

文章编号: 1672-2892(2011)01-0092-05

加速度场中工作的六维力传感器软件设计

董洁, 文勇, 洪建忠, 聂飞

(中国工程物理研究院 结构力学研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要: 六维力传感器处于加速度场中, 其自身受到惯性载荷作用产生的力信号和被测试件产生的力信号混合在一起, 传感器系统很难准确给出被测试件产生的受力(矩)情况。本文分析了六维力传感器在离心加速度场中工作的受力情况以及测量工作原理, 给出其在加速度场进行力(矩)测量的解耦方法, 在此基础上, 开发了一套可应用于离心加速度试验的六维力传感器测量软件。经过试验验证, 证明该软件可成功用于离心加速度六维力传感器的动态测量。

关键词: 六维力传感器; 加速度场; 测量软件

中图分类号: TN306

文献标识码: A

Software design of six-dimension force measure in centrifuge's acceleration field

DONG Jie, WEN Yong, HONG Jian-zhong, NIE Fei

(Institute of System Engineering, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621900, China)

Abstract: It is difficult for a force sensor to measure the force when it is in the centrifuge acceleration field. Basing on the fundamental principles on the force measurement and the force analysis of a six-dimensional force sensor in centrifuge acceleration field, this paper introduces a decoupling method in the force measurement, and develops a set of software for measuring six-dimensional force in centrifuge acceleration field. Test results has validate the effectiveness of this software.

Key words: six-dimensional force sensor; centrifuge acceleration field; measurement software

六维力传感器是指用于同时测量三维力信息(F_x, F_y, F_z)和三维力矩信息(M_x, M_y, M_z)的一种传感器, 又称为六分力传感器。六维力测试技术主要应用于机器人腕力测量、风洞试验中试件边界力测试、汽车车轮受力测试、飞机试验台测试、火箭发动机受力测试及有关自动控制系统中。

目前六维力测试问题, 其参考系大都建立在静止的参照物上, 而由于航空航天及智能机械的需要, 有时必须将六维力测试的参考系建立在某加速运动的参照物上, 如在离心机上进行多分力测试, 当六维力传感器自身处于加速度场中时, 其自身受到惯性载荷作用产生的力信号和被测试件产生的力信号混合在一起, 测试系统很难准确给出与外部接触环境有关的全力信息。

本文针对十字架四梁结构六维力传感器在离心加速度场中的受力情况, 对其在加速度场进行力(矩)测量的原理进行研究, 在此基础上, 开发一套可应用于离心加速度试验的六维力传感器测量软件。

1 六维力传感器结构及测量原理

1.1 六维力传感器结构

本文研究的六维力传感器是一种十字架四梁结构力传感器, 结构见图 1, 在该传感器的弹性体上共粘贴有 32 个应变片, 组成 8 个惠斯登电桥输出, 当有力作用在传感器上时, 梁上的应变桥即可感应输出, 通过测量电桥输出并解耦计算就可以得到 6 个被测力分量^[1]。

十字架弹性体解耦, 就是寻找传感器输出读数与对应的作用在传感器坐标原点上的力向量之间的线性关系, 可采用式(1)描述这种线性关系, 式中 C 为标定系数, V 为电压。

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \cdots & C_{18} \\ C_{21} & C_{22} & \cdots & C_{28} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{61} & C_{62} & \cdots & C_{68} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_8 \end{bmatrix} \quad (1)$$

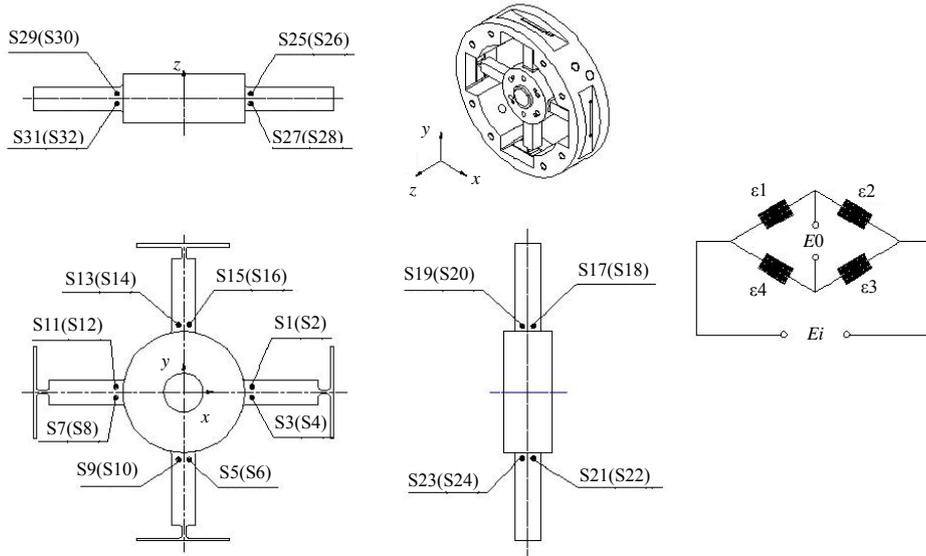


Fig.1 Structure of six-dimensional force sensor
图 1 十字梁传感器结构及应变贴片图

1.2 六维力传感器在离心加速度场的测量原理

当六维力传感器处于离心加速度场中，除受到被测量力的作用外，传感器本身还受到重力加速度和离心加速度的影响(受力示意图见图 2)。

如图 2 所示，假设传感器需要测试的合外力为 $F_a = [F_{ax}, F_{ay}, F_{az}, M_{ax}, M_{ay}, M_{az}]^T$ ，而感受到的外力为 $F_s = [F_{sx}, F_{sy}, F_{sz}, M_{sx}, M_{sy}, M_{sz}]^T$ ，传感器由于自身受到离心加速度和重力加速度的输出的合外力为 $F_{a0} = [F_{ax0}, F_{ay0}, F_{az0}, M_{ax0}, M_{ay0}, M_{az0}]^T$ ，因此可以采用下述方程描述：

$$\begin{cases} F_{ax} = F_{sx} - F_{ax0} \\ F_{ay} = F_{sy} - F_{ay0} \\ F_{az} = F_{sz} - F_{az0} \\ M_{ax} = M_{sx} - M_{ax0} \\ M_{ay} = M_{sy} - M_{ay0} \\ M_{az} = M_{sz} - M_{az0} \end{cases} \quad (2)$$

根据式(2)，为了得到被测量力 F_a ，首先应测量得到 F_{a0} 。要得到 F_{a0} ，作者先对传感器进行离心标定试验，即传感器在不加试件的情况下，离心机对传感器施加离心载荷，采集得到与离心加速度值一一对应的各方向分力输出 F_{a0} 。在离心标定试验的基础上进行装载有试件的正式试验，根据式(2)可以求出 $F_{ax}, F_{ay}, F_{az}, M_{ax}, M_{ay}, M_{az}$ 。

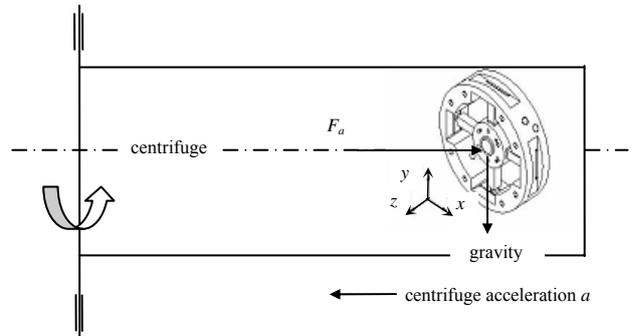


Fig.2 Force analytical graph for six-dimensional force sensor in centrifuge acceleration field
图 2 六维力传感器在离心加速度场工作受力图

2 软件设计

为实现静态标定以及满足加速度场中进行多分力测试的要求，编制了多分力测试静力解耦与惯性效应消除专用测试软件。

2.1 软件功能简要介绍

软件工作流程如图 3 所示，包括六维力传感器的静态标定、六维力传感器离心标定以及离心试验测量等部分。软件主要完成传感器静态标定数据的采集、记录、标定矩阵的计算、离心试验的力解耦计算与数据显示存储等功能。整个软件采用 VB6.0 与 Matlab 混合编制，由 VB 完成软件主框架，Matlab 完成软件中矩阵计算。该测试软件借用了 MatrixVB 工具，它是 MathWorks 针对 VB 提供的一个 Matlab 库，它提供了 600 多个函数，包括基本的数学运算和功能强大的信号处理、线性代数、串运算及图形图像处理等功能^[2]，VB6.0 和 Matlab 混合编程将 Matlab 强大的矩阵运算能力与 VB 图形用户界面开发方面的优势有机结合起来。

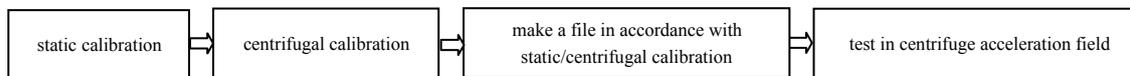


Fig.3 Flow chart of the software

图 3 软件流程图

2.2 静态标定模块

六分力传感器静态标定是利用标定数据获取传感器标定矩阵的操作，软件模块将主要完成标定数据的采集以及通过 MatrixVB 工具根据式(1)生成相应标定数据矩阵和计算传感器的标定解耦矩阵^[3-4]。传感器静态标定和解耦矩阵的计算是离心试验测量的基础。

2.3 离心加速度场中工作的六维力传感器软件模块设计

六维力传感器在离心加速度场中测量分为没有装载试件的传感器离心标定试验和装载有试件的离心正式试验测量两部分，软件设计也由与之对应的两部分构成。

根据模块所需功能而设计的 VB 操作界面包括 4 部分：

- a) 下拉菜单功能选项，选择是离心空载校验还是离心试验测量；
- b) 测量操作功能选项区。该区的主要功能是进行采样间隔设置、初始化测量硬件、测量通道“清零”以及动态校验文件的读入和测量数据文件的存储设置等；
- c) 数据显示区。该区直观地显示力(矩)、加速度测量数据和曲线；
- d) 数采硬件工作状态显示区。

软件主要功能是力传感器输出电压的采集、六维力数据的离心解耦计算、测量数据和曲线显示以及数据的保存。图 4 为测量模块的工作流程框图。软件进行测量和解耦计算的主要部分代码如下^[5]：

```

Private Sub Timer1_Timer()
.....
MeaChdata_matrix = zeros(8) '生成测量通道数据矩阵
BD_matrix = zeros(6, 8) '生成传感器标定矩阵
.....
P_g = collect_1Adata '编制的离心机加速度采集函数
Mea_ChData = imp_data * 1000 - Zero_VData '采集各通道电压数据
  For i = 1 To 8 '把电压测量数据赋值给矩阵
    MeaChdata_matrix.r2(1, i) = Mea_ChData(i)
  Next i
X = mtimes(ChDataMatrix, BD_matrix) '
六维力(矩)数据解耦计算
If LXCalMea = True Then '判断是离心试验测量还是离心校验测量
  For i = 1 To Fkk - 1 '根据当前加速度值查找对应校验文件中六维力(矩)数据
    If P_g <= LX_JSD_Li(i + 1, 0) And P_g > LX_JSD_Li(i, 0) Then
      Exit For
    End If
  
```

```

Next i
  For j = 1 To 6 '离心解耦得到最终的六维力(矩)
测数据
  SG_FM(j) = LX_JSD_Li(i, j) + (P_g -
  LX_JSD_Li(i, 0)) * ((LX_JSD_Li(i + 1, j) -
  LX_JSD_Li(i, j)) / (LX_JSD_Li(i + 1, 0) -
  LX_JSD_Li(i, 0)))
Next j
Else
  For j = 1 To 6
  SG_FM(j) = 0
Next j
End If
.....
End Sub

```

3 软件试验验证

采用本文的解耦方法以及设计的测量软件，进行离心加速度场中六维力传感器的六维力测量。首先进行传感器空载加速度试验，测试结果见图 5，从图中可以看出传感器自身在离心加速度场中，在空载下各分力的输出是比较大的，正式试验测量时需要消除该输出的影响。图 6 为动态消除传感器离心加速度影响后的测量曲线，从图中可以看出，试验得到了需要的被测试件产生的力向量信号，而不需要的力向量经过动态解耦后数值很小，说明该方法和测试软件的设计是切实可行的。

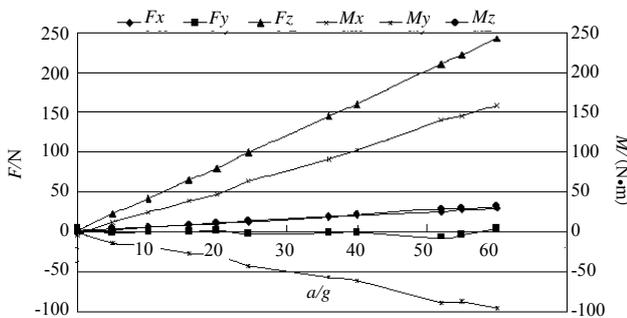


Fig.5 Signal output of sensor in centrifuge acceleration field
图 5 传感器自身受到惯性力作用各分力输出

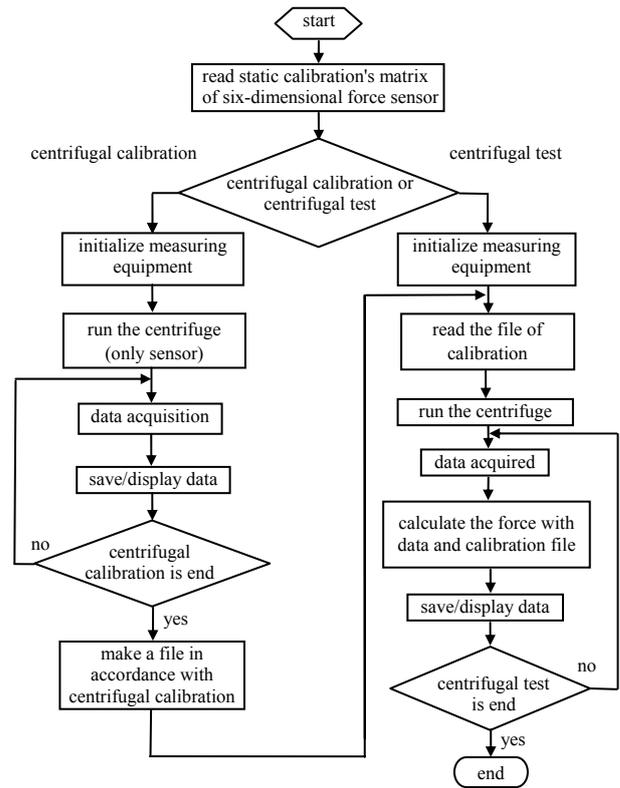


Fig.4 Flow chart of the measurement software
图 4 测量模块的工作流程图

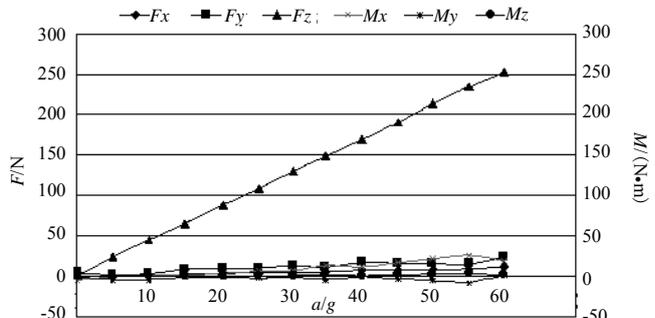


Fig.6 Signal output after system decoupling
图 6 传感器安装被测质量块后离心试验解耦结果

4 结论

文章分析了六维力传感器在离心加速度场工作的受力情况，研究了其在离心加速度场测量的动态解耦方法，基于此，设计了专门的试验测试软件，并经过试验验证，证明该软件用于离心加速度六维力传感器的动态测量是成功的，具有一定实用价值。

参考文献：

[1] 李强. 多分量腕力传感器的标定方法[J]. 武汉造船, 1995,103(4):10-13.
[2] MathWorks 公司. MatrixVB User's Guide[Z]. 1999.
[3] 张晓辉. 六维力传感器静态标定系统软件设计[J]. 计算机测量与控制, 2003(11):988-989,992.
[4] 徐科军,李成. 多维腕力传感器静态解耦的研究[J]. 合肥工业大学学报, 1999,22(2):1-6.
[5] Microsoft Corporation. 中文版程序员指南[M]. 微软(中国)有限公司,译. 北京:希望电子出版社, 1999.