

# 《机械工程基础实验》

## 实 验 指 导 书

### 机械原理实验 1

凸轮运动精密测量实验

回转件动平衡实验

浙江大学机械工程实验教学中心

2024 年 9 月

## 实验一 凸轮运动精密测量实验

### 一、实验问题的提出

凸轮机构广泛应用于自动机械和自动控制装置中，只需设计出适当的凸轮轮廓，便可使从动件得到各种预期的运动规律，响应快速，机构简单紧凑。凸轮机构的运动和动力特性优劣虽然与设计时所选用的从动件运动规律及凸轮机构的基本尺寸等因素有关，但这是预期的工作性能。机构实际工作性能还取决于凸轮轮廓的加工质量。凸轮轮廓经机械加工及必要的热处理、表面处理后，轮廓曲线上各点的几何尺寸是否符合设计要求必须经过测量，且对测得的数据进行分析处理才能评定。

凸轮机构工作性能的反求，是对有关设备剖析的工作任务之一。如引进机械设备中的凸轮配置备件。在未掌握有关设计资料和加工图纸时，就用原始凸轮作靠模直接复制。但是，复制结果往往不能达到原始的工作性能。由于原始凸轮的轮廓曲线也必然包含一定的加工误差，所以盲目地复制则很可能导致凸轮备件的工作性能偏离原始的设计性能指标。通过对原始凸轮轮廓和机构的基本尺寸的检测和分析计算，分离其内含的加工误差因素，反求从动件的位移、类速度和类加速度的数值函数变化规律，使复制的凸轮备件的实际工作性能达到甚至优于原设计指标。

因此，凸轮廓线检测有其实际的工程应用意义。

### 二、实验目的

- 1、利用实验台凸轮廓线的手动测试和自动测试功能，通过实验了解凸轮廓线的测试方法；
- 2、通过计算机对凸轮机构从动件（摆动和直动）的运动参数进行采集、处理，做出实测的从动件运动规律实测曲线，深入了解不同规律的盘形凸轮和圆柱凸轮机构的运动特点。
- 3、通过凸轮机构运动参数曲线实测结果和理论仿真曲线的对比，比较两者之间的差异，分析误差原因。
- 4、利用实验台凸轮机构从动件的运动规律反求功能，了解根据凸轮轮廓的检测数据和测量获得的机构基本尺寸，反求从动件的位移、类速度和类加速度的数值函数变化规律的方法

### 三、实验设备及工具

#### （一）实验系统组成

本实验的实验系统框图如图 1-1 所示，它由以下设备组成：

- 1、多种凸轮实验机构 1 套。
- 2、凸轮轴角位移传感器、角度盘，各 1 个，测量凸轮回转轴角位移。
- 3、直动从动件位移传感器、百分表，各 1 个，测量直动从动件位移。
- 4、摆动从动件角位移传感器 1 个，测量摆动从动件摆动角位移。
- 5、凸轮机构运动精密测量系统（单片机系统）。

6、计 算 机

7、打印机

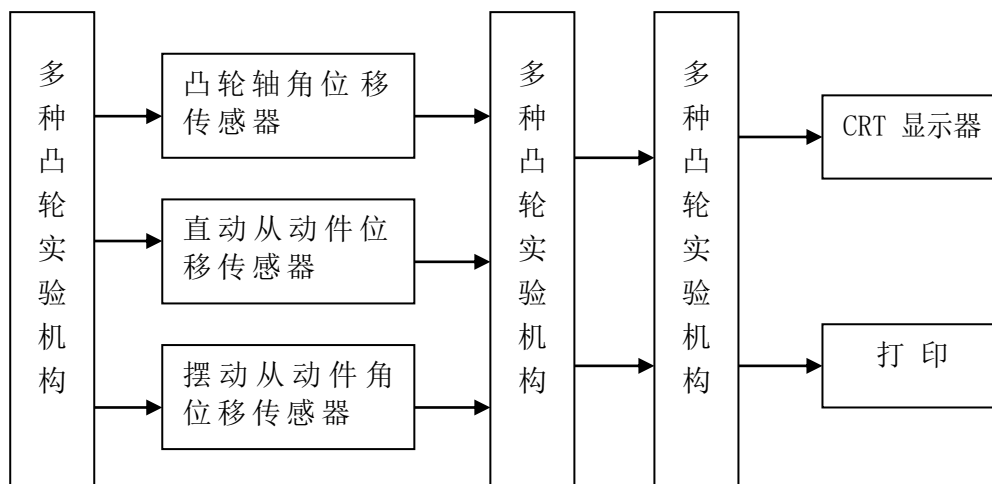


图 1-1 实验系统框图

## （二）实验台结构、功能与特点

如图 1-2 所示，凸轮运动精密测量实验台主要由蜗轮蜗杆减速器 1、编码器 2、电机 3、实验台底柜 4、指针 5、盘形凸轮 6、刻度盘 7、从动件测量头 8(可分为尖顶、平底、滚子形式，根据实验要求替换)、从动件升降滑块 9、从动件升降支架座 10、光栅尺 11、光栅直线传感器座 12、手轮 13、百分表 14 等组成。

凸轮实验台凸轮轮廓曲线、凸轮机构从动件的运动规律检测，具有手动测试和自动测试功能。手动测试实现静态测量，手动转动手轮 11，凸轮回转一定角度，使用刻度盘 7 及百分表 10 测量并显示凸轮回转角度及相对应的凸轮廓线测量推杆（或凸轮机构从动件）位移。自动测试实现测量推杆、凸轮机构从动件的运动规律检测动态测试，如图 1-2，光电编码器 2 输出脉冲信号对应凸轮回转角度，凸轮廓线极径变化由直线位移传感器 12 测出。启动电机 3，对应凸轮回转角度，利用计算机对光电编码器及直线位移传感器输出信号进行采集、处理，输出测量推杆（或凸轮机构从动件）位移、速度、加速度运动规律曲线，所有采样数据及对应的各特征值参数。

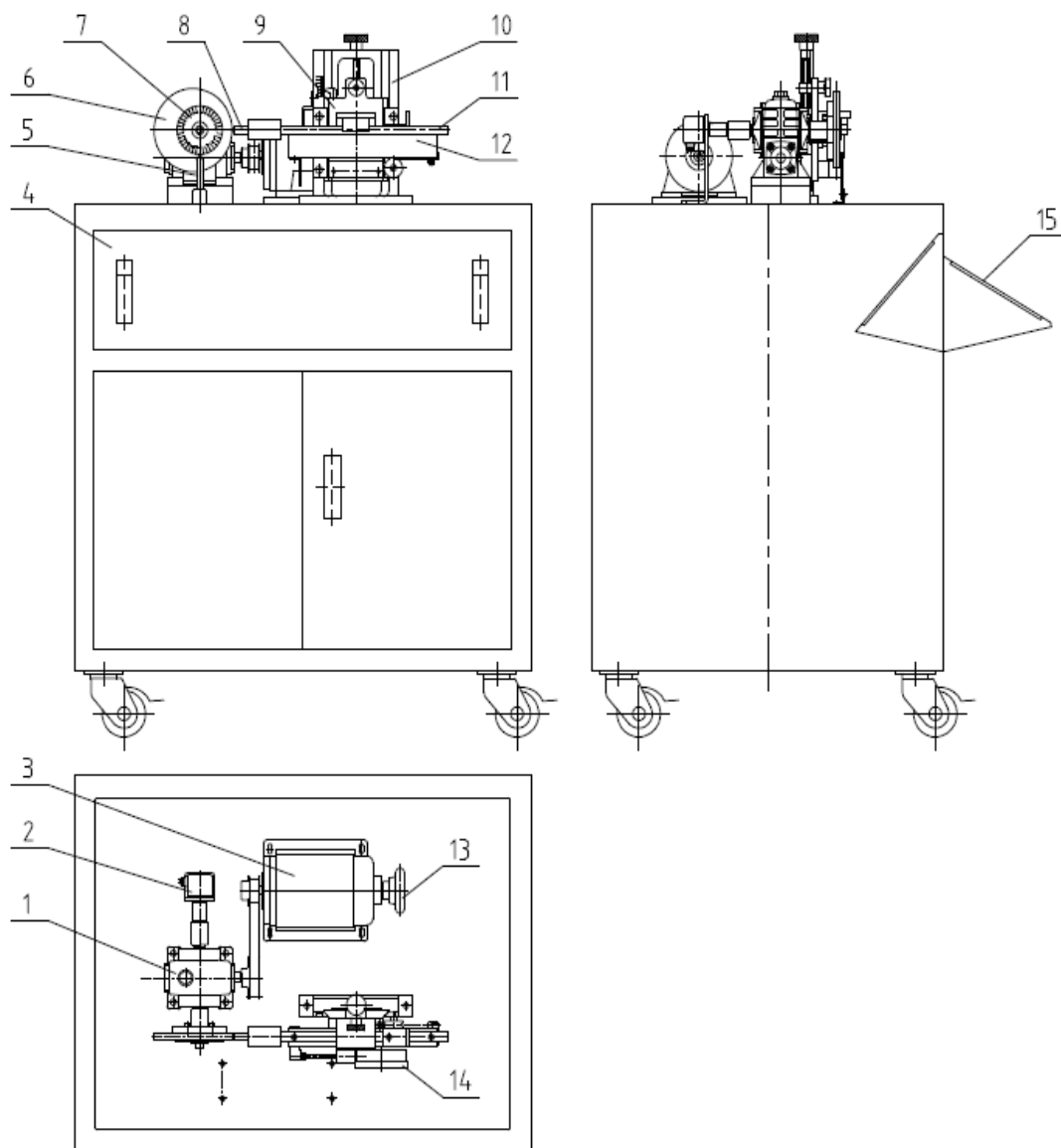


图 1-2 实验台机械结构示意图

- |             |          |             |
|-------------|----------|-------------|
| 1、蜗轮蜗杆减速器   | 2、编码器    | 3、电机        |
| 4、实验台底柜     | 5、指针     | 6、盘形凸轮      |
| 7、刻度盘       | 8、从动件测量头 | 9、从动件升降滑块   |
| 10、从动件升降支架座 | 11、光栅尺   | 12、光栅直线传感器座 |
| 13、手轮       | 14、百分表   | 15、翻盖式操作台   |

### (三) 凸轮机构运动测量系统及系统连接

实验台采用操作台与电脑桌连体设计，凸轮机构运动精密测量系统由单片机最小系统组成，设置在实验台底柜仪表箱中。电器控制箱采用内置翻盖结构，操作台操作面外型结构如图 1-3 (a) 所示。操作面 4 位 LED 数码显示器，可实时显示凸轮机构运动时凸轮轴的转速。复位键是用来对仪器进行复位的，如果发现仪器工作不正常或者与计算机的通讯有问题，可以通过按复位键来消除。

图 1-3 (b) 为操作台背面结构，主轴编码器五芯口用与联接实验台凸轮主轴光电编码器，摆动

编码器五芯口用与联接实验台摆动从动件摆动轴光电编码器，串行口外接 PC 机，可与 PC 机进行异步串行通讯。



图 1-3 (a) 凸轮实验台操作台操作面

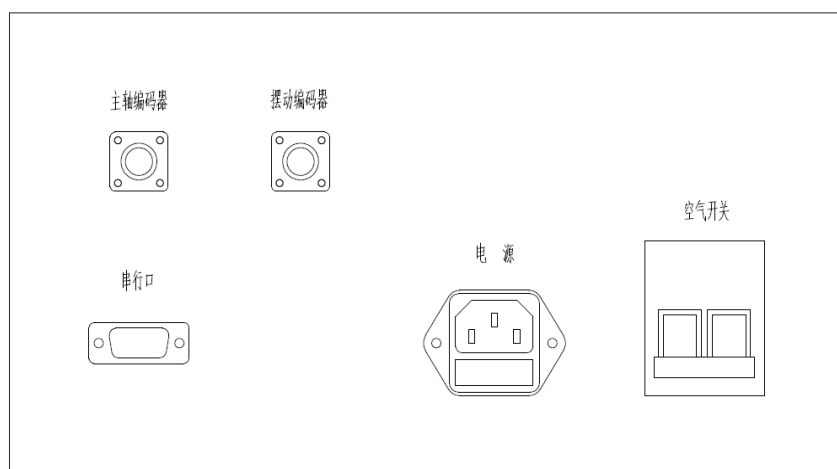


图 1-3 (b) 凸轮实验台操作台背面结构

#### (四) 主要技术参数

- 1、盘形凸轮 8 个可更换(8 种典型运动规律)；基圆半径 50mm 凸轮廓线升程 20mm；
- 2、圆柱凸轮 1 个(2 种运动规律)；
- 3、凸轮从动件形式：
 

尖顶直动从动件	1 套
平底直动从动件	1 套
滚子直动、摆动从动件	各 1 套

 从动件可以根据实验要求替换, 偏距调整范围可在-10~20mm;
- 4、光栅角位移传感器：
 

脉冲数	360P 、1000P	输出电压	5V	各	1 个
-----	-------------	------	----	---	-----
- 5、光栅尺： 量程 0 ~120mm 分辨率 0.001mm 1 支
- 6、直流电机功率 80W；调速范围：0~1500r/min；
- 7、电 源：220V 交流/50HZ

#### 四、测试系统软件概述



图 1-4 凸轮实验平台软件主界面

凸轮实验平台软件主界面图 1-4 所示. 主要有工具栏、图形显示、数据显示及操作区等组成, 其中工具栏由文件, 串口设置, 实验项目, 初始设置, 复位, 学生信息, 帮助组成.

##### 1、文件

打开—可打开之前保存的数据文件; 保存数据—保存当前实验采集的数据; 另存为—同保存数据; 打印—打印当前的图片, 相关数据, 及系统的一些参数; Exit—退出系统.

##### 2、串口设置

串口通讯: 可以选择 COM1 口、COM2 口、COM3 口、COM4 口。波特率默认为 9600。

##### 3、实验项目

本系统支持三种实验类型, 可根据机械结构选择相应的实验类型。界面如下图。

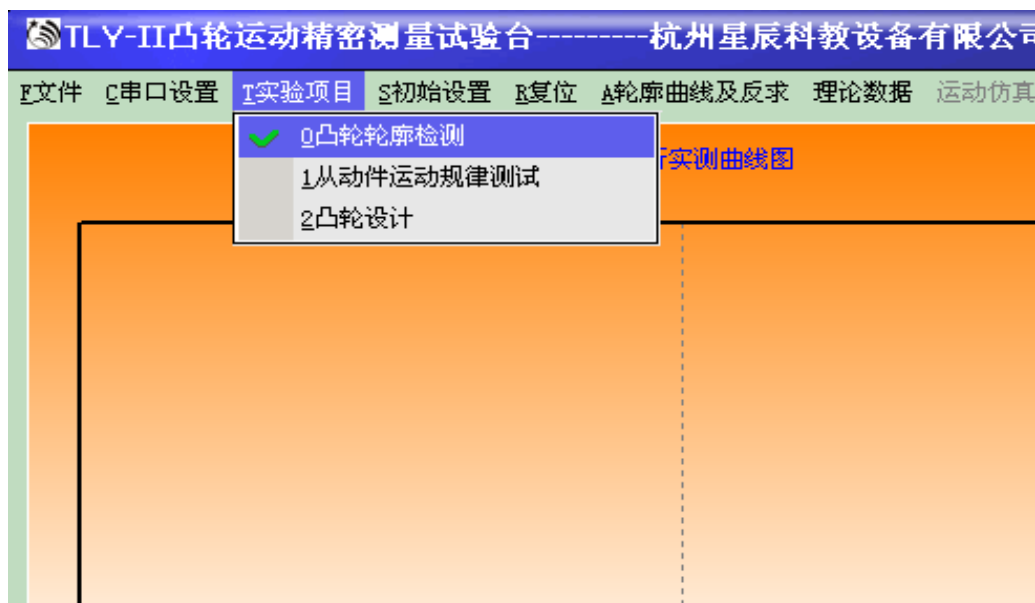


图 1-5 实验项目选择界面

#### 4、初始设置

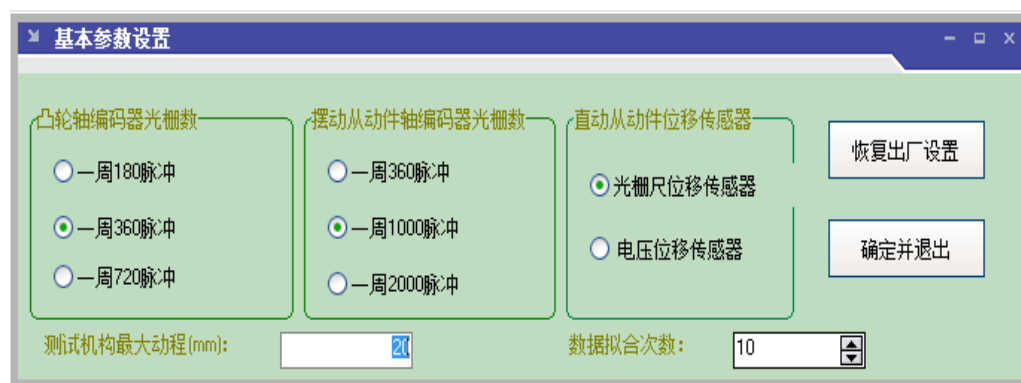


图 1-6 初始设置界面

用于设置系统的基本参数，主要包挂凸轮主轴编码器参数，摆动从动件编码器参数、直动从动件位移传感器以及位移传感器检测最大动程。用户可以修改其中参数值，按“确定并退出”可保存修改配置。按“恢复出厂设置”按钮可以还原出厂设置。

TLY-III 型凸轮运动精密测量实验台，直动从动件位移传感器使用光栅尺位移传感器，光栅尺位移传感器分辨率 0.001mm。

#### 5、复位

点击此功能会初始化当前实验的所有数据。但不包挂注册信息。

#### 6、轮廓曲线及反求

点击此功能进入轮廓曲线及反求，此功能可以显示实测凸轮轮廓曲线或理论凸轮轮廓曲线及数据，并根据数据反求各类型从动件运动规律，如下图所示。

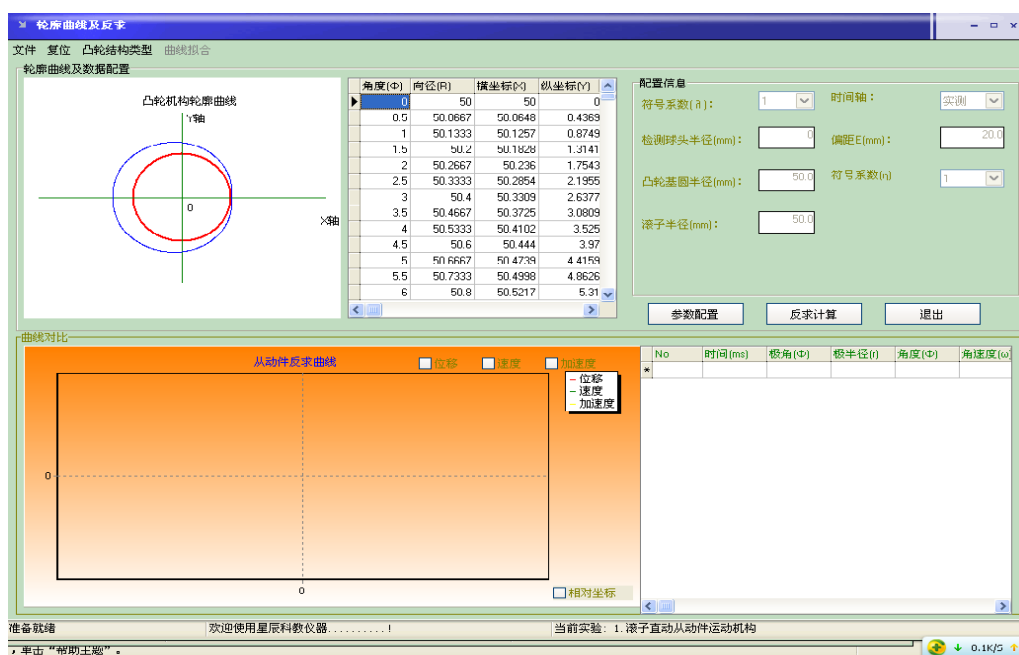


图 1-7 凸轮轮廓曲线及反求主界面

## 7、理论曲线

理论曲线提供了 8 种不同类型的凸轮轮廓理论计算数据。用户可以选择相应的凸轮轮廓类型进行轮廓曲线及反求理论计算。

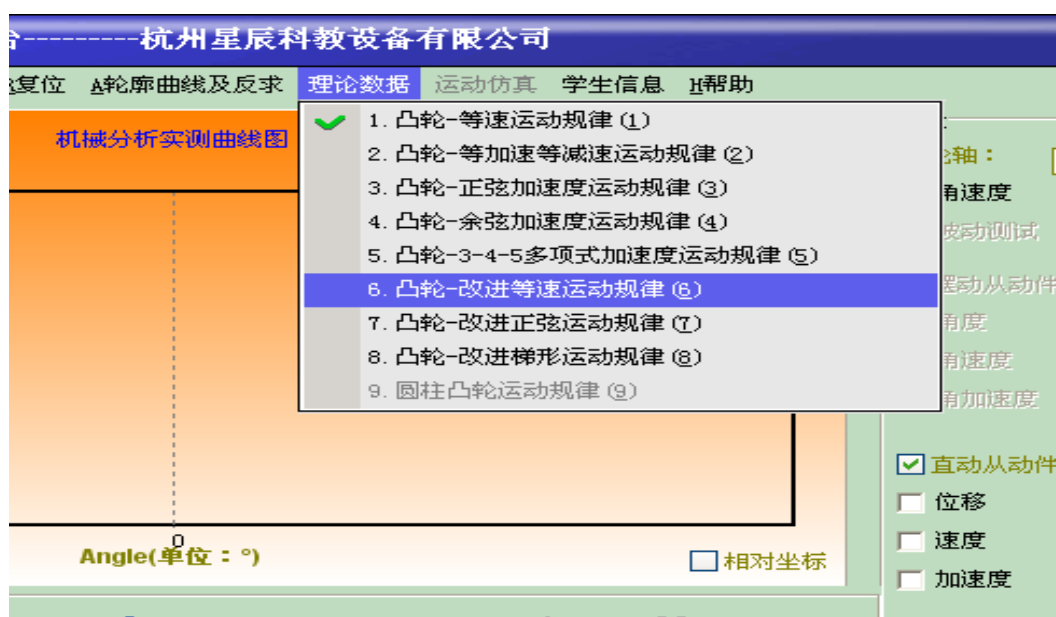


图 1-8 凸轮轮廓曲线类型选择界面

## 8、学生信息

可以通过点击“学生信息”来注册做实验学生的个人信息。

## 9、帮助

此功能可以获取本系统的帮助文件以及本软件版本信息。



## 五、实验内容及方法

TLY-III 型凸轮实验台总共支持三类实验类型:凸轮轮廓曲线检测实验;凸轮机构从动件运动规律测试实验;凸轮轮廓曲线及反求计算实验。

### (一) 凸轮轮廓曲线检测实验

对凸轮轮廓进行检测的方式分为两类。一类是将检测装置构造成与凸轮机构相同的结构形式,直接测出从动件的运动规律(静态)参数,并与期望的运动规律进行比较,对成品的优劣进行鉴别。这种检测方式通常是在生产线上对批量化生产的凸轮进行加工质量检验时应用,例如内燃机中的配气凸轮的检验常用这种方法。另一类是通用的检测方式,利用检测设备测量凸轮轮廓坐标数据,同时也利用常规的测量方法测得机构的基本尺寸。无论使用何种测量设备,都是要取得一组反映轮廓曲线形状的角度和长度数据。

#### 实验操作步骤如下:

##### (1) 手动检测实验操作

凸轮实验平台凸轮轮廓曲线手动测试检测机构结构如图 1-2,手动测试实现静态测量,手动转动凸轮回转一定角度,使用百分表测量并显示凸轮廓线测量推杆(对心尖顶直动从动杆)位移。再测出凸轮基圆半径,即可绘制凸轮廓线极坐标图。

操作步骤:

1. 安装凸轮 6、角度盘 7,使凸轮、角度盘轴线与凸轮主轴轴线重合。
2. 装上百分表头 10,并调整测量推杆 8 与凸轮主轴轴线偏距为零(对心尖顶直动从动杆)。转动手轮,找到凸轮廓线测量起始位置(在凸轮廓线上的刚开始有位移点的极径处,对应于从动杆起始位置),百分表置零,并测出基圆半径。
3. 转动手轮 11,使凸轮 6 每隔一定角度测一次百分表读数并记录。这样百分表读数直接指示测量推杆的位移变化值,将其与凸轮转角变化一一对应起来,即可绘制出凸轮廓线极坐标图。

##### (2) 自动检测操作步骤

自动测试实现测量推杆自动动态测试,如图 1-2。光电编码器 2 输出脉冲信号对应凸轮回转角度,凸轮廓线极径变化由直线位移传感器 12 测出。利用计算机对光电编码器及直线位移传感器输出信号进行采集、处理,输出测量推杆位移、速度、加速度运动规律曲线、所有采样数据及对应的各特征值参数。从采样数据取出测试测量推杆的位移变化值,将其与凸轮转角变化一一对应起来,再测出凸轮基圆半径,即可绘制凸轮廓线极坐标图。

操作步骤:

1. 安装凸轮、使凸轮轴线与凸轮主轴轴线重合。
2. 调整测量推杆与凸轮主轴轴线偏距为零(对心尖顶直动从动件)。转动手轮找到凸轮廓线测量起始位置(在凸轮廓线上的刚开始有位移点的极径处,对应于测量推杆起始位置),并测量出基



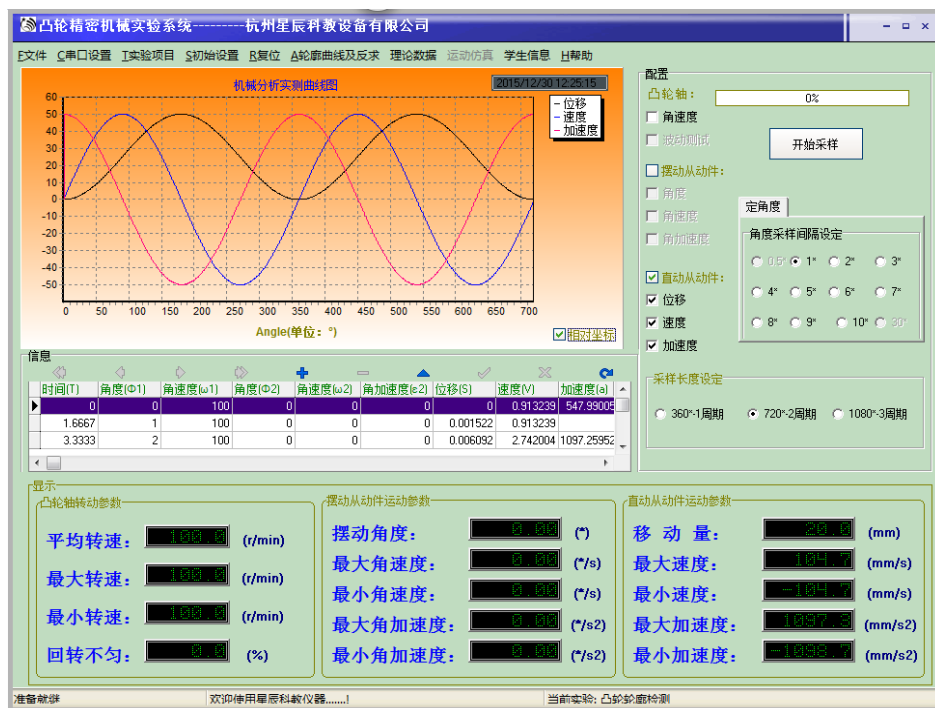


图 1-10 数据采集界面

## 7. 输入学生信息

## 8. 数据保存

数据保存分为数据库数据保存和数据库数据导出两种。

**数据库数据保存：**采样所得的实时数据保存在系统默认的临时数据库中，要想移动数据到指定文件夹或其他 PC 机上查看数据特性，需要把临时数据库中的数据保存起来。点击“文件”→“保存数据”，系统将当前采样数据自动保存到“学生信息注册”所指定的文件夹中。文件夹以注册信息“班级”名称命名，文件名即为所注册的学生“姓名—学号”。如图 1-11 所示。

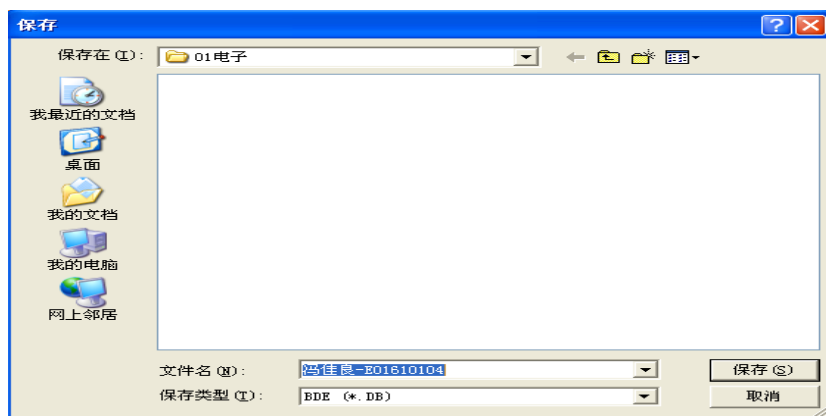


图 1-11 数据保存界面

**数据库数据导出：**当需要对已保存的实验采样数据进行进一步分析和处理时，可从数据库中导出所需的“数据库文件”。在菜单栏点击“文件”→“打开”→并选中所需“数据库文件”。打开“数据库文件”，即可得到该数据中所保存的实验采样数据，及分析处理结果曲线。

## (二) 凸轮机构从动件运动规律检测实验

### 实验方法及操作如下：

(1) 安装凸轮、使凸轮轴线与凸轮主轴轴线重合。

(2) 选择从动件结构类型，安装并调整从动件与凸轮主轴轴线偏距。转动手轮找到凸轮廓线测量起始位置（在凸轮廓线上的刚开始有位移点的极径处，对应于测量推杆起始位置），并测量出基园半径。

(3) 联接系统联接，启动实验软件

操作方法和轮廓曲线自动检测实验一致。

(4) 选择实验项目

从动件运动规律检测的软件界面和轮廓曲线检测界面基本一致，只需要在实验类型中选择“从动件运动规律检测”实验类型即可。

(5) 基本参数设定

参数设置方法和轮廓曲线自动检测实验一致

(6) 数据采集

操作方法和轮廓曲线自动检测实验一致，可以同时采集摆动从动件和直动从动件的数据。

采样结束后，在 PC 机终端显示器上显示被测凸轮机构从动件运动规律曲线、所有采样数据及对应的各特征值，如主界面图 1-12 所示

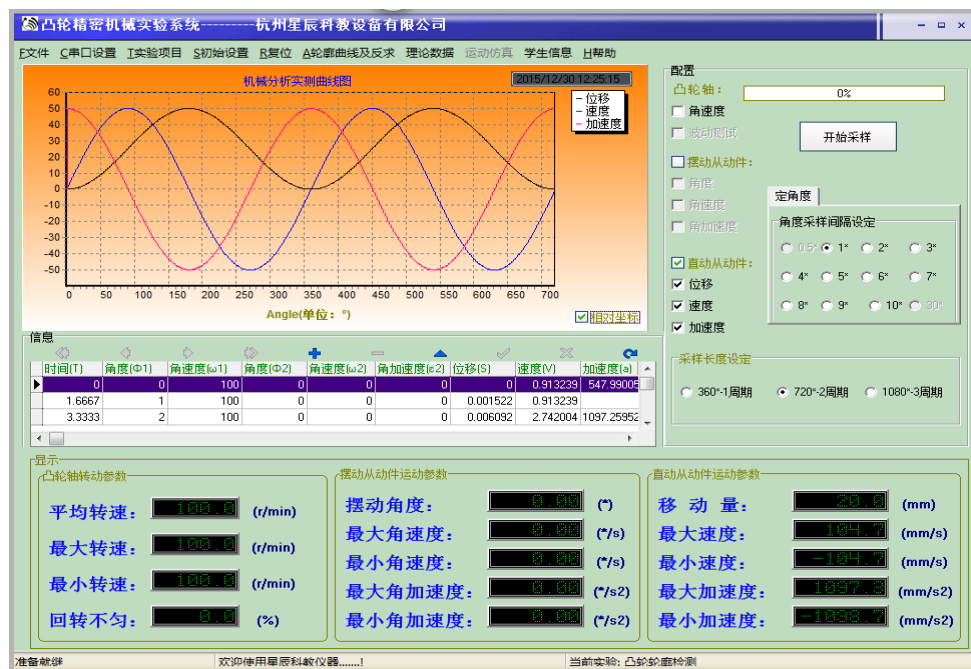


图 1-12 从动件运动规律检测实验

(7) 输入学生信息

操作方法和轮廓曲线自动检测实验一致

(8) 数据保存

操作方法和轮廓曲线自动检测实验一致

#### (9) 数据库数据导出

当需要对已保存的实验采样数据进行进一步分析和处理时，可从数据库中导出所需的“数据库文件”。操作方法和轮廓曲线检测实验一致。

### (三) 轮廓曲线及反求实验

略。

## 六、注意事项

- 1、实验前应详细了解实验设备提供的零部件，传感器测试仪及测试软件。
- 2、本实验台通过 RS232 标准串行通讯线与 PC 机连接，连接操作必须在测试仪和 PC 机都断电的状态下进行。待连接完成后再接通测试仪和 PC 机电源，并且在通电状态下不能插拔 RS232 串口通讯线。
- 3、正确按装凸轮机构后应首先手动运行保证机构正常灵活无卡死现象，才能启动电机。
- 4、启动电机后，实验人员不要过于靠近运动零件，不得伸手触摸运动零件。

## 七、实验结果

### 1、数据记录

凸轮基圆半径(mm)：      偏距(mm)：      从动件类型及参数：

凸轮转角	直动从动件位移(mm)			直动从动件位移(mm)	
0°			180°		
10°			190°		
20°			200°		
30°			210°		
40°			220°		
50°			230°		
60°			240°		
70°			250°		
80°			260°		

90°			270°		
100°			280°		
110°			290°		
120°			300°		
130°			310°		
140°			320°		
150°			330°		
160°			340°		
170°			350°		

2、根据所测数据绘制位移图，并进而绘制凸轮轮廓图。

### 3、选做题（A 或 B）：

A. 观察并测量摆动从动件的安装位置，检测并打印摆动从动件的运动规律，作示意图描述如何通过该结果求出凸轮轮廓曲线。

B. 观察圆柱凸轮实验台的安装结构，检测并打印圆柱凸轮的直动从动杆的运动规律，通过作图法绘制其展开轮廓曲线（示意图）。

## 八、思考题

- 1、凸轮轮廓检测方式分为几类，有什么不同？
- 2、说明实验中所采用的从动件类型与偏置程度对凸轮机构性能的影响。

## 实验二 回转件动平衡实验

### 一、实验问题的提出

在现代机械产品设计中，经常采用高精度的高速转轴。但是，如果由于材料缺陷、制造误差、结构不对称等引起工件的质量分布不合理，将会在机器的运转中产生轴承的附加负荷，使磨损加剧，形成振动和噪声，缩短产品寿命，严重的还会引起共振、断裂，危及人身安全。为此，必须对回转件进行动平衡校正，这成为动力、汽车、电机、机床、化工、食品等工业及通讯和自动化技术等设备制造业中必不可少的工艺措施之一。

动平衡机有各种不同的型式，其构造和工作原理也不尽相同，有通用平衡机、专用平衡机（如曲轴平衡机、陀螺平衡机、涡轮平衡机等），但其作用都是用来测定需加在两个平衡基面中的平衡质量的大小和方位，并进行校正。动平衡实验机一般主要由驱动系统、支承系统、测量指示系统和校正系统等部分，本实验采用基于虚拟测试技术的台式动平衡实验系统，有助于学生加深对动平衡原理的认识，为将来在工业中的实际应用打下基础。

### 二、实验目的

1. 巩固和验证刚性回转件动平衡的理论知识。
2. 掌握回转体动平衡方法并了解动平衡机的一般工作原理。

### 三、实验原理

转子动平衡检测一般用于轴向宽度  $B$  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）。根据回转构件动平衡理论得出的结果：质量分布不在同一回转面内的回转构件，它的不平衡都可以认为是在两个任选回转面内，由向量半径分别为  $r'$ 、 $r''$  的两个不平衡质量  $m'$  和  $m''$  所产生。因此，只需针对  $m'$  和  $m''$  进行平衡就可以达到回转构件动平衡的目的。

经过平衡实验的转子还会存在一些残存的不平衡量，要减小残存的不平衡量势必要提高平衡成本，而实际工作中并不需要完全的平衡。因此，根据工作要求，对转子规定适当的许用不平衡量是有很必要的。

### 四、实验设备及工作原理

#### 1、硬支承支动平衡机试验台

本实验用的试验台是一种基于虚拟测试技术的教学动平衡实验系统。系统利用压电晶体传感器进行测量，采用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，达到检测目的并可动态实时检测曲线，了解实验的过程，通过人机对话的方式完成检测过程。

#### 1) 试验台的结构组成：

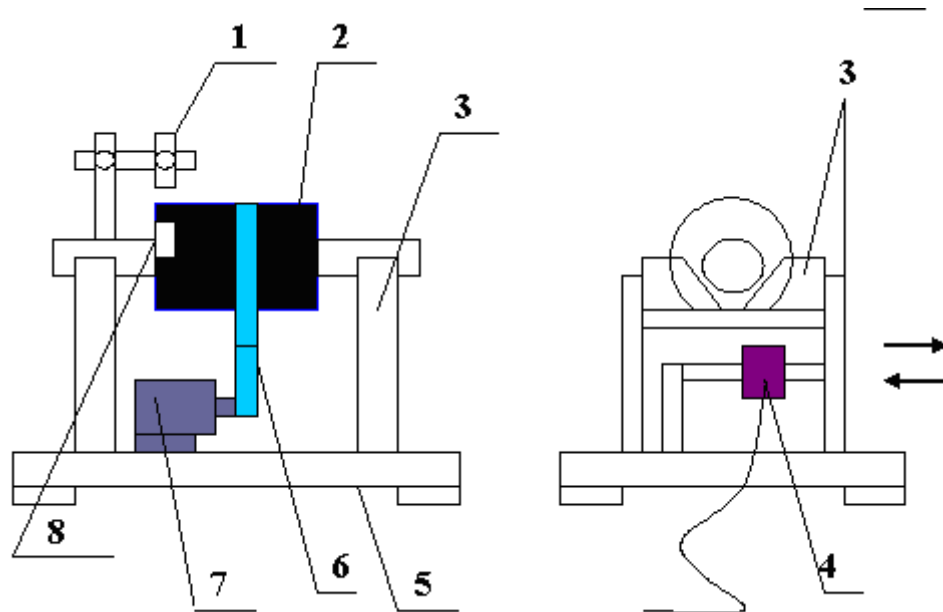


图 2-1 硬支承实验台结构简图

- 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

如图所示，试验台由光电传感器、被试转子、硬支承摆架组件、压力传感器、减振底座、传动带、电动机、零位标志等部件组成。由定轴齿轮副、悬挂齿轮箱、扭力轴、双万向连轴器等组成一个封闭机械系统。

## 2) 试验台的主要技术参数:

- (a) 平衡转速: 约 1200 转/分, 2500 转/分两档
- (b) 最小可达残余不平衡量  $\leq 0.3 \text{ g mm/kg}$
- (c) 一次减低率:  $\geq 90\%$
- (d) 动态范围:  $\geq 60\text{dB}$
- (e) 测量时间: 最长 3s

## 3) 试验台电子系统的组成

系统由计算机、数据采集器、高灵敏度有源压电力传感器和光电相位传感器等组成。系统框图如下:

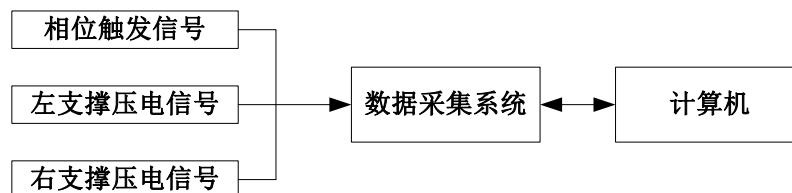


图 2-2 系统框图

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，迫使支承做强迫振动，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）。

## 2、平衡用磁铁：

方磁铁：4×1.2g；

扁磁铁：4×1.0g（Φ8）；4×0.5g（Φ5）；4×0.2g；4×0.1g；4×0.05g

# 五、实验步骤

## (一) 测试

- 1、打开电脑桌面上的测试程序
- 2、开启动平衡机
- 3、开始测试见 3 色正常，退出测试
- 4、停止测试，退出

## (二) 模式设置

- 1、打开电脑桌面上《动平衡实验系统》程序
- 2、点击左上菜单的“设置”，
- 3、再点击模式设置，
- 4、选择模块 A，亮灯，确定
- 5、保存当前配置

## (三) 系统标定

- 1、在实验台上将两块 1.2 克方磁铁分别放置在标准转子左右两侧的零度位置上
- 2、在标定窗口内输入左不平衡量、左方位，右不平衡量、右方位〔按以上操作，左、右不平衡均为 1.2 克，左、右方位均是 0 度〕
- 3、启动电机，待转子平稳运转后，开始标定采集（可查看详细曲线显示）
- 4、保存标定结果（默认采集次数为 10）并退出标定键
- 5、标定结束后通过自动采集，如左、右方位均为 10 度之内，则标定成功，记录标定结果；否则再次标定。

**说明：**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，是左右两个支承输出的原始数据。如果在转子左右两侧，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，应适当调整两面支承传感器的顶紧螺丝，可减少测试的误差。

## (四) 平衡操作

- 1、将标定用两块 1.2 克磁铁随意换角度放置在转子的左右二边,记录数据 a1。
- 2、启动电机，平稳后选择自动（单次检测）或手动检测（单次检测）以，稳定后记录参数,记录数据 b1。
- 3、在主面板上按“停止测试”键，待**自动检测进度条停止后**，关停转子，根据实验转子所标刻度，按左右不平衡量显示值和左右相位角显示位置，在对应其相位 180 度的位置添加磁铁，其质量可等于或略小于面板显示的不平衡量。重复步骤 2。
- 4、平衡精度达到 0.2 克，指示灯由灰色变红色，检测已达到要求，打印实验结果（每小组一份即可）

**说明：**自动（循环测试）按“数据分析曲线”键，可以看到测试曲线变化情况。在数据采集，或停止测试时，都可按“数据分析曲线”键，计算机切换到“采集数据分析窗口”

## 六、记录实验参数及结果

### 1、转子形状的简图和数据（单位：mm）

平衡面位置数据：A=                      B=                      C=

转子半径：

### 2、记录下表

平均转速：

序号	左偏重（克）	左方位（度）	右偏重（克）	右方位（度）
标定结果				
1a				
1b				
2a				
2b				
3a				
3b				
4a				
4b				

a: 人工调节的磁铁质量和方位

b: 电脑显示的不平衡量和方位

### 3、打印实验结果

## 七、思考题

1、哪些类型的试件需要进行动平衡试验？为什么要取两个校正面才能校正动平衡？试件经动平衡后是否还需要进行静平衡？

2、转子上的反差标志起什么作用？