

# 高速主轴不平衡振动分析及 抑制方法研究软件

## 设计说明书

（版本： V1.0）

西安电子科技大学

2017 年 6 月



# 目录

目录 .....	1
1 软件简介 .....	1
1.1 开发工具.....	1
1.2 主要功能.....	1
2 软件结构 .....	2
2.1 高速主轴不平衡振动分析及抑制方法研究软件原理 .....	2
2.2 高速主轴不平衡振动分析及抑制方法研究软件框架 .....	2
3 总体设计 .....	4
3.1 需求概述.....	4
3.2 界面介绍.....	4
3.2.1 角接触球轴承有限元动力学建模.....	4
3.2.2 高速主轴系统有限元动力学建模.....	7
3.2.3 高速主轴不平衡振动行为分析 .....	8
3.2.4 高速主轴的不平衡识别.....	9



# 1 软件简介

## 1.1 开发工具

本软件是基于 **Matlab** 平台的高速主轴不平衡振动分析及抑制方法研究软件，为了保证各软件之间的协调工作，并使系统具有更高的可靠性，根据软件支持的操作系统说明，我们选 **Microsoft Window10** 作为软件系统运行支持。

**Matlab** 有可靠的数值计算和符号计算功能、强大的绘图功能、简单易学的语言体系以及为数众多的应用工具箱。**Matlab** 具有编写用户交互界面的功能，利用 **Matlab GUI** 减少用户操作复杂的源程序。**Matlab** 不仅具有编写程序的功能还具有编写前端的功能。**Matlab** 的灵活性和功能性使他更受开发者的喜爱。

## 1.2 主要功能

本测控软件可以实现以下功能：

- （1）角接触球轴承有限元动力学建模
- （2）高速主轴系统有限元动力学建模
- （3）高速主轴不平衡振动行为分析
- （4）高速主轴的不平衡识别

## 2 软件结构

### 2.1 高速主轴不平衡振动分析及抑制方法研究软件原理

高速主轴不平衡振动分析及抑制方法研究软件的基本原理：通过对角接触球轴承和高速主轴的动力学建模，对高速主轴不平衡振动行为进行分析，最后可以识别得到高速主轴的不平衡量，以此作为高速主轴进行不平衡量的抑制的依据。

高速主轴不平衡振动分析及抑制方法研究软件如图 2.1 所示：

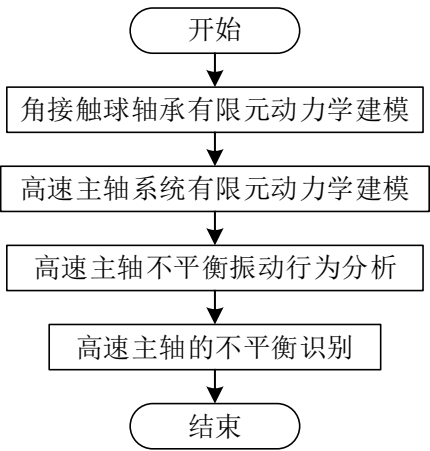


图 2.1 系统原理图

### 2.2 高速主轴不平衡振动分析及抑制方法研究软件框架

本文所设计的 Matlab GUI 软件系统主要包括四个个模块：角接触球轴承有限元动力学建模，高速主轴系统有限元动力学建模，高速主轴不平衡振动行为分析，高速主轴的不平衡识别。其中包括许多子模块包括角接触球轴承刚度的求解，陀螺力矩、离心力矩等参数随位置角、主轴转速、预紧力等变化曲线图的绘制，高速主轴固有频率求解，高速主轴振型曲线的绘制，位移频响曲线的绘制等。其整体结构图如图 1.2 所示：

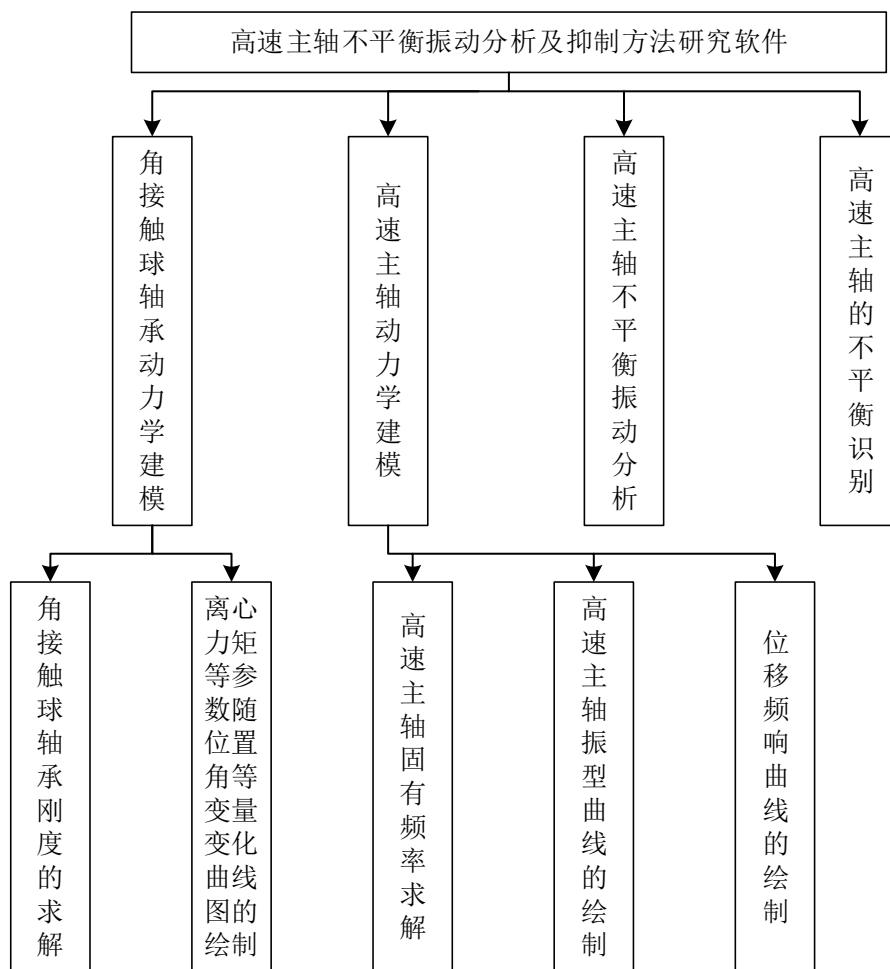


图 2.2 软件系统总体结构图

## 3 总体设计

### 3.1 需求概述

本软件是基于 **Matlab** 的高速主轴不平衡振动分析及抑制方法研究软件，为了实现对高速主轴进行无试重平衡，通过理论建立动力学模型的方式，来实现对高速主轴不平衡量的识别。

为了建立动力学模型就需要进行简化建立高速主轴的模型，通过建立一个梁单元和两个圆盘单元来代替实际的高速主轴。

为了建立高速主轴的有限元动力学模型提前需要进行角接触球轴承有限元动力学建模得到角接触球轴承的刚度矩阵。

为了测试高速主轴的不平衡振动行为，需要给定不平衡激励的情况下测得模型的响应，从而从响应曲线中对高速主轴实现不平衡振动的行为分析。

为了识别高速主轴模型的不平衡量并验证，通过增加理论试重的情况下，通过动力学模型得到高速主轴的识别不平衡量与原始不平衡量对比。

### 3.2 界面介绍

#### 3.2.1 角接触球轴承有限元动力学建模

The GUI is titled "zhouchenggangduquijie" and contains several sections for input and calculation:

- 轴承结构参数 (Bearing Structure Parameters):** Includes fields for inner diameter (70e-3), outer diameter (100e-3), rolling body diameter (6.35e-3), number of rolling bodies (32), initial contact angle (25°), and width (16e-3).
- 轴承材料属性 (Bearing Material Properties):** Includes fields for Young's modulus (2.08e11), Poisson's ratio (0.3), and density (7800).
- 各个参数随位置角变化 (Parameters vs. Position Angle):** Includes fields for load direction (300), load magnitude (400, 200, 2000), speed (10000), and a "画图" (Plot) button.
- 不同参数随轴向预紧的变化 (Axial Preload vs. Parameters):** Includes fields for load direction (300), load magnitude (500), speed (10000, 100000), and a "画图" (Plot) button.
- 不同参数随径向预紧的变化 (Radial Preload vs. Parameters):** Includes fields for load direction (300), load magnitude (0.50, 300), speed (0.4000, 8000), and a "画图" (Plot) button.
- 轴承型号选择 (Bearing Model Selection):** A dropdown menu showing "1".
- 刚度计算 (Stiffness Calculation):** A button to calculate the stiffness matrix.
- 轴承刚度 (Bearing Stiffness):** A table showing the stiffness matrix for 5 different models.

	1	2	3	4	5
1	4.3349e+07	6.7031e+07	8.2422e-08	1.7644e-09	-1.3337e+06
2	6.7034e+07	1.3990e+08	4.8894e-08	1.2951e-09	-2.7629e+06
3	8.8243e-08	5.1223e-08	5.5378e+07	1.1180e+06	-1.1278e-09
4	1.7608e-09	1.0914e-09	1.1180e+06	2.3482e+04	-2.1828e-11
5	-1.3337e+06	-2.7628e+06	-1.0186e-09	-1.8531e-11	5.5907e+04

图 3.1 角接触球轴承刚度计算及个参数随位置角变化 GUI



运行角接触球轴承有限元动力学建模 GUI 后，需要实现进行轴承的结构参数和轴承材料属性参数的设置。其中轴承的结构参数包括：内圈内径、外圈外径、滚动体直径、滚动体总个数、初始接触角、宽度等。轴承材料属性包括：杨氏模量、泊松比、轴承密度等。

点击刚度求解按钮即可以求解角接触球轴承的刚度矩阵，在默认参数下求解的接触球轴承的刚度矩阵如表 3.1。

表 4.1 角接触球轴承刚度矩阵

4.33e+07	6.70e+07	8.24e-08	1.76e-09	-1.33e+06
6.70e+07	1.40e+08	4.90e-08	1.29e-09	-2.75e+06
8.82e-08	5.12e-08	5.54e+07	1.12e+06	-1.28e-09
1.76e-09	1.09e-09	1.12e-09	2.35e+04	-2.18e-11
-1.33e+06	-2.76e+06	-1.02e-09	-1.85e-11	5.60e+04

在绘制曲线图前对框内的预紧力，转速等参数提前进行设置，设置好之后点击绘图按钮就可以得到相应的曲线图。

当 x 方向预紧力不变（默认 300N），y 方向预紧力变化（默认为 0：100：300N）转速在 10000r/min 情况下绘制各个参数随位置角的变化曲线图，运行画图按钮有图 3.2。

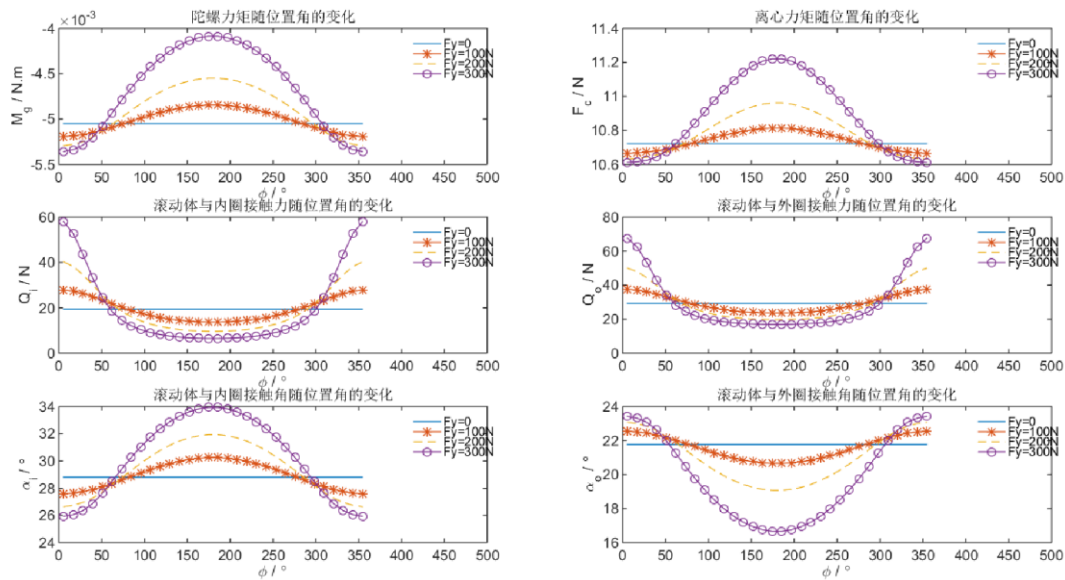


图 3.2 各参数随位置角的变化曲线图

当 y 方向预紧力不变，x 方向的预紧力变化（默认为 400:200:2000N），转速在 10000r/min 时，绘制各个参数随位置角的变化曲线图，运行相应画图按钮有图 3.3。

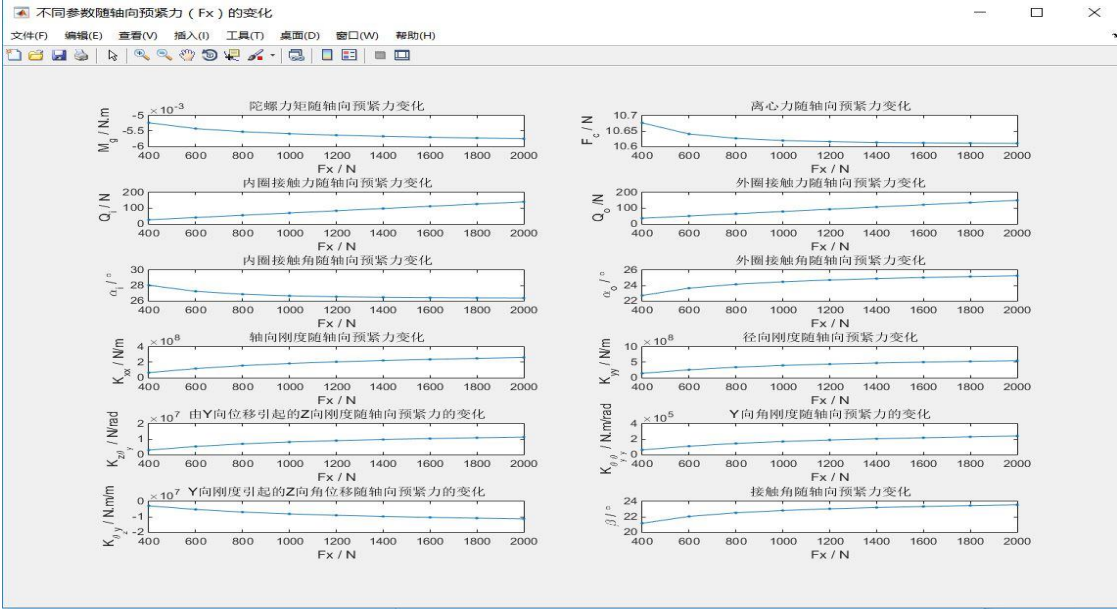


图 3.3 各个参数随 x 方向预紧力的变化曲线图

当 x，y 方向的预紧力均是恒定值得时候，转速是个变量(默认为 0:1000:10000N)，可以绘制各个参数随主轴转速的变化曲线图，如图 3.4。

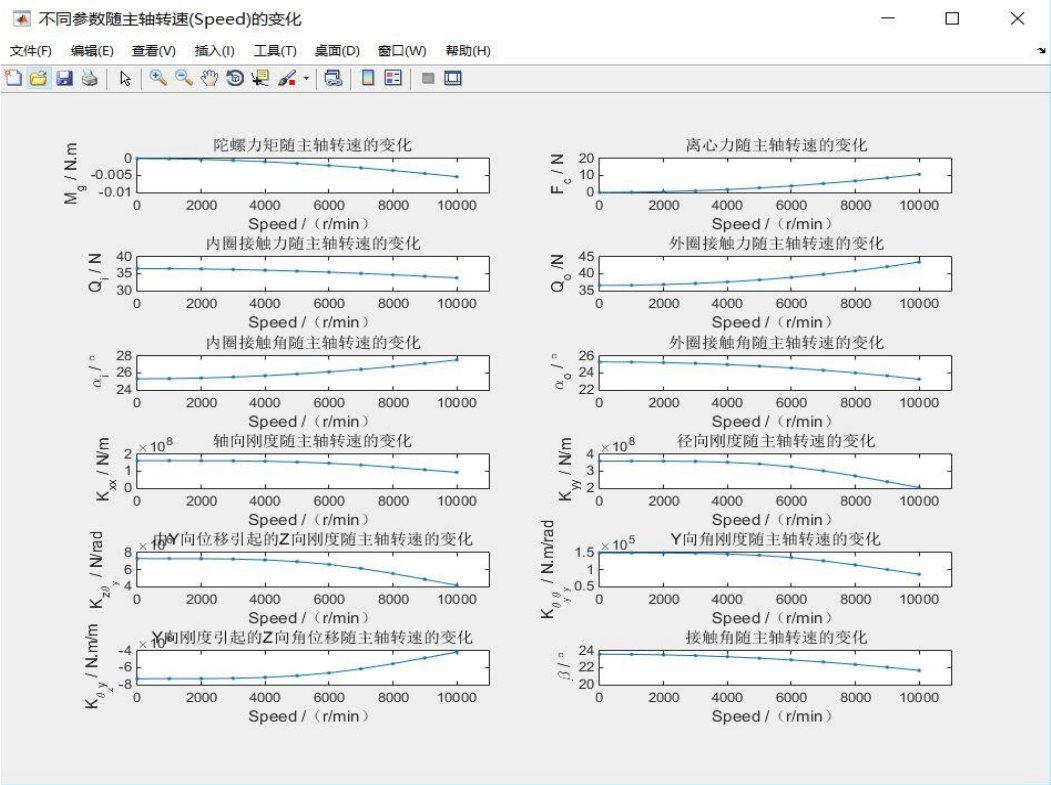


图 3.4 各个参数随主轴转速的变化

当 x 方向预紧力不变(默认为 300N), 主轴转速为 (默认为 0:4000:8000), 可以绘制各个参数随 y 向预紧力 (0:50:300N) 的变化曲线, 点击按钮有图 3.5。

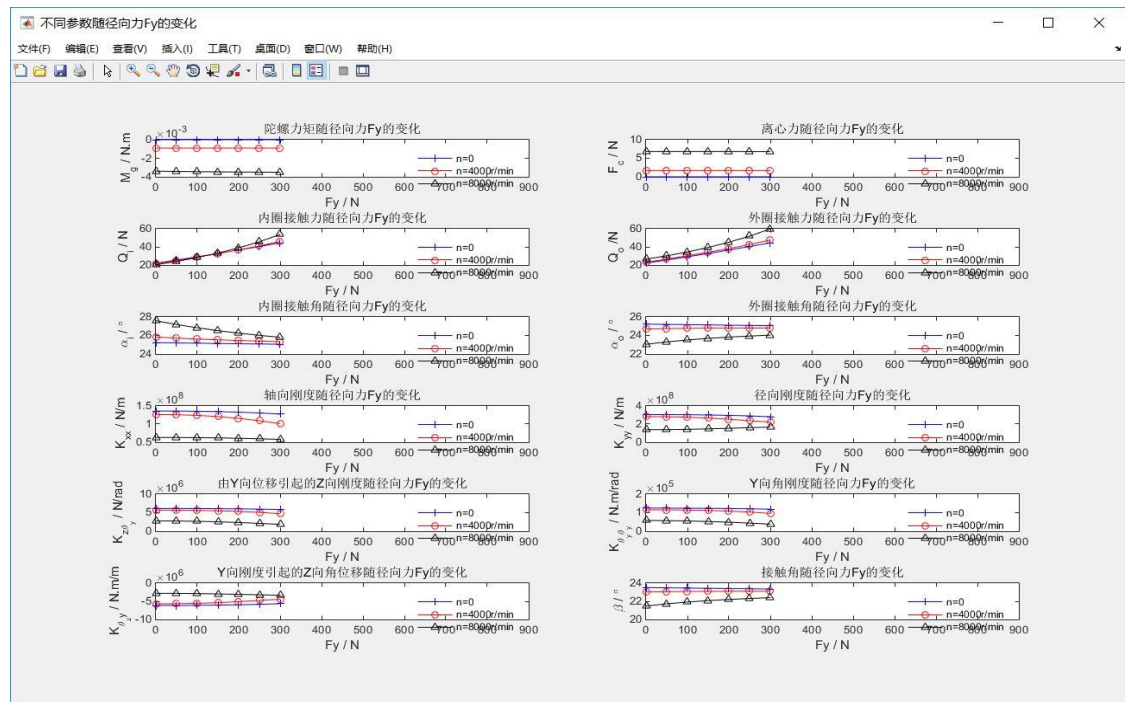


图 3.5 各个参数随径向力的变化参数

### 3.2.2 高速主轴系统有限元动力学建模



图 3.6 高速主轴系统有限元动力学建模

在进行高速主轴系统有限元动力学建模前，需要设置梁单元和圆盘单元的参数。梁单元的参数设置包括：梁单元的个数，转子（梁）及轴承密度，杨氏模量，泊松比，梁单元圆截面剪切系数等。

在计算高速主轴固有频率前，输入固有频率阶数，点击界面计算按钮就可以输出主轴固有频率。

在绘制振型曲线前，输入所需要绘制的振型曲线的阶次，就可以绘制空间振型曲线或者平面振型曲线。

点击位移频响按钮就可以进行位移频响的绘制。

3.2.3 高速主轴不平衡振动行为分析



图 3.7 高速主轴不平衡振动行为分析

在进行高速主轴不平衡振动行为分析前，有三方面的参数设置：梁建模输入参数设置，圆盘建模参数设置，结构参数输入设置。

梁建模的参数设置根据本特利的台子默认载入梁长和轴承的内外径，还需设置转子及轴承的密度、杨氏模量、泊松比、梁单元圆截面剪切系数。

圆盘建模的参数设置包括：圆盘节点数、圆盘厚度、圆盘内外径、圆盘偏心率、初始偏心率、不同圆盘的密度。

结构参数设置包括：主轴前端具有的不平衡质量、主轴前端 Y 向具有的偏心率、主轴前端 Y 向具有的偏心角度、主轴转速、预紧力、轴承节点号。

在绘制主轴在不同激励下个点的相应曲线前需要载入振动分析所需要的各个参数，其中梁单元的梁长，外径，内径是在程序内内置好的只需要默认载入就好了。点击绘图按钮，分别可以绘制主轴各点的 X、Y、Z 平动方向，Y、Z 转动方向的位移、速度、加速度的响应曲线。

3.2.4 高速主轴的不平衡识别

配重盘材料及不平衡位置选择方案

方案一

一阶临界转速/r/min

1500

XB

[60 490]

XT

[120 430]

Xd

[150 230 320 400]

配重盘半径/mm

[30 20 20 30]/1000

圆盘材料方案选择

{LS SA SA LS};

不平衡相位/°

[30 60 115 255]\*pi/180

不平衡质量/g

[0.5 1.5 0.7 1.2]/1000

方案介绍

方案一：第1、4盘为钢，2、3盘为铝，不平衡量位于1、2、3、4盘

输入参数

预紧力/N

[200;0e2;0e2;0e2;0e2]

梁密度/kg/m^3

7.806e3

大盘孔数

16

杨氏模量N/m^2

2.08e11

小盘孔数

10

泊松比

0.3

螺钉质量/g

[0 2.2 0]

配重盘材料相关参数显示

LS(钢)

md= 0.8

Jp= 0.0005725

Jd= 0.00028625

ed= 0.03

输出

画图并计算

原始不平衡量

	1	2
1		
2		
3		
4		

识别的不平衡量

	1	2
1		
2		
3		
4		

图 3.8 高速主轴的不平衡识别

高速主轴不平衡量的识别界面参数输入包括配重盘材料及不平衡位置选择、预紧力、梁密度、大盘和小盘孔数、螺钉质量参数、杨氏模量、泊松比。其中配重盘材料及不平衡位置选择有默认两个方案选择，具体包括：一阶临界转速、配重盘半径、圆盘材料方案（其中 LS 代表刚材料，SA 代表铝材料）、原始不平衡相位、不平衡质量、本特利转子系统结构尺寸（XB、XT、Xd）。XB 代表两轴承基座 在轴上的分布情况，XT 代表测点在轴上的分布情况，Xd 代表圆盘在轴上的分布情况。

输出的参数包括不同材质圆盘的物理属性、原始不平衡量及识别不平衡量的对比输出。

在中间四个盘上添加试重，添加试重的大盘和小盘所对应的试重孔所在圆周半径分别为 30mm 和 15mm，从左到右试重的质量分别为 0.5g、1.5g、0.7g，

1.2g 对应相位分别为  $30^{\circ}$ 、 $60^{\circ}$ 、 $115^{\circ}$ 、 $255^{\circ}$ ，当转速  $n=1500\text{r/min}$ （低于一阶临界转速）时，原始不平衡量和识别不平衡量的对比结果见图 3.9。

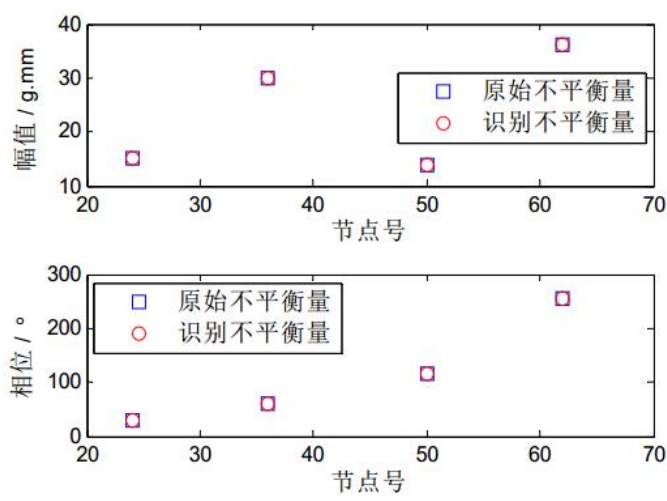


图 3.9 识别不平衡量与原始不平衡量