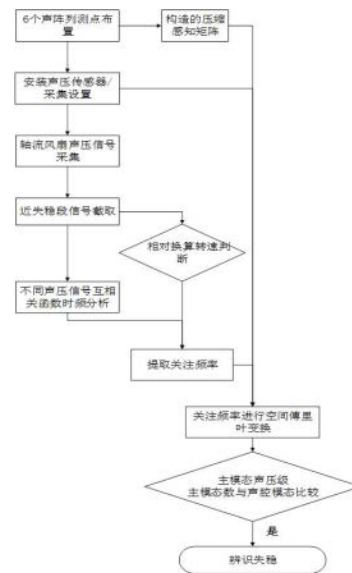
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

基于声阵列的轴流风扇气动失稳辨识方法

(57) 摘要

本发明提供了一种基于声阵列的轴流风扇气动失稳辨识方法,包括以下步骤:步骤一、在进气道靠近进气支板处选择一截面布置六点麦克
风阵列位置,并在六点麦克风阵列位置齐平安装
声压传感器,同步采样各测点声压信号和轴流风
扇转速;步骤二、对近失稳状态的不同测点声压
信号进行截取,根据截取的信号换算转速所在范
围确定需要关注的频带;步骤三、对所截取的声
压信号进行声模态重构,按照重构的声模态信号
进行快速傅里叶变换;步骤四、对步骤三的结果
进行波谱分析,根据主要模态数判断轴流风扇此
时是否出现气动失稳现象。本发明对于小扰动信
号更容易辨识,同时利用声阵列获取信号具有高
增益、强抗干扰、高空间分辨率的优势。



1. 一种基于声阵列的轴流风扇气动失稳辨识方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤一、在进气道靠近进气支板处选择一截面布置六点麦克风阵列位置,并在六点麦克风阵列位置齐平安装声压传感器,同步采样各测点声压信号和轴流风扇转速;

步骤二、对近失稳状态的不同测点声压信号进行截取,根据截取的信号换算转速所在范围确定需要关注的频带;

步骤三、对所截取的声压信号进行声模态重构,按照重构的声模态信号进行快速傅里叶变换;

步骤四、对所述步骤三的结果进行波谱分析,根据主要模态数判断轴流风扇此时是否出现气动失稳现象。

2. 根据权利要求1所述的基于声阵列的轴流风扇气动失稳辨识方法,其特征在于,所述步骤一包括:六点麦克风阵列布置以进气道周向任一角度为0度,六点麦克风阵列测点位置分别在 22.5° 、 56.25° 、 112.5° 、 270° 、 292.5° 和 303.75° 位置处。

3. 根据权利要求1所述的基于声阵列的轴流风扇气动失稳辨识方法,其特征在于,所述步骤一还包括:同步采样的采样率设置为风扇设计转速下转子数最多级转子叶片通过频率的3倍以上。

4. 根据权利要求1所述的基于声阵列的轴流风扇气动失稳辨识方法,其特征在于,所述步骤二包括:

当风扇转速相对换算转速小于等于85%时,分析一级转子的二倍的转频及以上的频率信号;

当风扇转速相对换算转速大于85%时,分析一级转子的二倍的转频以下的频率信号。

5. 根据权利要求4所述的基于声阵列的轴流风扇气动失稳辨识方法,其特征在于,当风扇转速相对换算转速小于等于85%时,则风扇处于低转速段,当风扇转速相对换算转速大于85%时,则风扇处于高转速段;

所述步骤四还包括:判断关注频率的主要模态数的声压级在低转速段是否达到125dB以上,在高转速段是否达到135 dB以上。

6. 根据权利要求5所述的基于声阵列的轴流风扇气动失稳辨识方法,其特征在于,当关注频率的主要模态数的声压级在低转速段达到125dB以上,所述步骤四还包括:当主要模态数与叶片共振节径数或者叶栅之间的声腔模态一致时,则轴流风扇此时出现气动失稳现象。

7. 根据权利要求5所述的基于声阵列的轴流风扇气动失稳辨识方法,其特征在于,当关注频率的主要模态数的声压级在高转速段达到135 dB以上时,所述步骤四包括:当主要模态数与轮毂之间的声腔模态一致时,则轴流风扇此时出现气动失稳现象。

基于声阵列的轴流风扇气动失稳辨识方法

技术领域

[0001] 本说明书涉及航空发动机技术领域,具体涉及一种基于声阵列的轴流风扇气动失稳辨识方法。

背景技术

[0002] 轴流风扇是航空发动机的核心部件之一,失速和喘振是轴流风扇经常遇到的两类流动失稳现象,发动机一旦发生流动失稳不能及时退出,轻则引起发动机的突然熄火导致发动机性能急剧恶化,重则引起叶片剧烈振动以致叶片断裂,导致整台发动机的损坏,引起严重事故。

[0003] 目前,航空发动机整机状态下的气动失稳监测主要选用压气机后压力P3作为特征参数。对于小中涵道的涡扇发动机,发动机失稳的诱发因素往往是外涵的气动扰动或结构变化,如A8截面的突变,在这个过程中,P3作为监测参数存在着滞后和不灵敏的问题,所以急需改进监测方法提高准确性。要提高监测的准确性和快速性,检测失稳前的扰动信号是主要途径,根据扰动信号的幅值、传播速度和尺度等差别可以分为两种形式,分别为模态波(Model wave)和尖脉冲(Spike)。针对失稳的扰动研究,精细化的研究方式有热线风速仪等,由于实际风扇和压气机工作环境恶劣,热线风速仪的实际应用是受限的,目前工程中主要是两个方法:一种是利用动态压力信号进行监测,如Marz等利用壁面动态压力信号对某低速不可压轴流压气机的失稳特征进行测试和分析,李传鹏,胡骏等在静子叶片表面埋入微型压力传感器的方法,对叶尖、叶中和叶根3个截面上的动态压力进行测量,实验研究了压气机近失速的流场特性研究,马彩东、吴云等等利用进气的动态压力传感器研究压气机的失速团动态演变特性;另一种是利用声信号,王同庆等用声测量技术研究高速压气机的旋转不稳定特性、失速先兆及失速过程。Zerobin等在2级双转子试验涡轮上安装24个麦克风阵列对有分流叶片和无分流叶片的流场状况进行分析。李泽芄等利用声阵列信号对失速先兆进行研究,通过声模态分解发现风扇在进入喘振前有非同步共振频率的强烈单音噪声。强冠杰,乔渭阳等利用麦克风阵列对轴流风扇“尖峰型”失速起始特征及其物理机制的实验研究。分析发现,较于普通的动态压力测量,声的灵敏度要大1000倍,对于小扰动信号更容易辨识,同时利用声阵列获取信号具有高增益、强抗干扰、高空间分辨率的优势,国外普渡大学已经研制了基于声学的风扇气动失稳辨识系统。

发明内容

[0004] 有鉴于此,本说明书实施例提供一种基于声阵列的轴流风扇气动失稳辨识方法,以达到为航空发动机及轴流风扇的故障诊断提供依据的目的。

[0005] 本发明的技术方案为:一种基于声阵列的轴流风扇气动失稳辨识方法,包括以下步骤:

步骤一、在进气道靠近进气支板处选择一截面布置六点麦克风阵列位置,并在六点麦克风阵列位置齐平安装声压传感器,同步采样各测点声压信号和轴流风扇转速;

步骤二、对近失稳状态的不同测点声压信号进行截取,根据截取的信号换算转速所在范围确定需要关注的频带;

步骤三、对所截取的声压信号进行声模态重构,按照重构的声模态信号进行快速傅里叶变换;

步骤四、对步骤三的结果进行波谱分析,根据主要模态数判断轴流风扇此时是否出现气动失稳现象。

[0006] 进一步地,步骤一包括:六点麦克风阵列布置以进气道周向任一角度为0度,六点麦克风阵列测点位置分别在 22.5° 、 56.25° 、 112.5° 、 270° 、 292.5° 和 303.75° 位置处。

[0007] 进一步地,步骤一还包括:同步采样的采样率设置为风扇设计转速下转子数最多级转子叶片通过频率的3倍以上。

[0008] 进一步地,步骤二包括:

当风扇转速相对换算转速小于等于85%时,分析一级转子的二倍的转频及以上的频率信号;

当风扇转速相对换算转速大于85%时,分析一级转子的二倍的转频以下的频率信号。

[0009] 进一步地,当风扇转速相对换算转速小于等于85%时,则风扇处于低转速段,当风扇转速相对换算转速大于85%时,则风扇处于高转速段;步骤四还包括:判断关注频率的主要模态数的声压级在低转速段是否达到125dB以上,在高转速段是否达到135 dB以上。

[0010] 进一步地,当关注频率的主要模态数的声压级在低转速段达到125dB以上,步骤四还包括:当主要模态数与叶片共振节径数或者叶栅之间的声腔模态一致时,则轴流风扇此时出现气动失稳现象。

[0011] 进一步地,当关注频率的主要模态数的声压级在高转速段达到135 dB以上时,步骤四包括:当主要模态数与轮毂之间的声腔模态一致时,则轴流风扇此时出现气动失稳现象。

[0012] 与现有技术相比,本说明书实施例采用的上述至少一个技术方案能够达到的有益效果至少包括:通过风扇进口六点声阵列,利用风扇的声场重构,实现对轴流风扇的气动失稳辨识方法。本发明是一种被动测量方法,节约了发动机成本,较于普通的动态压力测量,本发明的灵敏度要大1000倍,对于小扰动信号更容易辨识,同时利用声阵列获取信号具有高增益、强抗干扰、高空间分辨率的优势。

附图说明

[0013] 为了更清楚地说明本申请实施例的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其它的附图。

[0014] 图1是本发明实施例的流程示意图。

具体实施方式

[0015] 下面结合附图对本申请实施例进行详细描述。

[0016] 以下通过特定的具体实例说明本申请的实施方式,本领域技术人员可由本说明书

所揭露的内容轻易地了解本申请的其他优点与功效。显然,所描述的实施例仅仅是本申请一部分实施例,而不是全部的实施例。本申请还可以通过另外不同的具体实施方式加以实施或应用,本说明书中的各项细节也可以基于不同观点与应用,在没有背离本申请的精神下进行各种修饰或改变。需说明的是,在不冲突的情况下,以下实施例及实施例中的特征可以相互组合。基于本申请中的实施例,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例,都属于本申请保护的范围。

[0017] 如图1所示,本发明实施例提供了一种基于声阵列的轴流风扇气动失稳辨识方法,包括以下步骤:

步骤一、在进气道靠近进气支板处选择一截面布置六点麦克风阵列位置,并在六点麦克风阵列位置齐平安装声压传感器,同步采样各测点声压信号和轴流风扇转速;

步骤二、对近失稳状态的不同测点声压信号进行截取,根据截取的信号换算转速所在范围确定需要关注的频带;

步骤三、对所截取的声压信号进行声模态重构,按照重构的声模态信号进行快速傅里叶变换;

步骤四、对步骤三的结果进行波谱分析,根据主要模态数判断轴流风扇此时是否出现气动失稳现象。

[0018] 通过风扇进口六点声阵列,利用风扇的声场重构,实现对轴流风扇的气动失稳辨识方法。本发明是一种被动测量方法,节约了发动机成本,较于普通的动态压力测量,本发明的灵敏度要大1000倍,对于小扰动信号更容易辨识,同时利用声阵列获取信号具有高增益、强抗干扰、高空间分辨率的优势。

[0019] 具体地,步骤一包括:六点麦克风阵列布置以进气道周向任一角度为0度,六点麦克风阵列测点位置分别在22.5°、56.25°、112.5°、270°、292.5°和303.75°位置处。

[0020] 步骤一还包括:同步采样的采样率设置为风扇设计转速下转子数最多级转子叶片通过频率的3倍以上。风扇运转时,同步采样各测点声压信号和轴流风扇转速。

[0021] 本发明实施例中,步骤二包括:

当风扇转速相对换算转速小于等于85%(低速段)时,分析一级转子的二倍的转频及以上的频率信号;

当风扇转速相对换算转速大于85%(高速段)时,分析一级转子的二倍的转频以下的频率信号。

[0022] 同时,对截取段近的不同测点声压信号的互相关函数进行时频分析,具体分析公式参见下方公式(1)。提取其关注频带范围里的单音噪声,低转速的关注频率是出现的频率漂移、频率幅值增强和伴频的单音噪声信号,低速段的关注频率是出现的转频的非整数倍的单音噪声信号,高速段的关注频率为转频和2倍转频之间的单音噪声信号。

[0023]
$$R(\tau) = \int p_1(t) * p_2(t + \tau) d\tau \quad (1)$$

其中,需要说明的是, $p_1(t)$ 为其中一个测点获得的声信号, $p_2(t)$ 为另一个测点获得的声信号, $R(\tau)$ 为互相关函数。

[0024] 当风扇转速相对换算转速小于等于85%时,则风扇处于低转速段,当风扇转速相对换算转速大于85%时,则风扇处于高转速段;本实施例中步骤四具体为:对出现关注频率信号的声压信号分别进行转基于GMC罚函数的非凸正则化的声模态重构,按照重构进行快速傅里叶变换。

[0025] 本实施例中,根据已知的压缩感知模型来求解重构声场,压缩感知模型通过GMC可以由内点法、软阈值迭代算法高效求解。其中,GMC正则化的目标函数 $G(\mathbf{x})$ 可以表示为:

$$\begin{aligned} G(\mathbf{x}) &= \max_{\mathbf{f}} \left\{ \|\Theta \mathbf{x} - \mathbf{y}\|_2^2 + \lambda \|\mathbf{x}\|_1 - \lambda \|\mathbf{A}(\mathbf{x} - \mathbf{f})\|_2^2 - \lambda \|\mathbf{f}\|_1 \right\} \\ &= \mathbf{x}^T (\Theta^T \Theta - \lambda \mathbf{A}^T \mathbf{A}) \mathbf{x} + \lambda \|\mathbf{x}\|_1 + \max_{\mathbf{f}} \{g(\mathbf{x}, \mathbf{f})\} \end{aligned} \quad (2)$$

在公式(2)中, $g(\mathbf{x}, \mathbf{f})$ 为一系列凸函数的组合,对于确定的感知矩阵 Θ ,目标函数 $G(\mathbf{x})$ 是凸的,当缩放矩阵满足:

$$\mathbf{A} = \sqrt{\frac{\gamma}{\lambda}} \Theta \quad (3)$$

其中, $\gamma \in (0, 1)$ 为非凸系数。

[0026] 对6个非均布麦克风重构的32个均布麦克风的声压信号进行快速傅里叶变换:

$\mathbf{y}_{(f\ m)} = 2DFFT(\mathbf{y}_t)$, 其中, \mathbf{y}_t 表示所述均布麦克风阵列测量得到的风扇噪声声压时域信号, $FFT(\bullet)$ 表示离散傅里叶变换, $(\mathbf{y}_f)_m = [\mathbf{y}_1(\omega), \mathbf{y}_2(\omega), \dots, \mathbf{y}_N(\omega)]_m^T$ 表示模态m下的不同通道的频域信号。

[0027] 具体地,步骤四还包括:判断关注频率的主要模态数的声压级在低转速段是否达到125dB以上,在高转速段是否达到135 dB以上。

[0028] 其中,当关注频率的主要模态数的声压级在低转速段达到125dB以上,步骤四还包括:当主要模态数与叶片共振节径数或者叶栅之间的声腔模态一致时,则轴流风扇此时出现气动失稳现象。

[0029] 当关注频率的主要模态数的声压级在高转速段达到135 dB以上时,步骤四包括:当主要模态数与轮毂之间的声腔模态一致时,则轴流风扇此时出现气动失稳现象。

[0030] 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权利要求的保护范围为准。

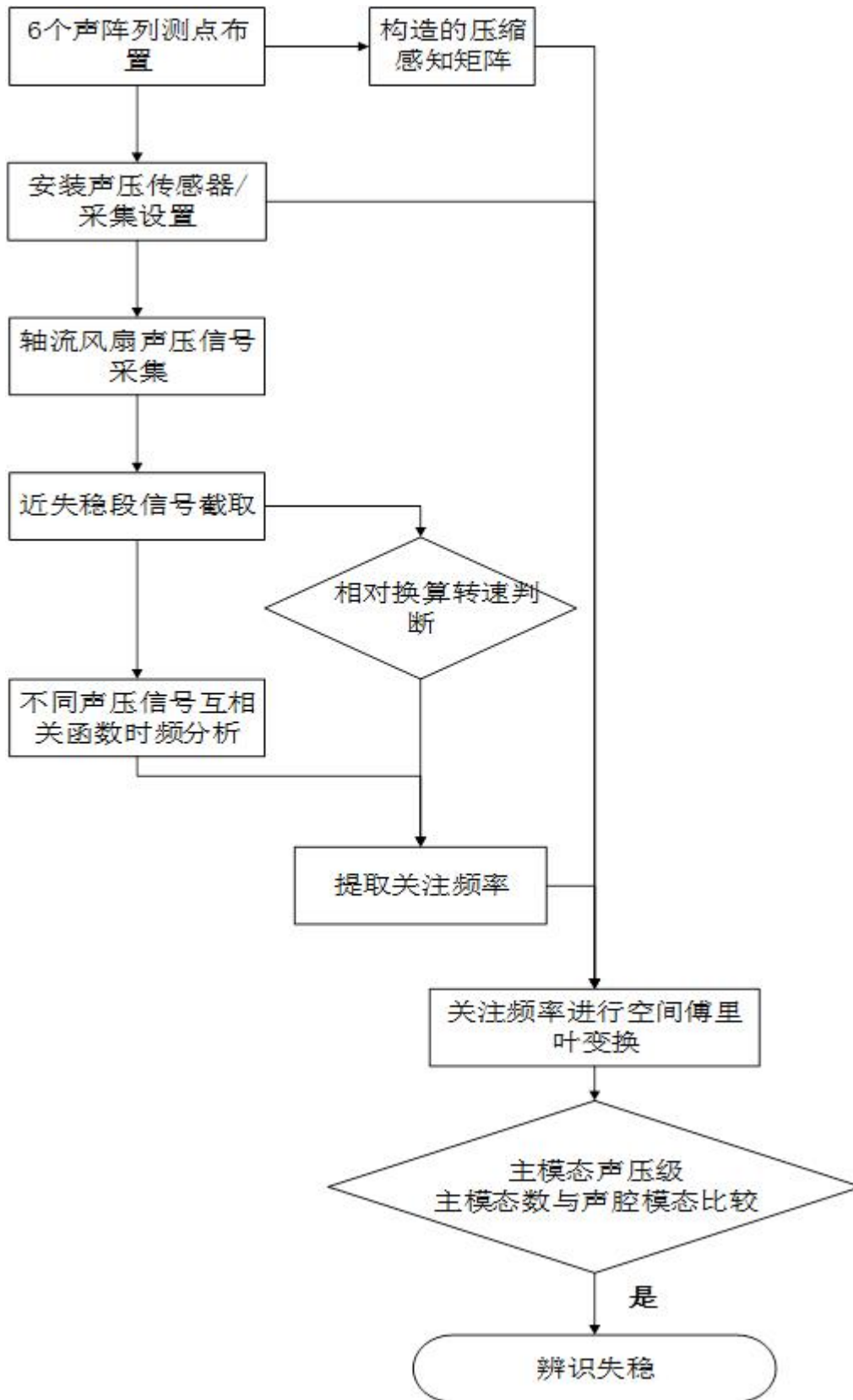


图1