(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 112504121 B
(45)授权公告日 2022.07.05

(21)申请号 202011400048.3
(22)申请日 2020.12.02
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112504121 A
(43)申请公布日 2021.03.16
(73)专利权人 西安航天动力研究所
地址 710100 陕西省西安市航天基地飞天路289号
(72)发明人 王春民 陈晖 杨飒 王猛 马键 高远皓 高新宇
(74)专利代理机构 西安智邦专利商标代理有限公司 61211
专利代理师 王杨洋
(51)Int.Cl.
G01B 11/00(2006.01)
G01C 15/00(2006.01)
审查员 古玖旺

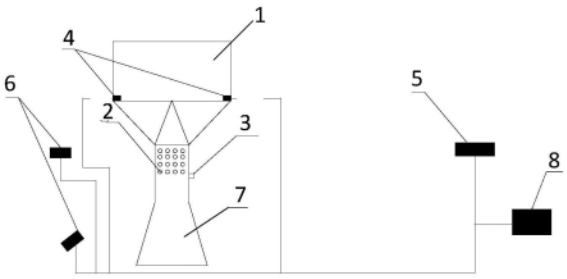
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

一种大推力火箭发动机结构姿态分析方法

(57)摘要

本发明涉及一种大推力火箭发动机结构姿态监测系统与分析方法。本发明的目的是解决现有火箭发动机结构姿态监测系统与分析方法中存在大推力火箭发动机试车的强振动环境下，相机产生的附加位移较大，直接使用数字图像技术识别的主结构位姿变化偏差较大，致使位姿数据无法用于结构可靠性评估分析的技术问题，提供一种大推力火箭发动机结构姿态监测系统与分析方法。本发明通过两台以上高速摄相机组成三维视觉测量域，对大推力火箭发动机结构位移进行全场测量，通过惯导测量及激光跟踪技术，对高速摄影机及试车台由于振动产生的附加位移的进行补偿，获得发动机各部位相对发动机对接端的位姿变化，可实现大推力火箭发动机热试强振动冲击环境的位姿测量。



CN 112504121 B

1.一种大推力火箭发动机结构姿态分析方法，其特征在于，基于一种大推力火箭发动机结构姿态监测系统；

所述大推力火箭发动机结构姿态监测系统包括反光标记点(2)、反光靶球(3)、惯性传感器(4)、激光跟踪仪(5)、控制采集器(8)和至少两个高速摄影机(6)；

所述惯性传感器(4)设置于待测发动机(7)与试车台对接架(1)的对接端，用于测量待测发动机(7)对接端的移动速度及位移信息；

所述反光标记点(2)设置于待测发动机(7)的待测部位，用于位置辨识；

所述至少两个高速摄影机(6)均设置于待测发动机(7)周围，用于形成待测发动机(7)的三维空间视觉测量域；

所述反光靶球(3)设置于待测发动机(7)上，且处于高速摄影机(6)的视觉测量域内；

所述激光跟踪仪(5)设置于远离试车台的位置处，用于实时追踪反光靶球(3)的三维动态轨迹；

所述控制采集器(8)的输入端同时连接惯性传感器(4)、激光跟踪仪(5)和高速摄影机(6)的输出端；

包括以下步骤：

1)将待测发动机(7)对接至试车台，通过试车控制测量系统的试车时统同时触发高速摄影机(6)、激光跟踪仪(5)和惯性传感器(4)，通过控制采集器(8)按照相同的频率采集试车全程的图像数据、反光靶球(3)三维动态轨迹和发动机对接端的移动速度及位移信息；

2)对步骤1)所得图像数据逐帧进行反光标记点(2)检测及反光靶球(3)检测，并根据时间排序，形成包含高速摄影机(6)自身附加位移及试车台对接架(1)位移的发动机位姿信息；

3)利用步骤1)所得反光靶球(3)三维动态轨迹，逐帧比对步骤2)所得发动机位姿信息中的反光靶球(3)位姿信息，以获取逐帧图像数据中高速摄影机(6)的附加位移，利用附加位移对步骤2)所得发动机位姿信息进行补偿修正；

4)根据步骤1)所得发动机对接端的移动速度及位移信息，修正步骤3)所得结果，以获取发动机相对于试车台对接架(1)的位姿变化数据，用于发动机冲击载荷结构响应评估。

2.根据权利要求1所述的大推力火箭发动机结构姿态分析方法，其特征在于：步骤4)中所述的位姿变化数据为位移随时间变化的曲线，该曲线包含轴向X、径向Y和切向Z三个方向的数据。

3.根据权利要求1或2所述的大推力火箭发动机结构姿态分析方法，其特征在于：所述反光靶球(3)有多个，其中至少有1个反光靶球(3)处于高速摄影机(6)的视觉测量域内。

4.根据权利要求3所述的大推力火箭发动机结构姿态分析方法，其特征在于：所述待测部位为待测发动机(7)的涡轮泵和两个喷管。

5.根据权利要求4所述的大推力火箭发动机结构姿态分析方法，其特征在于：所述高速摄影机(6)有两台，帧率均为1000帧/s。

6.根据权利要求5所述的大推力火箭发动机结构姿态分析方法，其特征在于：所述惯性传感器(4)有多个。

一种大推力火箭发动机结构姿态分析方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种大推力火箭发动机，具体涉及一种大推力火箭发动机结构姿态分析方法。

背景技术

[0002] 火箭发动机试车(即热试车)时的结构位移及姿态变化可以表征发动机的工作状态及结构响应，是发动机热试的重要数据。关于火箭发动机可靠性评估(预示)分析所需热试状态的数据目前主要依赖于振动传感器及应变片测量获取，由于测点数量有限，获得的局部数据不能反映宏观的结构响应及实际的危险部位。而基于数字图像相关技术的结构应变及位移测量在结构静力试验中有着广泛应用，在火箭发动机热试中也有应用。但由于在大推力火箭发动机试车的强振动环境下，相机产生的附加位移较大，直接使用数字图像技术识别的主结构位姿变化偏差较大，致使位姿数据无法用于结构可靠性的评估分析(发动机冲击载荷结构响应评估分析)。

发明内容

[0003] 本发明的目的是解决现有火箭发动机结构姿态监测系统与分析方法中存在大推力火箭发动机试车的强振动环境下，相机产生的附加位移较大，直接使用数字图像技术识别的主结构位姿变化偏差较大，致使位姿数据无法用于结构可靠性评估分析的技术问题，提供一种大推力火箭发动机结构姿态分析方法。

[0004] 为解决上述技术问题，本发明提供的技术解决方案如下：

[0005] 本发明提供一种大推力火箭发动机结构姿态分析方法，其特殊之处在于，基于大推力火箭发动机结构姿态监测系统；

[0006] 所述大推力火箭发动机结构姿态监测系统包括反光标记点、反光靶球、惯性传感器、激光跟踪仪、控制采集器和至少两个高速摄影机；

[0007] 所述惯性传感器设置于待测发动机与试车台对接架的对接端，用于测量待测发动机对接端的移动速度及位移信息；

[0008] 所述反光标记点设置于待测发动机的待测部位，用于位置辨识；

[0009] 所述至少两个高速摄影机均设置于待测发动机周围，用于形成待测发动机的三维空间视觉测量域；

[0010] 所述反光靶球设置于待测发动机上，且处于高速摄影机的视觉测量域内；

[0011] 所述激光跟踪仪设置于远离试车台的位置处，用于实时追踪反光靶球的三维动态轨迹；

[0012] 所述控制采集器的输入端同时连接惯性传感器、激光跟踪仪和高速摄影机的输出端；

[0013] 包括以下步骤：

[0014] 1)将待测发动机对接至试车台，通过试车控制测量系统的试车时统同时触发高速

摄影机、激光跟踪仪和惯性传感器，通过控制采集器按照相同的频率采集试车全程的图像数据、反光靶球三维动态轨迹和发动机对接端的移动速度及位移信息；

[0015] 2)对步骤1)所得图像数据逐帧进行反光标记点检测及反光靶球检测，并根据时间排序，形成包含高速摄影机自身附加位移及试车台对接架位移的发动机位姿信息；

[0016] 3)利用步骤1)所得反光靶球三维动态轨迹，逐帧比对步骤2)所得发动机位姿信息中的反光靶球位姿信息，以获取逐帧图像数据中高速摄影机的附加位移，利用附加位移对步骤2)所得发动机位姿信息进行补偿修正；

[0017] 4)根据步骤1)所得发动机对接端的移动速度及位移信息，修正步骤3)所得结果，以获取发动机相对于对接架的位姿变化数据，用于发动机冲击载荷结构响应评估。

[0018] 进一步地，步骤4)中所述的位姿变化数据为位移随时间变化的曲线，该曲线包含轴向X、径向Y和切向Z三个方向的数据。

[0019] 进一步地，所述反光靶球有多个，其中至少有1个反光靶球处于高速摄影机的视觉测量域内。

[0020] 进一步地，所述待测部位为待测发动机的涡轮泵和两个喷管。

[0021] 进一步地，所述高速摄影机有两台，帧率均为1000帧/s。

[0022] 进一步地，所述惯性传感器有多个。

[0023] 本发明相比现有技术具有的有益效果如下：

[0024] 1、本发明提供的大推力火箭发动机结构姿态分析方法，是结合高速摄影视觉测量、激光跟踪测量及惯性传感器测量的多技术融合的动力装置热试的结构响应测量技术。通过两台以上高速摄相机组成三维视觉测量域，对大推力火箭发动机结构位移进行全场测量，通过惯导测量及激光跟踪技术，对高速摄影机及试车台由于振动产生的附加位移的进行补偿，从而克服了传统振动和应变传感器测量测点有限及数字图像相关技术在强振动环境的偏差大的缺点，获得发动机各部位相对发动机对接端的位姿变化，可实现大推力火箭发动机热试强振动冲击环境的位姿(发动机结构振动位移)测量，可精确获取发动机热态试车全程结构响应；所测量的结构位移数据可用于评估发动机性能，同时也可直接用于发动机热试过程的结构响应仿真分析及校核，以预示发动机的结构可靠性。

[0025] 2、利用激光跟踪仪的数据对高速摄影解算的位姿数据进行补偿，可对强振导致的高速摄影机偏转等附加位移进行补偿，获得更为精准的位姿数据，可降低高速摄影机固定减振的设计难度。

[0026] 3、由于大推力发动机布局紧凑、结构复杂，高速摄像机形成的测量空间存在测量盲区，利用激光跟踪仪及惯性传感器测量可对盲区位置的结构位姿信息进行补充测量，获得三维全息位姿数据。

[0027] 4、通过惯性传感器测量发动机对接端的位姿信息可解算发动机相对于试车台对接架的相对位姿数据，该数据可直接应用于发动机基于位姿变化的结构响应仿真。

附图说明

[0028] 图1为本发明大推力火箭发动机结构姿态监测系统的结构示意图；

[0029] 图2为采用本发明大推力火箭发动机结构姿态分析方法所得不同阶段的发动机待测部位的位姿变化数据图，其中，图2(a)为起动段，图2(b)为主级段，图2(c)为关机段，各图

中，A为待测部位一、B为待测部位二，位姿变化数据为位移随时间变化的曲线，该曲线包含轴向X、径向Y和切向Z三个方向的数据。

[0030] 附图标记说明：

[0031] 1-对接架、2-反光标记点、3-反光靶球、4-惯性传感器、5-激光跟踪仪、6-高速摄影机、7-待测发动机、8-控制采集器。

具体实施方式

[0032] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步地说明。

[0033] 本发明的大推力火箭发动机结构姿态分析方法，在数字图像技术应用基础上增加了惯性传感器4技术及激光跟踪技术，可对高速摄影机6振动及试车台附加振动进行补偿，解决热试极端振动环境下发动机全息位姿的准确获取难题，为大推力发动机的研制考核及结构仿真评估提供可靠数据。

[0034] 本发明的大推力火箭发动机结构姿态监测系统，如图1所示，包括多个反光标记点2、多个反光靶球3、多个惯性传感器4、多个激光跟踪仪5、控制采集器8和2个1000帧/s的高速摄影机6；所述惯性传感器4设置于待测发动机7与试车台对接架1的对接端，发动机及试车台、对接架都是被测目标，用于测量待测发动机7对接端的移动速度及位移信息；多个反光标记点2设置于待测发动机7的待测部位(发动机关键部位，如涡轮泵和两个喷管)，用于位置辨识；多个高速摄影机6均设置于待测发动机7周围，经试前标定形成待测发动机7的三维空间视觉测量域；多个反光靶球3置于待测发动机7上，其中至少有1个反光靶球3处于高速摄影机6的视觉测量域内；所述激光跟踪仪5可靠固定设置于远离试车台(远离发动机)的位置处，不受试车台振动的影响，用于实时追踪反光靶球3的三维动态轨迹；所述控制采集器8的输入端同时连接惯性传感器4、激光跟踪仪5和高速摄影机6的输出端。

[0035] 一种大推力火箭发动机结构姿态分析方法，基于上述大推力火箭发动机结构姿态监测系统，包括以下步骤：

[0036] 1)将待测发动机7对接至试车台，通过试车控制测量系统的试车时统同时触发高速摄影机6、激光跟踪仪5和惯性传感器4，通过控制采集器8按照相同的频率采集试车全程的图像数据、反光靶球3三维动态轨迹和发动机对接端的移动速度及位移信息，获得位姿分析的原始数据；

[0037] 2)对步骤1)所得图像数据逐帧进行反光标记点2检测及反光靶球3检测，并根据时间排序，形成包含高速摄影机6自身附加位移及试车台对接架1位移的发动机位姿信息；

[0038] 3)利用步骤1)所得反光靶球3三维动态轨迹，逐帧比对步骤2)所得发动机位姿信息中的反光靶球3位姿信息，以获取逐帧图像数据中高速摄影机6的附加位移，利用附加位移对步骤2)所得发动机位姿信息进行补偿修正；

[0039] 4)根据步骤1)所得发动机对接端的移动速度及位移信息，修正步骤3)所得结果，以获取发动机相对于对接架1的位姿变化数据，位姿变化数据为位移随时间变化的曲线，该曲线包含轴向X、径向Y和切向Z三个方向的数据，用于发动机冲击载荷结构响应评估。

[0040] 经以上处理获得的发动机主结构关键结构的全程位姿数据，其中起动段、主级段及关机段的发动机位姿变化，分别如图2(a)、图2(b)和图2(c)所示，均能够与发动机的工作特性相符，即分析过程所得数据可以验证发动机的工作特性是否满足要求，步骤4)所得发

动机相对于对接架1的位姿变化数据，可作为发动机冲击载荷结构响应评估(预示)的载荷输入。

[0041] 最后应说明的是：以上实施例仅用以说明本发明的技术方案，而非对其限制，对于本领域的普通专业技术人员来说，可以对前述各实施例所记载的具体技术方案进行修改，或者对其中部分技术特征进行等同替换，而这些修改或者替换，并不使相应技术方案的本质脱离本发明所保护技术方案的范围。

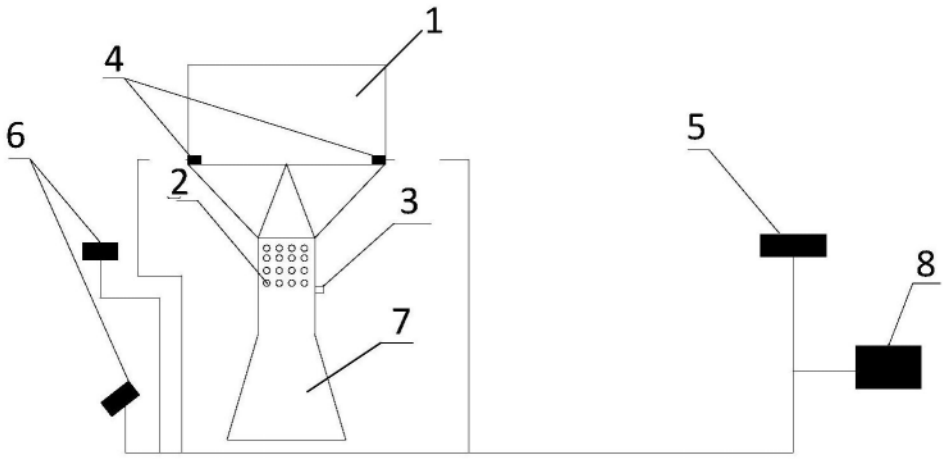

1
4
6
2
3
5
8
7

图1

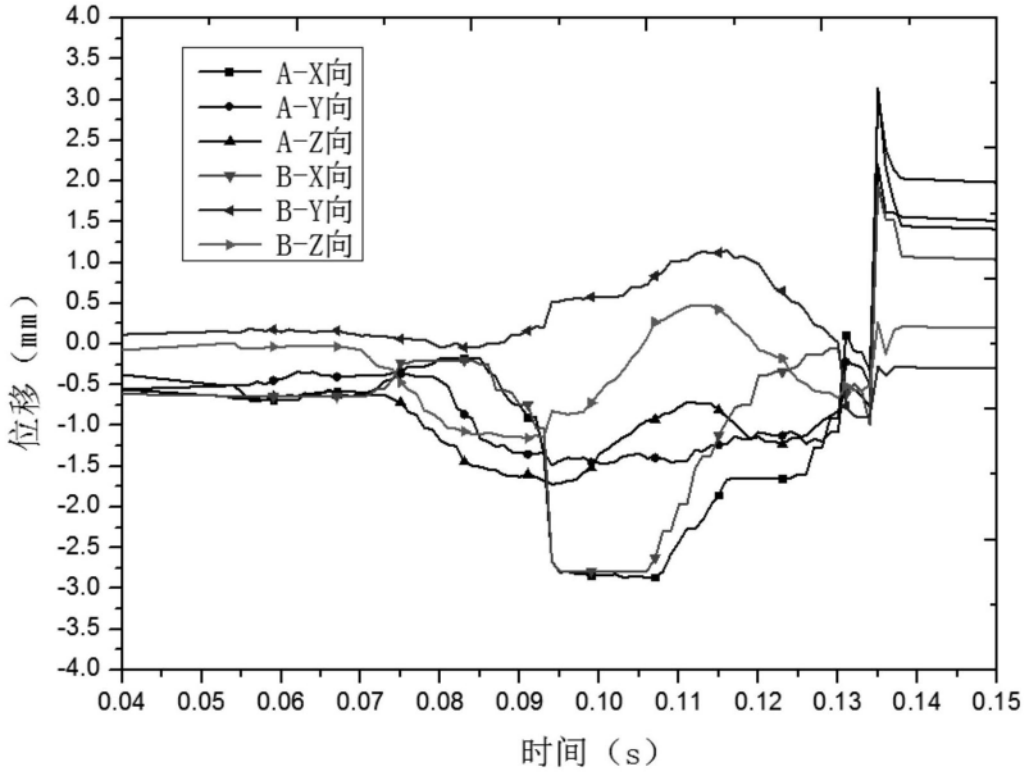

A-X向
A-Y向
A-Z向
B-X向
B-Y向
B-Z向
位移（mm）
时间（s）
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
-0.5
-1.0
-1.5
-2.0
-2.5
-3.0
-3.5
-4.0
0.04
0.05
0.06
0.07
0.08
0.09
0.10
0.11
0.12
0.13
0.14
0.15

图2(a)

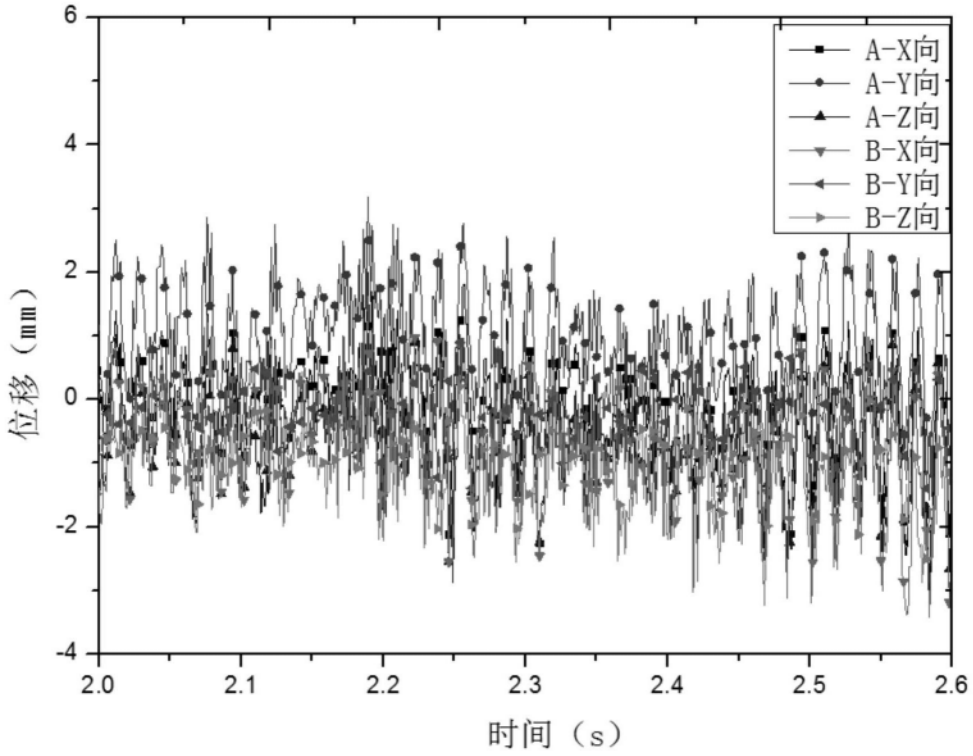

A-X向
A-Y向
A-Z向
B-X向
B-Y向
B-Z向
位移（mm）
时间（s）
6
4
2
0
-2
-4
2.0
2.1
2.2
2.3
2.4
2.5
2.6

图2(b)

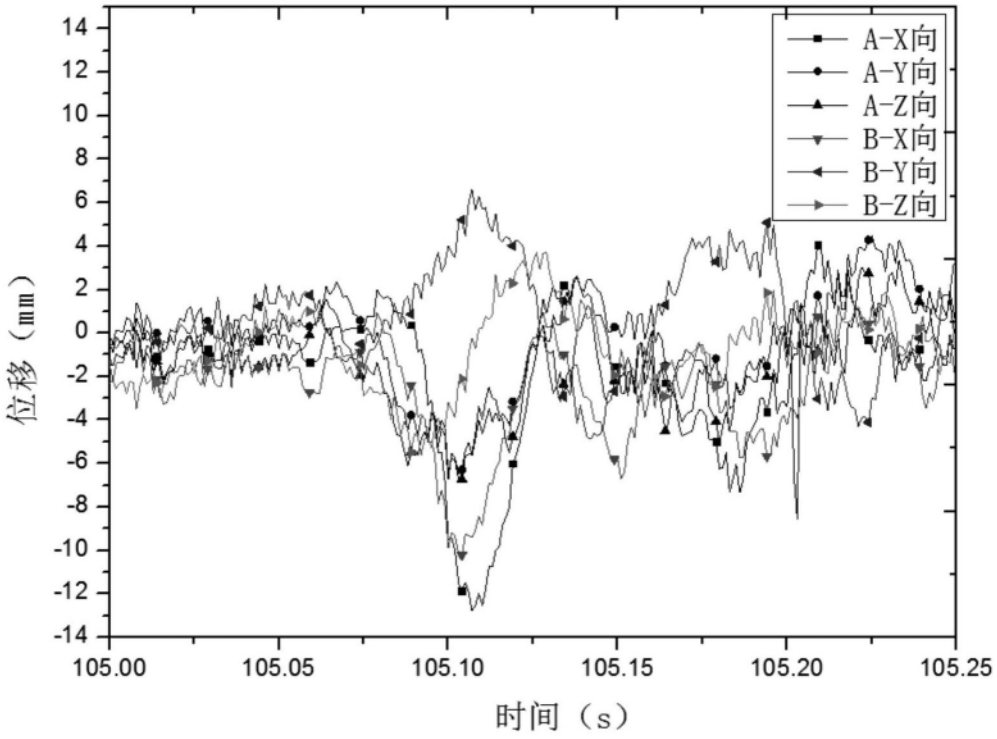

A-X向
A-Y向
A-Z向
B-X向
B-Y向
B-Z向
位移（mm）
时间（s）
14
12
10
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
-12
-14
105.00
105.05
105.10
105.15
105.20
105.25

图2(c)