



上海交通大学
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

智能动平衡实验 实验指导书

任课教师: _____

学生姓名: _____

班 级: _____

学 号: _____

基础实验与创新实践教学中心

机械与动力工程学院

上海交通大学

智能动平衡实验

动平衡实验是设计与制造 II、机械设计基础等机械核心课程中重要的专业基础实验内容之一。实验台是基于虚拟测试技术的一种创新型智能化动平衡实验系统。它可在硬支承的机架上，不经调整即可实现硬支承动平衡的 A, B, C 尺寸法解算和软支承的影响系数法解算。不但可进行动平衡校正而且可进行静平衡校正。本系统利用高精度的压电晶体传感器进行测量，采用先进的计算机虚拟测试技术、数字信号处理技术和小信号提取方法，达到智能化检测目的。智能动平衡实验台可通过动态实时检测曲线了解实验的全过程，可通过人机对话的方式生动、形象地完成检测过程。

一、实验目的

- 1、巩固学生对回转体动平衡基础知识点及回转体动平衡概念的深入理解；
- 2、了解动平衡实验台的结构及工作原理，通过参数化和可视化的方法，观察转子动平衡虚拟实验的平衡效果，学会实验台的使用方法；
- 3、掌握刚性转子动平衡实验的原理及其基本实验方法；
- 4、转子的动平衡过程中平衡精度确定和应用动平衡的操作方法。

二、实验设备及工具

该智能动平衡实验台测试系统主要由计算机、数据采集器、高灵敏度电力传感器和光电相位传感器等组成。



图 1 智能动平衡实验台

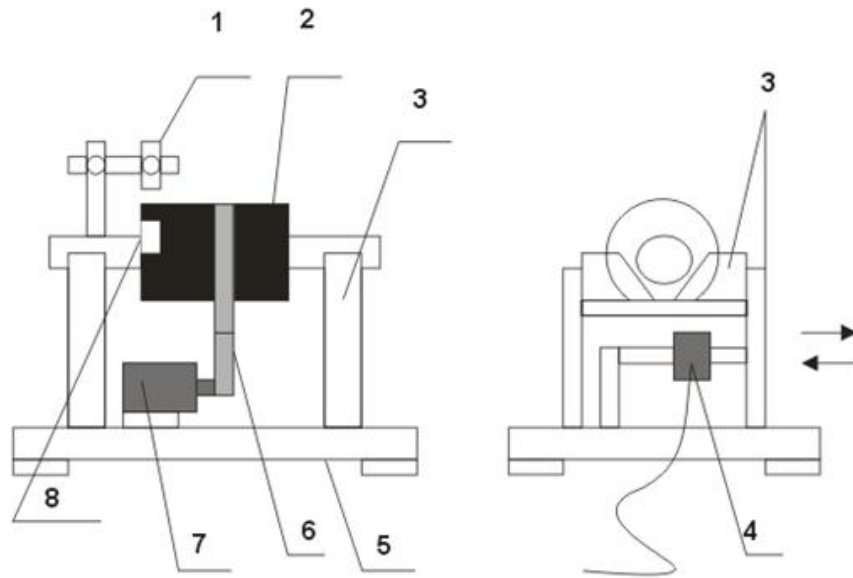


图2 实验台结构图

- 1、光电传感器 2、被试转子 3、硬支承摆架组件 4、压力传感器 5、减振底座 6、传动带 7、电动机 8、零位标志

三、实验台工作原理

转子动平衡检测是一般用于轴向宽度 B 与直径 D 的比值大于 0.2 的转子（小于 0.2 的转子适用于静平衡）。转子动平衡检测时，必须同时考虑其惯性力和惯性力偶的平衡，即 $P_i=0, M_i=0$ 。如图 3 所示，设一回转构件的偏心重 Q_1 及 Q_2 分别位于平面 I 和平面 II 内， r_1 及 r_2 为其回转半径。当回转体以等角速度回转时，它们将产生离心惯性力 P_1 及 P_2 ，形成一空间力系。

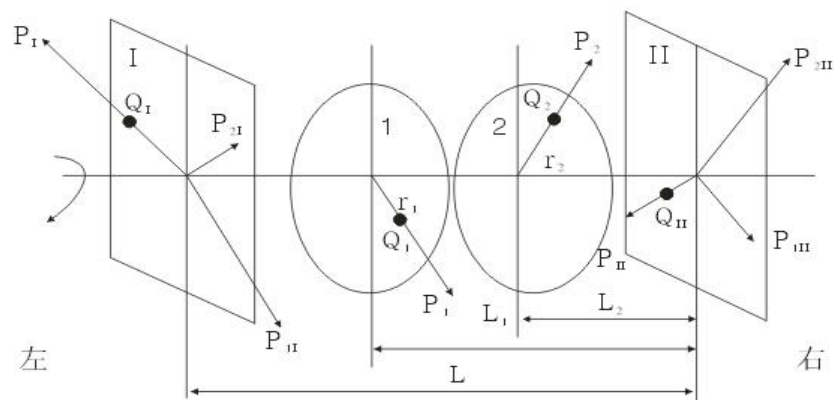


图3 实验原理

由理论力学可知，一个力可以分解为与它平行的两个分力。因此可以根据该

回转体的结构，选定两个平衡基面 I 和 II 作为安装配重的平面。将上述离心惯性力分别分解到平面 I 和 II 内，即将力 P1 及 P2 分解为 P1I 及 P2I（在平面 I 内）及 P1II 及 P2II（在平面 II 内）。这样就可以把空间力系的平衡问题转化为两个平面汇交力系的平衡问题了。显然，只要在平面 I 和 II 内各加入一个合适的配重 QI 和 QII，使两平面内的惯性力之和均等于零，构件也就平衡了。

当被测转子在部件上被拖动旋转后，由于转子的中心惯性主轴与其旋转轴线存在偏移而产生不平衡离心力，迫使支承做强迫震动，安装在左右两个硬支撑机架上的两个有源压电力传感器感受此力而发生机电换能，产生两路包含有不平衡信息的电信号输出到数据采集装置的两个信号输入端；与此同时，安装在转子上方的光电相位传感器产生与转子旋转同频同相的参考信号，通过数据采集器输入到计算机。

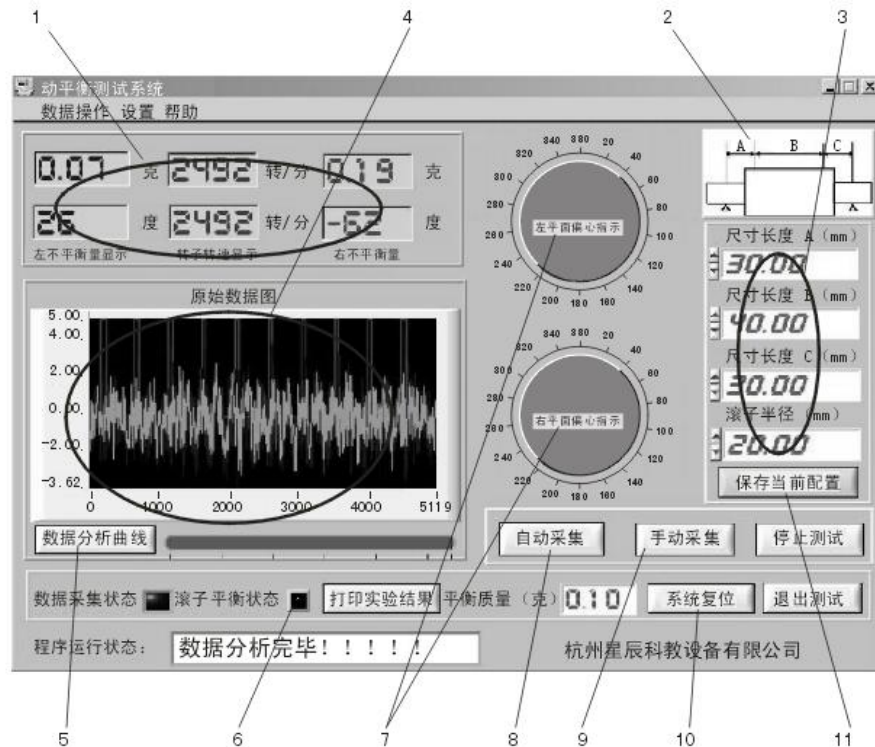
计算机通过采集器采集此三路信号，由虚拟仪器进行前置处理，跟踪滤波，幅度调整，相关处理，FFT 变换，校正面之间的分离解算，最小二乘加权处理等。最终算出左右两面的不平衡量（克），校正角（度），以及实测转速（转/分）。与此同时，给出实验过程的数据处理方法，FFT 方法的处理过程，曲线的变化过程，使同学们加深印象，一目了然。



四、系统软件介绍

1、系统主界面

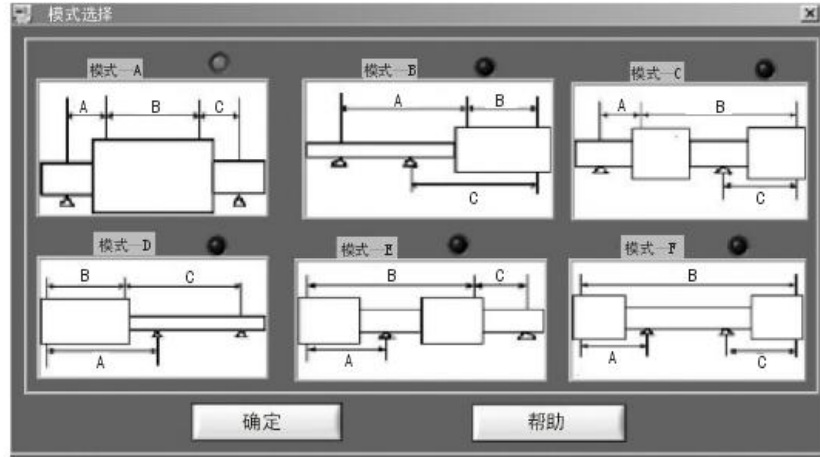
通过点击系统启动程序可进入系统主界面。



- 1) 测试结果显示区域:包括左右不平衡量显示、转子转速显示、不平衡方位显示。
- 2) 转子结构显示区:学生可以通过双击当前显示的转子结构图,直接进入转子结构选择图,选择需要的转子结构。
- 3) 转子参数输入区域:在进行计算偏心位置和偏心量时,需要学生输入当前转子的各种尺寸,如图上所示的尺寸,在图上没有标出的尺寸是转子半径,输入数值均是以毫米(mm)为单位的。
- 4) 原始数据显示区:该区域是用来显示当前采集的数据或者调入的数据的原始曲线,在该曲线上学生可以看出机械振动的大概情况,根据转子偏心的大小,在原始曲线上学生可以看出一些周期性的振动情况。
- 5) 数据分析曲线显示按钮:通过该按钮可以进入详细曲线显示窗口,可以通过详细曲线显示窗口看到整个分析过程。
- 6) 指示出检测后的辊子的状态,灰色为没有达到平衡,蓝色为已经达到平衡状态。平衡状态的标准通过“允许不平衡质量”栏由学生设定。
- 7) 左右两面不平衡量角度指示图,指针指示的方位为偏重的位置角度。
- 8) 自动采集按钮,为连续动态采集方式,直到停止按钮按下为止。
- 9) 单次采集按钮。
- 10) 复位按钮,清除数据及曲线,重新进行测试。

11) 工件几何尺寸保存按钮开关，点击该开关可以保存设置数据（重新开机数据不变）。

2、模式设置界面



上图是一般转子的结构图，学生可以通过鼠标来选择相应的转子结构来进行实验。每一种结构对应了一个计算模型，学生选择了转子结构同时也选择了该结构的计算方法。

3、采集器标定窗口

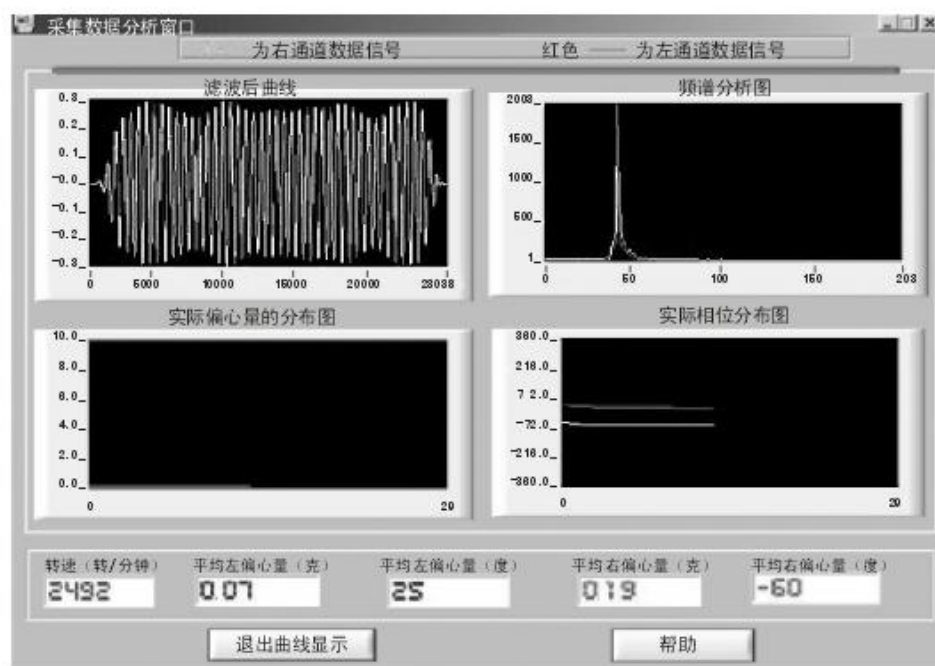


学生进行标定的前提是有一个已经平衡了的转子，在已经平衡了的转子上的 A, B 两面加上偏心重量，所加的重量（不平衡量）及偏角（方位角）学生从“标定数据输入窗口”输入，启动装置后，学生通过点击“开始标定采集”来开始标定的第一步，这里需要注意的是所有的这些操作是针对同一结构的转子进行标定的，以后进行转子动平衡时应该是同一结构的转子，如果转子的结构不同则需要重新标定。“测试次数”由学生自己设定，次数越多标定的时间越长，一般 5~10 次。“测试原始数据”栏只是学生观察数据栏，只要有数据表示正常，反之为不正常。“详细曲线显示”学生可观察标定过程中数据的动态变化过程，来判断标定数据的准确性。

在数据采集完成后，计算机采集并计算的结果位于第二行的显示区域，学生可以将手工添加的实际不平衡量和实际的不平衡位置填入第三行的输入框中，输入完成并按“保存标定结果”按钮，“退出标定”完成该次标定。

4、数据分析窗口

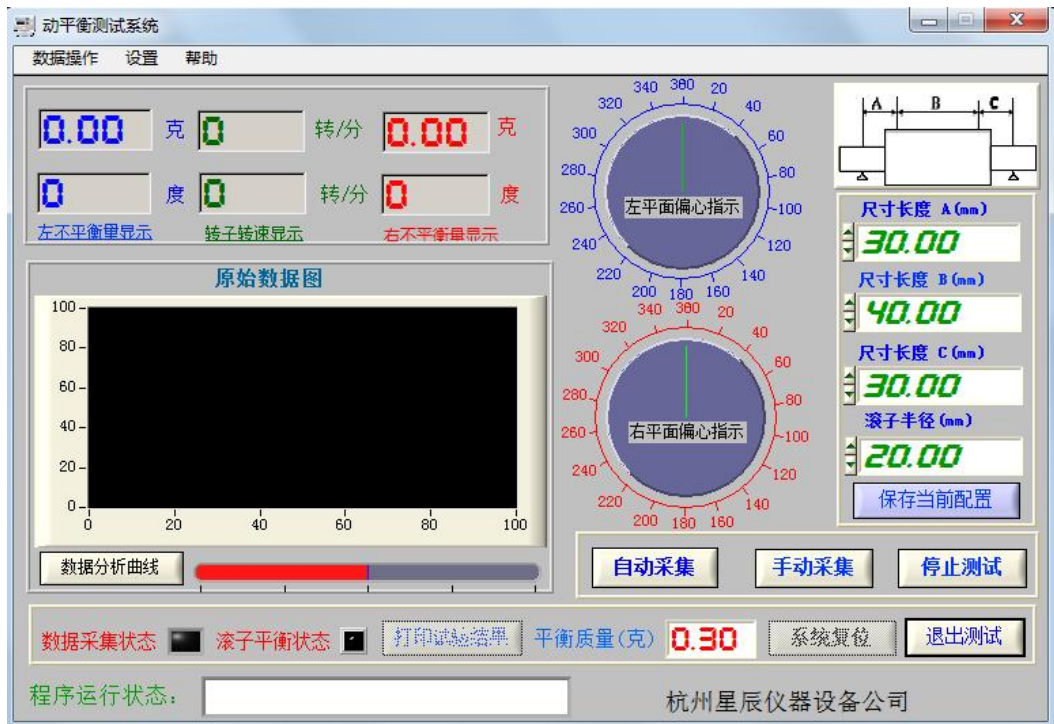
按“数据分析曲线”键，如下图所示，可详细了解数据分析过程。



- 1) 滤波器窗口：显示加窗滤波后的曲线，横坐标为离散点，纵坐标为幅值。
- 2) 频谱分析图：显示 FFT 变换左右支撑振动信号的幅值谱，横坐标为频率，纵坐标为幅值。
- 3) 实际偏心量分布图：自动检测时，动态显示每次测试的偏心量的变化情况。横坐标为测量点数，纵坐标为幅值。
- 4) 实际相位分布图：自动检测时，动态显示每次测试的偏相位角的变化情况。横坐标为测量点数，纵坐标为偏心角度。
- 5) 最下端指示栏指示出每次测量时转速、偏心量、偏心角的数值。

五、智能动平衡实验步骤

1、启动动平衡实验系统



2、选择动平衡模式

点击“动平衡实验系统”，出现“动平衡实验系统”的虚拟仪器操作前面板，点击左上“设置”菜单功能键的“模式设置”功能，屏幕上出现模型 ABCDEF 六种模型。根据动平衡元件的形状，选择其模型格式。选中的模型右上角的指示灯变红，点击“确定”，回到虚拟仪器操作前面板。在前面板右上角就会显示所选定的模型形态。量出你所要平衡器件的具体尺寸，并根据图示平衡件的具体尺寸，将数字输入相应的 A、B、C、框内。点击“保存当前配置”键，仪器就能记录、保存这批数据，作为平衡件相应平衡公式的基本数据。只要不重新输入新的数据，此格式及相关数据不管计算机是否关机或运行其它程序，始终保持不变。

3、系统标定

1) 点击“设置”框的“系统标定”功能键，屏幕上出现仪器标定窗口。将两块 2 克重的磁铁分别放置在标准转子左右两侧的零度位置上，在标定数据输入窗口框内，将相应的数值分别输入“左不平衡量”、“左方位”；“右不平衡量”及“右方位”的数据框内（按以上操作，左、右不平衡量均为 2 克，左、右方位均是零度），启动动平衡试验机，待转子转速平稳运转后，点击“开始标定采集”，下方的红色进度条会作相应变化，上方显示框显

示当前转速，及正在标定的次数，标定值是多次测试的平均值。

2) 平均次数可以在“测量次数”框内人工输入，一般默认的次数为 10 次。标定结束后应按“保存标定结果”键，完成标定过程后，按“退出标定”键，即可进入转子的动平衡实际检测。标定测试时，在仪器标定窗口“测试原始数据”框内显示的四组数据，是左右两个支撑输出的原始数据。如在转子左右两侧，同一角度，加入同样重量的不平衡块，而显示的两组数据相差甚远，应适当调整两面支撑传感器的顶紧螺丝，可减少测试的误差。

4、动平衡测试

1) 手动(单次)

手动测试为单次检测，检测一次系统自动停止，并显示测试结果。

2) 自动(循环)

自动测试为多次循环测试，操作者可以看到系统动态变化。按“数据分析曲线”键，可以看到测试曲线变化情况。需要注意的是：要进行加重平衡时，在停止转子运转前，必须先按“停止测试”键，使软件系统停止运行，否则会出现异常。

5、实验曲线分析

在数据采集过程中，或在停止测试时，都可在前面板区按“数据分析曲线”键，计算机屏幕会切换到“采集数据分析窗口”，该窗口有四个图形显示区和 5 个数字显示窗口，它们分别是“滤波后曲线”、“频谱分析图”、“实际偏心量分布图”和“实际相位分布图”四个图形显示区和转速，左右偏心量及偏心角五个数字显示窗口，该分析窗口的功能主要是将实验数据的整个处理过程，详细的展示在学生面前，使学生进一步认识到如何从一个混杂着许多干扰信号的原始信号中，通过数字滤波、FFT 信号频谱分析等数学手段提取有用的信息，该窗口不仅显示了处理的结果，还交代了信号处理的演变过程，这对培养学生解决问题、分析问题的能力是很有意义的。在自动测试情况下（即多次循环测试），从“实际偏心量分布图”和“实际相位分布图”可以看到每次测试过程当中的偏心量和相位角的动态变化，曲线变化波动较大说明系统不稳定要进行调整。

6、平衡过程

本实验装置在做动平衡实验时，为了方便起见一般是用永久磁铁配重，作加重平衡实

验，根据左、右不平衡量显示值（显示值为去重值），加重时根据左、右相位角显示位置，在对应其相位 180 度的位置，添置相应数量的永久磁铁，使不平衡的转子达到动态平衡的目的。在自动检测状态时，先在主面板按“停止测试”键，待自动检测进度条停止后，关停动平衡实验台转子，根据实验转子所标刻度，按左、右不平衡量显示值，添加平衡块，其质量可等于或略小于面板显示的不平衡量，然后，启动实验装置，待转速稳定后，再按“自动测试”，进行第二次动平衡检测，如此反复多次，系统提供的转子一般可以将左、右不平衡量控制中 0.1 克以内。在主界面中的“允许偏心量”栏中输入实验要求偏心量（一般要求大于 0.05 克）。当“转子平衡状态”指示灯由灰色变蓝色时，说明转子已经达到了所要求的平衡状态。

由于动平衡数学模型计算理论的抽象理想化和实际动平衡器件及其所加平衡块的参数多样化的区别，因此动平衡实验的过程是个逐步逼近的过程。

7、动平衡实验操作示例

- 1) 接通实验台和计算机 USB 通信线，并装上密码狗，（此时应关闭实验台电源）
- 2) 打开“测试程序界面”，然后打开实验台电源开关，并打开电机电源开关，点击开始测试。这时应看到绿、白、蓝三路信号曲线。如没有应检查传感器的位置是否放好。
- 3) 三路信号正常后点击退出测试，退出“测试程序”。然后双击“动平衡实验系统界面”进入实验状态。
- 4) 测量 A、B、C 及转子半径尺寸输入各自窗口，然后点击“设置”窗口进入“系统标定”界面 在标定数据输入窗口输入左、右不平衡量及左右方位度数（一般以我们给的最大重量磁钢 2g 作标定，方位放在 0 度），数据输入后点击“开始标定采集”窗口开始采集。这时可以点击“详细曲线显示”窗口，显示曲线动态过程。等测试十次后自动停止测试。点击“保存标定结果”窗口，回到原始实验界面，开始实验。
- 5) 点击“自动采集”窗口，采集 35 次数据比较稳定后点击“停止测试”窗口，以左右放 1.2 克为例，左边放在 0 度，右边放在 270 度。这时数据显示为：

左右

1.32克	1120转	1.22克
0度	1120转	280度

然后在左边 180 度处放 1.2 克，在右边 280 度对面（ $280+180-360=100$ ）100 度处放 1.2 克，点击“自动采集”。开始采集 35 次后点击停止测试。这时数据为：

左		右
0.45克	1105转	0.12克
283度	1105转	265度

若我们设定左、右不平衡量 ≤ 0.3 克时即为达到平衡要求。这时左边还没平衡右边已平衡。在左边 283 度对面 103 度处放 0.4 克，点击自动采集，采集 35 次后数据为：

0.16克	1168转	0.13克
-17度	1168转	-94度

这时两边都 ≤ 0.3 克，“滚子平衡状态”窗口出现红色标志，点击“停止测试”。

打开“打印试验结果”窗口，出现“动平衡试验报表”，可以看到整个实验结果，结束实验。

动平衡实验报告

姓名：_____ 班级：_____ 任课教师：_____
指导教师：_____ 实验日期：_____

一、实验目的

二、实验原理

三、实验步骤

四、实验数据分析与处理

五、实验总结

六、思考题

七、实验意见与建议