



上海交通大學  
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

# 机械传动与控制综合实验

## (机械效率测试)

### 实验指导书

任课教师: \_\_\_\_\_

学生姓名: \_\_\_\_\_

班 级: \_\_\_\_\_

学 号: \_\_\_\_\_

基础与实验教学中心  
机械与动力工程学院  
上海交通大学

# (一) 齿轮传动（闭式）效率测试

## 一. 实验目的

- 1) 了解机械传动效率测试的原理、内容及方法。
- 2) 了解封闭功率流式齿轮试验台的基本结构、特点及测定齿轮传动效率的方法。
- 3) 通过改变载荷，测出不同载荷下的传动效率和功率。输出  $T_1 - T_0$  关系曲线及  $\eta - T_0$  曲线。其中  $T_1$  为轮系输入扭矩(即电机输出扭矩)， $T_0$  为封闭扭矩(也即载荷扭矩)， $\eta$  为齿轮传动效率。

## 二. 实验原理

齿轮试验台为小型台式封闭功率流式齿轮试验台,采用悬挂式齿轮箱不停机加载方式,加载方便、操作简单安全、耗能少。在数据处理方面,既可直接用抄录数据手工计算方法,也可以和计算机接口组成具有数据采集处理,结果曲线显示,信息储存、打印输出等多种功能的自动化处理系统。该系统具有重量轻、机电一体化相结合等特点。

### 1) 实验系统组成

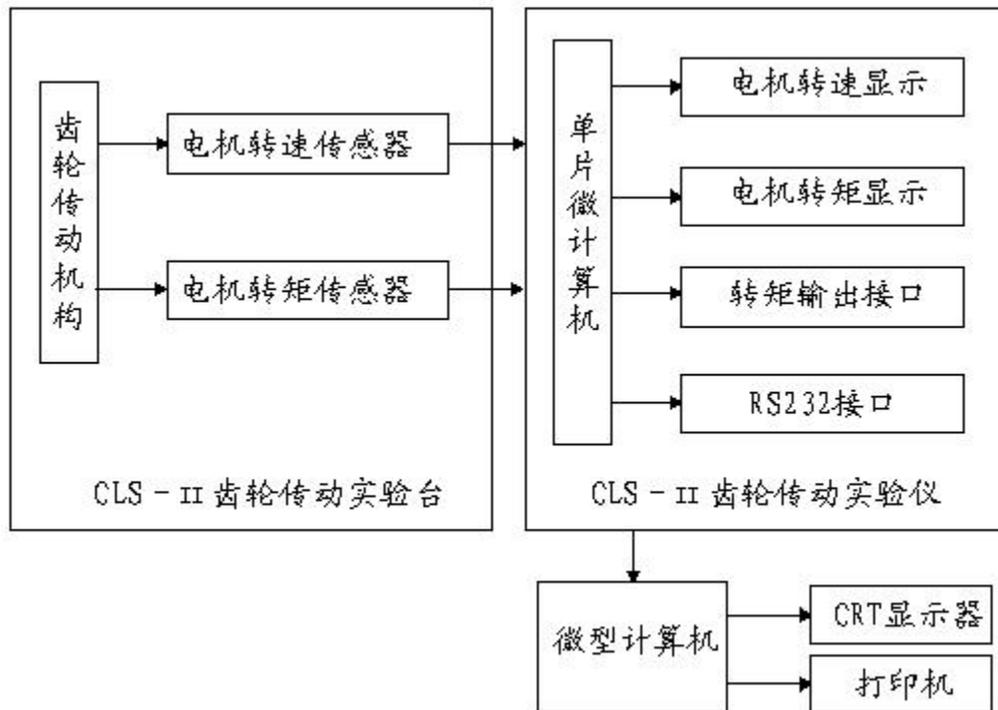


图 1 实验系统框图

如图1所示，实验系统由如下设备组成：

- (1) CLS-E 型齿轮传动实验台

- (2) CLS-E 型齿轮传动实验仪
- (3) 计算机
- (4) 打印机

## 2. 实验机构主要技术参数

- (1) 试验齿轮模数  $m=2$
- (2) 齿数  $Z_4=Z_3=Z_2=Z_1=38$
- (3) 速比  $i=1$
- (4) 直流电机额定功率  $P=300w$
- (5) 直流电机转速  $N=0\sim1100rpm$
- (6) 最大封闭扭矩  $T_b=15NM$
- (7) 最大封闭功率  $P_b=1.5KW$
- (8) 实验台尺寸 长×宽×高=900×550×300mm
- (9) 电源 220V AC /50Hz

## 3. 实验台结构

试验台的结构示意图如图2所示，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。

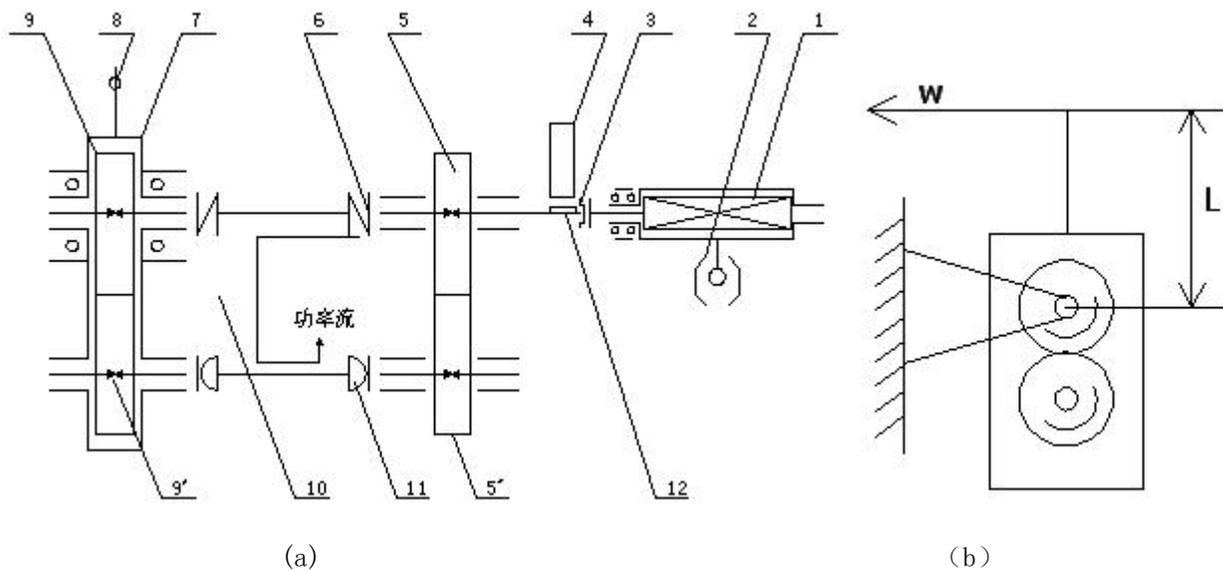


图 2 齿轮实验台结构简图

- |           |          |          |          |          |
|-----------|----------|----------|----------|----------|
| 1. 悬挂电机   | 2. 转矩传感器 | 3. 浮动连轴器 | 4. 霍尔传感器 | 5. 定轴齿轮副 |
| 6. 刚性连轴器  | 7. 悬挂齿轮箱 | 8. 砝码    | 9. 悬挂齿轮副 | 10. 扭力轴  |
| 11. 万向连轴器 | 12. 永久磁钢 |          |          |          |

电机采用外壳悬挂结构，通过浮动连轴器和齿轮相连，与电机悬臂相连的转矩传感器把电机转矩信号送入

实验台电测箱，在数码显示器上直接读出。电机转速由霍尔传感器 4 测出，同时送往电测箱中显示。

## 4. 效率计算

### (1) 封闭功率流方向的确定

由图 2(b)可知, 试验台空载时, 悬臂齿轮箱的杠杆通常处于水平位置, 当加上一定载荷之后 (通常加载砝码是05kg以上), 悬臂齿轮箱会产生一定角度的翻转, 这时扭力轴将有一力矩 $T_9$ 作用于齿轮9 (其方向为顺时针), 万向节轴也有一力矩 $T_9'$ 用于齿轮9', (其方向也顺时针, 如忽略摩擦,  $T_9' = T_9$ )。当电机顺时针方向以角速度 $\omega$ 转动时,  $T_9$ 与 $\omega$ 的方向相同,  $T_9'$ 与 $\omega$ 方向相反, 故这时齿轮9为主动轮, 齿轮9'为从动轮, 同理齿轮5为主动轮, 齿轮5'为从动轮, 封闭功率流方向如图2(a)所示, 其大小为:

$$P_a = \frac{T_9 \cdot N_9}{9550} = P_9' (KW)$$

该功率流的大小决定于加载力矩和扭力轴的转速, 而不是决定于电动机。电机提供的功率仅为封闭传动中损耗功率, 即:  $P_1 = P_9 - P_9 \cdot \eta_{总}$

$$\text{故 } \eta_{总} = \frac{P_9 - P_1}{P_9} = \frac{T_9 - T_1}{T_9}$$

$$\text{单对齿轮 } \eta = \sqrt{\frac{T_9 - T_1}{T_9}}$$

$\eta$  为总效率, 若  $\eta = 95\%$ , 则电机供给的能量, 其值约为封闭功率值的1/10, 是一种节能高效的试验方法。

### (2) 封闭力矩 $T_9$ 的确定

由图 2(b)可以看出, 当悬挂齿轮箱杠杆加上载荷后, 齿轮9、齿轮9'就会产生扭矩, 其方向都是顺时针, 对齿轮9'中心取矩, 得到封闭扭矩 $T_9$ : (本试验台 $T_9$ 是所加载荷产生扭矩的一半) 即:

$$T_9 = \frac{WL}{2} (N \cdot m)$$

式中: W——所加砝码重力 (N)

L ——加载杠杆长度 L=0.3m

平均效率为: (本试验台电机为顺时针)

$$\eta = \sqrt{\eta_{总}} = \sqrt{\frac{T_9 - T_1}{T_9}} = \sqrt{\frac{\frac{W}{2} - T_1}{\frac{W}{2}}}$$

式中:  $T_1$ ——电动机输出转矩 (电测箱输出转矩显示值)

## 三. 实验操作步骤

## 1. 人工记录操作方法

### (1) 系统联接及通电

齿轮实验台在接通电源前,应首先将电机调速旋钮逆时针转至最低速“0速”位置,将传感器转矩信号输出线及转速信号输出线分别插入电测箱后板和实验台上相应接口上,然后撤电源开关接通电源。打开实验仪后板上的电源开关,并按一下“清零键”,此时,输出转速显示为“0”,输出转矩显示数“.”,实验系统处于“自动校零”状态。校零结束后,转矩显示为“0”。

### (2) 加载

调零及放大倍数调整结束后,为保证加载过程中机构运转比较平稳,建议先将电机转速调低。一般实验转速调到300-800转/分为宜。待实验台处于稳定空载运转后(若有较大振动,要按一下加载砝码吊篮或适当调节一下电机转速),在砝码吊篮上加上第一个砝码。观察输出转速及转矩值,待显示稳定(一般加载后转矩显示值跳动2-3次即可达稳定值)后,按一下“保持键”,使当时的转速及转矩值稳定不变,记录下该组数值,然后按一下“加载键”,第一个加载指示灯亮,并脱离“保持”状态,表示第一点加载结束。

在吊篮上加上第二个砝码,重复上述操作,直至加上八个砝码,八个加载指示灯亮,转速及转矩显示器分别显示“8888”表示实验结束。

根据所记录下的八组数据便可作出齿轮传动的传动效率  $\eta-T_2$  曲线及  $T_1-T_2$  曲线。

**注意:** 加载过程中,应始终使电机转速基本保持在预定转速左右。

在记录下各组数据后,应先将电机调速至零,然后再关闭实验台电源。

## 2. 与计算机接口实验方法

在CLS-E型齿轮传动实验台电控箱后板上设有RS-232接口,通过所附的通讯连接线和计算机相联,组成智能齿轮传动实验系统,操作步骤为:

### (1) 系统联接及通电

在关电源的状态下将随机携带的串行通讯连接线的一端接到实验台电测箱的RS-232接口,另一端接入计算机串行输出口(串行口1号或2号均可,但无论联线或拆线时,都应先关闭计算机和电测箱电源,否则易烧坏接口元件),其余方法同前。

### (2) 加载

同样,加载前就先将电机调速至300-800转/分之间,并在加载过程中应始终使电机转速基本保持在预定值。

a. 实验台处于稳定空载状态下,加上第一个砝码,待转速及转矩显示稳定后,按一下“加载键”(注:不需按“保持键”),第一个加载指示灯亮。加第二个砝码,显示稳定后再按一下“加载键”,第二个加载指示灯亮,第二次加载结束。如此重复操作,直至加上八个砝码,按八次“加载键”,八个加载指示灯亮。转速、转矩显示器都显示“8888”表明所采数据已全部送到计算机。将电机调速至“0”卸下所有砝码。

b. 当确认传送数据无误(否则再按一下“送数键”)后,用鼠标选择“数据分析”功能,屏幕所显示本次实验的曲线和数据。接下来就可以进行数据拟合等一系列的工作了。如果在采集数据过程中,出现采不到数据的现象,请检查串口选择是否正确,串口联接是否可靠,然后重新采集。

注意: 如需拆、装 RS-232 串行通讯线,必须将计算机及试验台的电源、关断。

## 齿轮传动（闭式）效率测试实验报告

同组者姓名: \_\_\_\_\_ 实验日期: \_\_\_\_\_

### 一、实验数据记录

设定转速值 (r/m)	电机转速 (r/m)	电机输出转矩 T1 (N.m)	封闭力矩 T9 (N.m)	效率 $\eta$ (%)
300 r/m				
600r/m				

## 二、实验结果曲线

1、效率  $\eta$  (%) 与  $T_9$  (N.m) 的曲线

2、电机输出转矩  $T_1$  (N.m) 与  $T_9$  (N.m) 的曲线

## 三、实验结果中街某些现象进行分析

## 四、回答思考题

1. 闭式齿轮传动的效率测试与开式的有什么不同?

2. 叙述闭式齿轮传动的效率测试的原理。

## (二) 带传动效率测试

### 一、实验目的

- 1) 了解机械传动效率测试的原理、内容及方法。
- 2) 根据在不同负载情况下，手工所记录的主动轮转速、主动轮转矩、被动轮转速、被动轮转矩数据计算并绘出弹性滑动曲线和传动效率曲线。
- 3) 了解效率测试专用软件自动进行数据处理与分析，并输出滑动曲线、效率曲线和所有实验数据的过程。

### 二、实验原理

带传动时广泛应用的一种传动，其性能试验为（机械设计）教学大纲规定的必做实验之一，也是产品开发中的一项重要检测手段。本试验台的完善设计保证操作者用最简便的操作，同时又概念形象的获得传动的效率曲线及滑动曲线。采用直流电机为原动机及负载，具有无级调速功能。本试验台设计了专门的带传动预紧力形成机构，预紧力可预先准确设定，在实验过程中，预紧力稳定不变。在试验台的电测箱中配置了单片机，设计了专用的软件，使本试验台具有数据采集、数据处理、显示、保持、记忆等多种人工智能。也可与PC机对接（本试验台已备有接口），这时可自动显示并打印输出实验数据及实验曲线。

#### 1) 实验系统的组成

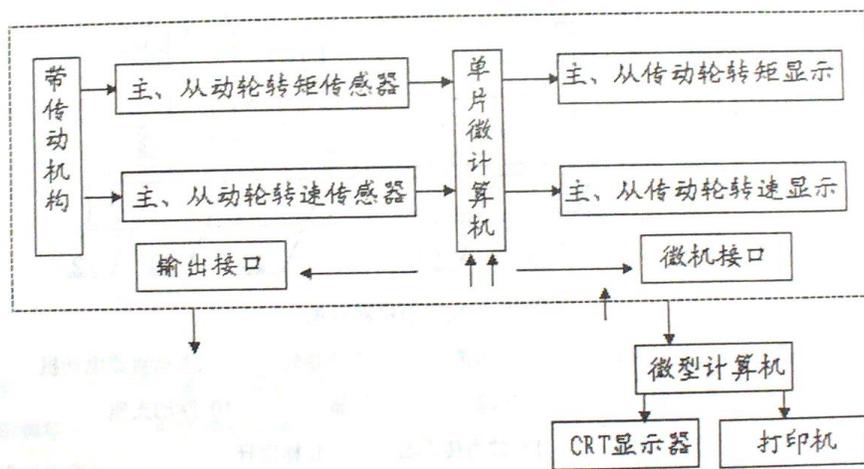


图 1 实验系统组成框图

如图 1 所示，实验系统主要包括如下部分：

- 1) 带传动机构
- 2) 主、从动轮转矩传感器
- 3) 主、从动轮转速传感器
- 4) 电测箱（与带传动机构装为一体）

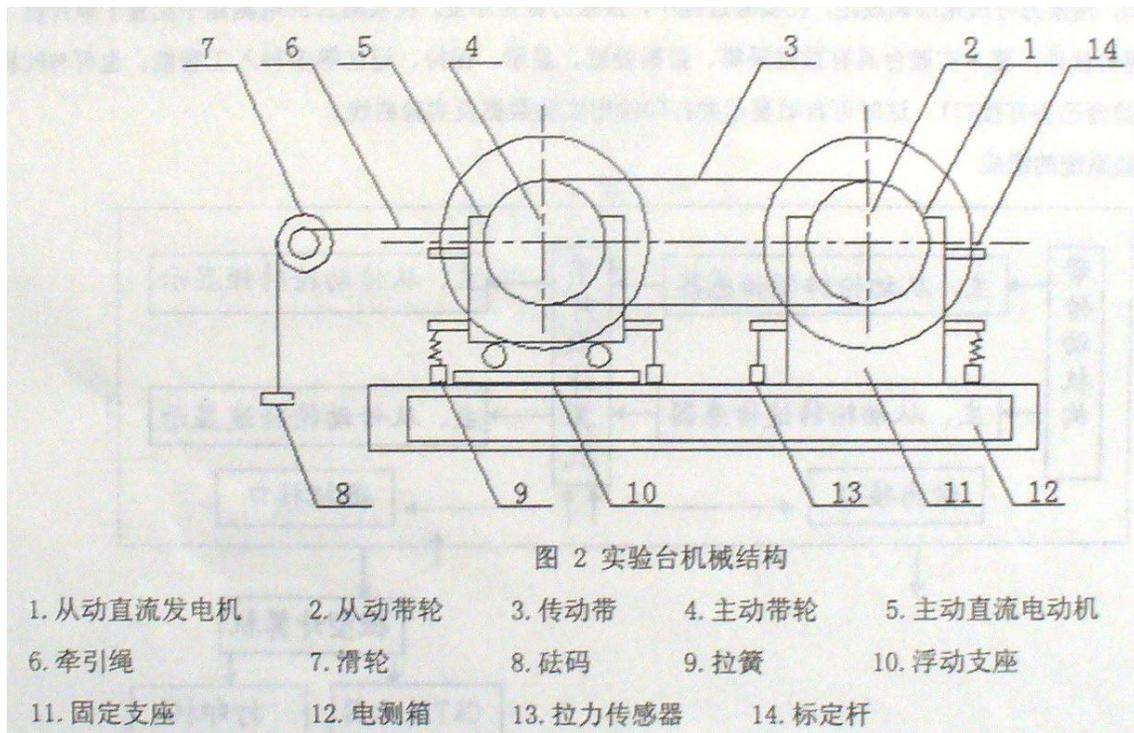
- 5) 个人电脑
- 6) 打印机

## 2) 主要技术参数

- 1) 直流电机功率： 2 台×50w
- 2) 主动电机调速范围： 0~1800rpm
- 3) 额定转矩：  $T=0.24 \cdot N \cdot M=2450 \text{ g} \cdot \text{cm}$
- 4) 实验台尺寸 长×宽×高=600×280×300mm
- 5) 电源 220V AC /50Hz

## 3) 实验台简介

本试验台机械部分，主要由两台直流电机组成，如图 2 所示。其中一台作为原动机，另一台则作为负载的发电机。



对原动机，由可控硅整流装置供给电动机电枢以不同的端电压实现无级调速。对发电机，每按一下“加载”按键，即并上一个负载电阻，使发电机负载逐步增加，电枢电流增大，随之电磁转矩也增大，即发电机的负载转矩增大，实现了负载的改变。

两台电机均为悬挂支承，当传递载荷时，作用于电机定子上的力矩  $T_1$ （主动电机力矩）、 $T_2$ （从动电机力

矩)迫使拉钩作用于拉力传感器,传感器输出的电信号正比于  $T_1$ 、 $T_2$  的原始信号。

原动机的机座设计成浮动机构(滚动滑槽),与牵引钢丝绳、定滑轮、砝码一起组成带传动预拉力形成机构,改变砝码大小,即可准确的预定带传动的预拉力  $F_0$ 。

两台电机的转速传感器(红外光电传感器)分别按装在带轮背后的环形槽中,由此可获得必需的转速信号。

## 4) 效率计算

由前述,  $T_1$  为主动轮转矩,  $T_2$  为从动轮转矩,  $N_1$  为主动轮转速,  $N_2$  为从动轮转速,  $\eta$  为传动效率,  $\varepsilon$  为滑差率, 则有:

$$\eta = \frac{N_2 \times T_2}{N_1 \times T_1} \times 100\%$$
$$\varepsilon = \frac{N_1 - N_2}{N_1} \times 100\%$$

## 5) 实验操作步骤

### 1) 设置预拉力

不同型号传动带需在不同预拉力  $F_0$  的条件下进行试验,也可对同一型号传动带采用不同的预拉力,试验不同预拉力对传动性能的影响。为了改变预拉力  $F_0$ ,如图 2 所示,只需改变砝码 8 的大小。

### 2) 接通电源

在接通电源前首先将电机调速旋钮粗调电位器逆时针旋转到底,使开关“断开”,细调电位器旋钮逆时针旋到底,撤电源开关接通电源,按一下“清零”键,此时主、被动电机转速显示为“0”。力矩显示为“.”,试验系统处于“自动校零”状态。

### 3) 加载

在空载时,记录主、被动轮转矩与转速。按“加载”键一次,第一个加载指示灯亮,调整主动电机转速,(此时,只需使用细调电位器进行转速调节)使其仍保持在预定工作转速内,待显示基本稳定记下主、被动轮转矩与转速值。

再按“加载”键一次,第二个加载指示灯亮,再调节主动转速,仍保持预定转速,待显示稳定再记下主、被动轮转矩与转速值。

第三次按“加载”键,第三个加载指示灯亮,同前次操作记录下主、被动轮转矩与转速。重复上述操作,直至 7 个加载指示灯亮,记录下八组数据。

# 带传动效率测试实验报告

同组者姓名： \_\_\_\_\_

日期： \_\_\_\_\_

## 一、实验数据记录（转速设定为 800-1000r/m）

序号	主动轮转速 N1 (r/m)	从动轮转速 N2 (r/m)	主动轮扭矩 T1 (N.m)	从动轮扭矩 T2 (N.m)	效率 $\eta$ (%)	滑差率 $\varepsilon$ (%)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

## 二、实验结果曲线

效率  $\eta$  (%)、滑差率  $\varepsilon$  (%) 与从动轮扭矩 T2 (N.m) 的曲线

## 三、实验结果中街某些现象进行分析

#### 四、回答思考题

1) 实验过程中“加载”与对带轮加砝码各指什么含义，有何区别？

2) 什么叫滑差率？滑动曲线与效率曲线有何不同？

## （三）机械传动与控制综合实验

机械传动与控制综合实验是设计与制造、机械设计基础、测试与控制技术等机械核心课程中重要的实验内容之一。可完成机械传动装置的传动性能参数的测试、机械传动效率测试及机械传动方案设计等多项实验内容。通过对不同机械传动装置性能参数曲线的对比，分析比较不同的机械传动方案的性能特点。

机械传动与控制综合实验台集变频调速控制技术、磁粉制动控制技术、检测控制技术及应用计算机技术于一体，运用计算机的数据处理功能，做到同步采集、全程跟踪，确保采样数据的正确、真实，并能实时显示或绘制机械传动各项参数及实验结果曲线。

机械传动与控制综合实验台采用工业用 HT 平台，配有工业机械传动中最常用的蜗轮蜗杆减速器，摆线针轮减速器，正齿轮减速器，V 型带传动，同步带传动，平皮带传动及链传动七种基本机械传动部件，可根据课程要求，由学生自由装配，设计搭建各种机械传动系统。

### 一、实验目的

- 1) 通过搭建常见机械传动系统（如带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动等），测试系统在传递运动与动力过程中的参数曲线（如速度曲线、转矩曲线、传动比曲线、功率曲线及效率曲线等），加深对常见机械传动系统性能的认识与理解；
- 2) 通过测试不同常见机械传动系统的参数曲线，掌握不同机械传动系统设计的基本要求及系统优化方法；
- 3) 了解机械传动与控制综合实验台的工作原理，掌握计算机辅助实验的新方法，培养学生自主进行设计性实验与创新性实验的实际动手能力。
- 4) 通过对实验数据的分析与处理，掌握实验数据的处理方法。
- 5) 学生可在实验系统平台窗口中自行进行相关机电传动模块的控制及测试编程操作，与实验系统平台对接，完成不同形式的机械传动的测试与控制的对比分析，根据实验测试结果，得出实验结论。

### 二、实验设备及工具

机械传动与控制综合实验台主要由控制柜、安装平板、驱动源、负载以及减速器、联轴器、传动支承组件、带、链、三角带轮、链轮库等组成。学生可根据项目需要组合成 13 大类 30 几种机械传动系统。其中控制柜、安装平板、驱动源、负载、减速器、传动支承组件为整体结构。安装平板上加工了 T 型槽（横向 4 根纵向 6 根）可满足不同机械传动系统安装的需要。减速器配有蜗轮蜗杆减速器、园柱齿轮减速器、摆线针轮减速器等。学生可自由搭建的机械传动系统机构如下：



图 1 机械传动与控制综合实验台

### 一级典型传动机构

- (1) 摆线针轮减速器传动
- (2) 圆柱齿轮减速器传动
- (3) 蜗轮蜗杆减速器传动
- (4) 带传动：V 带传动、平带传动、同步带传动实验
- (5) 滚子链(大节距、小节距)传动
- (6) 弹性柱销联轴器传动

### 二级典型组合传动机构

- (7) 带(V 带、平带、同步带)一圆柱齿轮减速器组合传动
- (8) 滚子链(大节距、小节距)一圆柱齿轮减速器组合传动
- (9) 带(V 带、平带、同步带)一摆线针轮减速器组合传动
- (10) 滚子链(大节距、小节距)一摆线针轮减速器组合传动
- (11) 带(V 带、平带、同步带)一蜗轮蜗杆减速器组合传动
- (12) 滚子链(大节距、小节距)一蜗轮蜗杆减速器组合传动
- (13) 带(V 带、平带、同步带)一滚子链组合传动

### 三级典型组合传动机构

- (14) 带(V、平、同步带)一滚子链(大节距、小节距)一圆柱齿轮减速器组合传动
- (15) 带(V、平、同步带)一滚子链(大节距、小节距)一摆线针轮减速器组合传动

### 三、实验台测试控制系统及工作原理

#### 1、测试控制系统

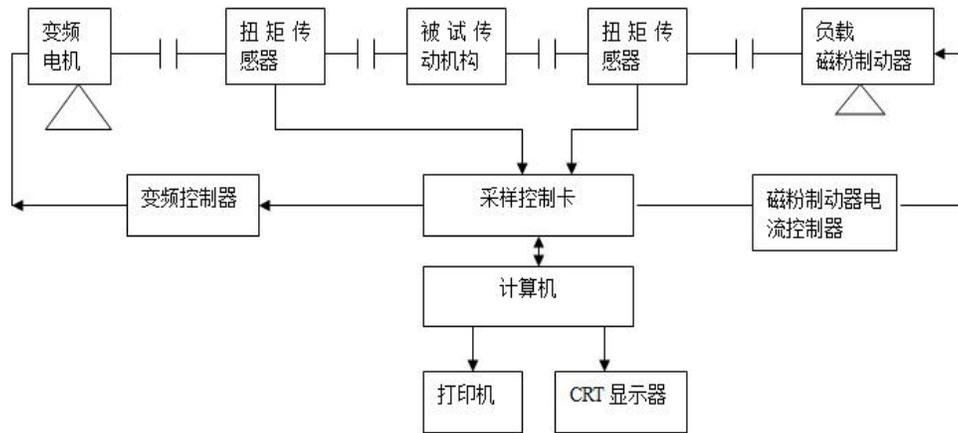


图 2 实验台测试控制系统图

#### 2、测试系统联接

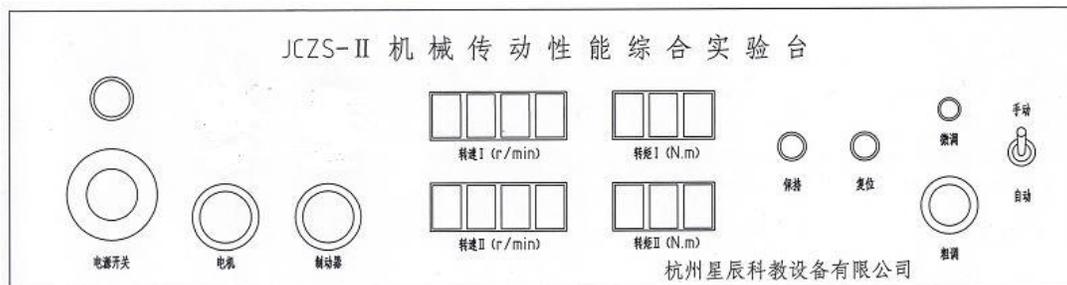


图 3 控制柜控制操作面板



图 4 控制信号接口板

控制柜控制操作面板及控制信号接口板如上图。测试控制信号线接法如下：

## 2.1 扭矩及转速信号的输入

在控制柜控制信号接口板上有二组扭矩、转速传感器 I、传感器 II，信号输入航空插座，只要将两台扭矩、转速传感器 I、传感器 II 的相应输出信号用二根高频电缆线联接即可。转动传感器，传感器上二发光管应闪动。若无闪动，可检查电缆线及航空插头是否松动、断线、短路、插针缩进等现象。

## 2.2 磁粉制动器控制线联接

将磁粉制动器上制动电流控制线，接入控制柜侧面的控制信号接口板上对应的（制动器）五芯航空插座上（图 4），并旋紧。

## 2.3 变频电机控制线联接

变频电机控制联线有电机转速控制和风扇控制二根，分别接入控制柜侧面的控制信号接口板。

## 2.4 串行通讯线联接

本实验台实验方式分为“手动方式”和“自动方式”。当采用“自动方式”时，应通过标准 RS-232 串行通讯线将控制柜控制信号接口板上的串行端口与计算机串口联接。连接好所有控制、通讯线后，按下实验台控制柜控制操作面板（图 3）上相应电源开关，接通实验台相关电源进入实验待机状态。

# 3、控制系统工作方式

## 3.1 手动方式

手动方式为实验者采用手动调节控制方式，按预先制定的实验方案通过实验台控制操作面板控制电机转速及磁粉制动器的制动力（即工作载荷），来完成整个实验过程的操作。

### （1）接通实验台总电源

系统电源及各信号控制线正确可靠联接后，按下图 3 所示控制操作面板上电源开关按钮，电源接通，电源指示灯亮。四组输入输出转速、转矩 LED 数码显示器显示“0”。

### （2）复位

实验台总电源开启后，实验台控制柜内采样控制卡一般处于“复位”状态，四组输入输出转速、转矩 LED 数码显示器显示“0”。否则可按“复位”按钮，使采样控制卡“复位”，LED 数码显示器显示“0”。

（3）“保持”按钮作用是清除磁粉制动器“零位”误差。当变频电机达到实验预定转速，并稳定运转时，在磁粉制动器不通电（制动电流为“零”）时，由于有磁粉制动器剩磁作用等，会引起不稳定的“零位”漂移。在变频电机稳定运转过程中，按压“保持”按钮，可清除“零位”误差。

### （4）电机转速控制

按压控制面板上电机电源开关，电机及变频控制器电源接通，变频控制器 LED 数码显示器显示“0”。将变频控制器设置为手动控制模式，方法见附录一。按实验预定方案，调节变频控制器上调速电位器，观察输

入转速（即变频电机输出转速）LED 数码显示器，控制电机转速达到某预定转速，并稳定运转：

#### （5）磁粉制动器手动控制

按压实验台控制柜控制操作面板上磁粉制动器电源开关，磁粉制动器电源接通。将控制操作面板上钮子开关切换至“手动”，手动旋转磁粉制动器控制电流调节电位器旋钮，即可调节磁粉制动器制动力（即负载）大小。调节控制电位器设有“粗调”和“细调”二挡。

实验台控制柜控制操作面板上设有四组输入输出转速、转矩 LED 数码显示器，采用“手动方式”通过抄录实验显示数据，可脱开计算机人工分析、绘制实验曲线，作出实验报告。

### 3.2 自动方式

按压控制面板上电机电源开关，电机及变频控制器电源接通，变频控制器 LED 数码显示器显示“0”。将变频控制器设置为自动控制模式。

## 四、系统软件说明

### 1、运行软件

双击桌面软件快捷方式图标进入  该软件运行环境。

### 2、软件系统界面



图 5 软件系统运行界面

点击“登陆系统”按钮进入主程序界面（图 6），点击“帮助”可以查看帮助文件。

# 机械传动与控制综合效率测试实验报告

同组者姓名：\_\_\_\_\_ 日期：\_\_\_\_\_

一级典型传动机构名称：\_\_\_\_\_

## 一、实验数据记录

设定转速值 (r/m)	变频电机转速 (r/m)	输入端扭矩 M1 (N.m)	输出端扭矩 M2 (N.m)	效率 $\eta$ (%)
自 设 定 转 速 (200-500r/m)				

## 二、实验结果效率 $\eta$ (%) 曲线

二级典型传动机构名称： \_\_\_\_\_

### 一、实验数据记录

设定转速值 (r/m)	变频电机转速 (r/m)	输入端扭矩 M1 (N. m)	输出端扭矩 M2 (N. m)	效率 $\eta$ (%)
自设定转速 (200-500r/m)				

## 二、实验结果效率 $\eta$ (%) 曲线

三级典型传动机构名称: \_\_\_\_\_

### 一、实验数据记录

设定转速值 (r/m)	变频电机转速 (r/m)	输入端扭矩 M1 (N. m)	输出端扭矩 M2 (N. m)	效率 $\eta$ (%)
自 设 定 转 速 (200-500r/m)				

## 二、实验结果效率 $\eta$ (%) 曲线

## 三、对各级传动的实验结果进行比较分析与总结

#### 四、思考题

1. 简述机械传动效率测试实验台的结构组成。
2. 比较齿轮传动、链传动与带传动的传动特点。
3. 什么是机械效率?简述传动系统机械效率的测试过程。
4. 试分析实验过程中负载对传动系统的机械效率和转速转矩的影响。

#### 五、心得体会与建议