



齐鲁工业大学 (山东省科学院)  
QILU UNIVERSITY OF TECHNOLOGY SHANDONG ACADEMY OF SCIENCES

# 实验指导书

学院名称 机械与汽车工程学院

---

课程名称 机械设计、机械设计3

---

开课系(教研室) 机械设计系

---

执笔人 薛云娜

---

审定人 王宝林

---

修(制)订日期 2020年

---

# 目 录

实验一、带传动实验 .....	1
实验二、滑动轴承实验.....	13
实验三、轴系结构设计实验.....	29
实验四、减速器拆装与分析实验.....	45

# 实验一 带传动实验

## 一、实验目的

由于皮带的弹性模量较低传动过程中产生弹性变形，在带传动过程中会产生弹性滑动，导致带的瞬时传动比不是常量。另一方面，当带的工作载荷超过带与带轮间的最大摩擦力时，带与带轮间会产生打滑，带传动这时不能正常工作而失效。该实验的目的是：

1. 观察带传动的弹性滑动和打滑现象；
2. 了解带的初拉力、带速等参数的改变对带传动能力的影响，测绘出弹性滑动曲线和传动效率曲线；
3. 掌握转速、扭矩、转速差及带传动效率的测量方法。

## 二、实验系统

DCS-V 型智能带传动实验台如图 1-1 所示。



图 1-1 DCS-V 型智能带传动实验台

### 1. 实验系统的组成

如图 1-2 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)电脑
- (6)打印机

### 2. 主要技术参数

- (1) 平皮带轮直径： $D_1 = D_2 = 118\text{mm}$
- (2) V 型带轮直径： $D_1 = D_2 = 120\text{mm}$
- (3) 同步齿型带轮直径：P73-5M-15-AF
- (4) 包角： $\alpha_1 = \alpha_2 = 180^\circ$

- (5) 直流电机功率: 2台×355W
- (6) 主动电机调速范围: 0~1200 转/分 (rpm)
- (7) 额定转矩:  $T=2.25N\cdot m$
- (8) 实验台尺寸: 长×宽×高=1360×610×950 (mm)
- (9) 电源: 220V AC/50Hz

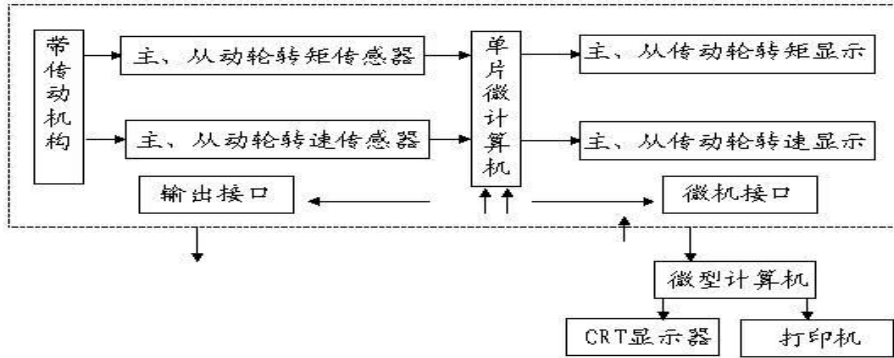
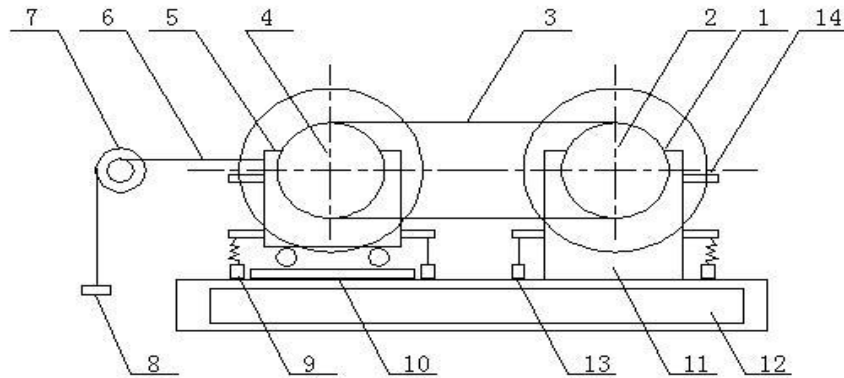


图 1-2 实验系统组成框图

### 3. 实验机构简介

#### (1) 机械结构

本实验台机械部分，主要由两台直流电机组成，如图 1-3 所示。其中一台作为原动机，另一台则作为负载的发电机。



- 1. 从动直流发电机    2. 从动带轮    3. 传动带    4. 主动带轮
- 5. 主动直流电动机    6. 牵引绳    7. 滑轮    8. 砝码    9. 拉簧    10. 浮动支座
- 11. 固定支座    12. 电测箱    13. 拉力传感器    14. 标定杆

图 1-3 实验台机械结构

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(序号 13)，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结构(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，即可准确地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)分别安装在带轮背后的环形槽(本图未表示)中，由此可获得必需的转速信号。

## (2) 电测系统

电测系统装在实验台电测箱内，如图 1-2 所示。附设单片机，承担数据采集、数据处理、信息记忆、自动显示等功能。能实时显示带传动过程中主动轮转速，转矩和从动轮的转速、转矩值。如通过微机接口外接 PC 机，这时就可自动显示并能打印输出带传动的滑动曲线  $\varepsilon-T_2$  及传递效率曲线  $\eta-T_2$  及相关数据。

电测箱操作部分主要集中在箱体正面的面板，面板的布置如图 1-4 所示。

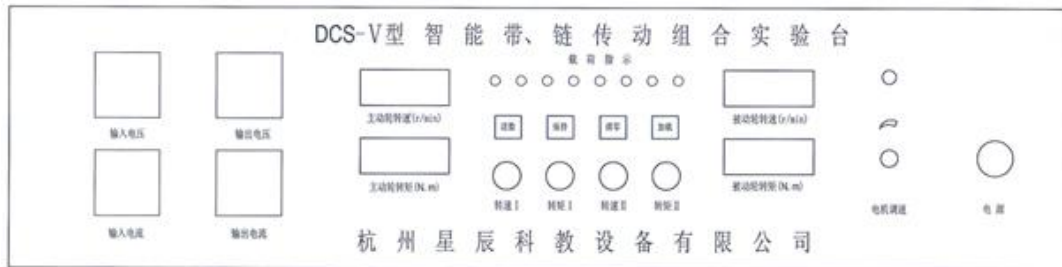


图 1-4 电测箱箱体正面的操作面板布置

在实验台控制柜背面备有电源及信号接口板，微机 RS232 接口、主、被动轮转矩放大、调零旋钮等，其布置情况如图 1-5 所示。

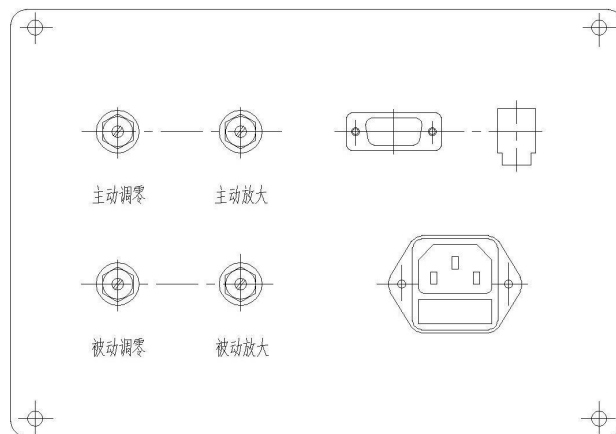


图 1-5 电源及信号接口板

- 1、电源插座
- 2、被动力矩放大倍数调节
- 3、主动力矩放大倍数调节
- 4、被动力矩调零
- 5、主动力矩调零
- 6、RS-232 接口

## 三、实验原理及测试方法

### 1. 调速和加载

主动电机的直流电源由可控硅整流装置供给，转动电位器可改变可控硅控制角，提

供给主动电机电枢不同的端电压，以实现无级调节电机转速。本实验台中设计了粗调和细调两个电位器，可精确的调节主动电机的转速值。

加载是通过改变发电机激磁电压实现的。逐个按动实验台操作面上的“加载”按钮（即逐个并上发电机负载电阻），使发电机激磁电压加大，电枢电流增大，随之电磁转矩增大。由于电动机与发电机产生相反的电磁转矩，发电机的电磁转矩对电动机而言，即为负载转矩。所以改变发电机的激磁电压，也就实现了负载的改变。

本实验台由两台直流电机组成，左边一台是直流电动机，产生主动转矩，通过皮带，带动右边的直流发电机。直流发电机的输出电压通过面板的“加载”按键控制电子开关，逐级接通并联的负载电阻（采用电烙铁的内芯电阻），使发电机的输出功率逐级增加，也即改变了皮带传送的功率大小，使主动直流电动机的负载功率逐级增加，如图 1-6 所示。

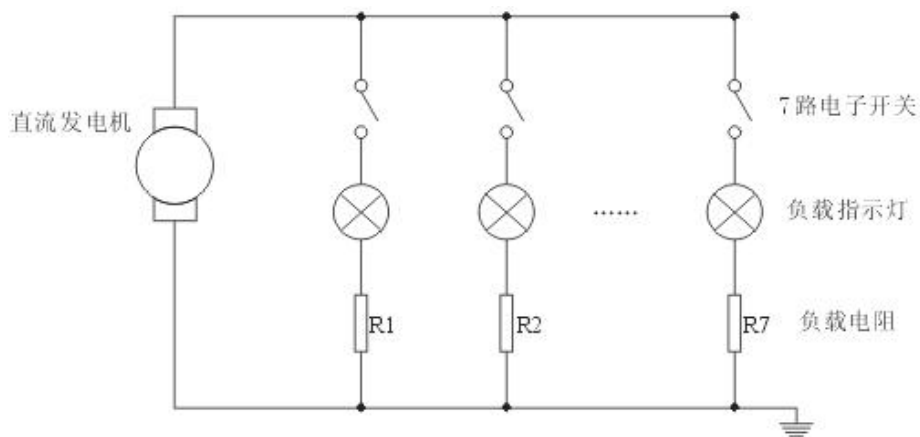


图 1-6 直流发电机加载示意图

## 2. 转速测量

两台电机的转速，分别由安装在实验台两电机带轮背后环形槽中的红外光电传感器上测出。带轮上开有光栅槽，由光电传感器将其角位移信号转换为电脉冲输入单片机中计数，计算得到两电机的动态转速值，并由实验台上的 LED 显示器显示，也可通过微机接口送往 PC 机进一步处理。（参见图 1-7）

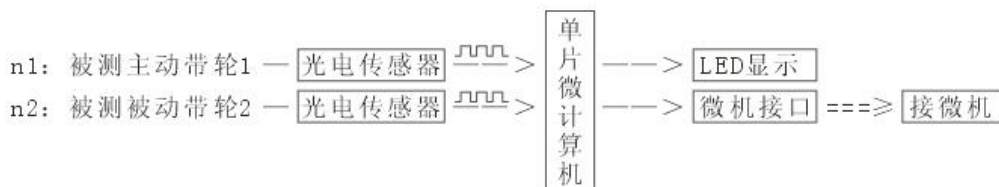


图 1-7 转速测量原理框图

## 3. 转矩测量

如前所示（参见图 1-3）实验台上的两台电机均设计为悬挂支承，当传递载荷时，

传动力矩分别通过固定在电机定子外壳上的杠杆受到转子力矩的反方向力矩测得。该转矩通过杠杆及拉钩作用于拉力传感器上而产生支反力，使定子处于平衡状态。所以得到以下结论。

主动轮上的转矩

$$T_1=L_1 \cdot F_1 \text{ (N} \cdot \text{m)}$$

从动轮上的转矩为:

$$T_2=L_2 \cdot F_2 \text{ (N} \cdot \text{m)}$$

$F_1$ 、 $F_2$  分别为拉力传感器上所受的力，由传感器转换为正比于所受力的电压信号，再经过 A/D 转换将模拟量变换为数字量，并送往单片机中，经过计算得到  $T_1$ 、 $T_2$ ，分别由实验台 LED 显示器显示测量值。

#### 4. 带传动的圆周力、弹性滑动系数和效率

带传动的圆周力公式:

$$F=\frac{2T_1}{r} \text{ (N)}$$

带传动的弹性滑动系数:

$$\varepsilon=\frac{n_1-n_2}{n_1} \times 100\%$$

带传动的效率:

$$\eta=\frac{P_2}{P_1}=\frac{T_2 n_2}{T_1 n_1} \times 100\%$$

式中:  $P_1$ 、 $P_2$  分别为主、从动轮功率 (kW);

$n_1$ 、 $n_2$  分别为主、从动轮转速 (r/min)。

随着负载的改变 ( $F$  的改变),  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $\Delta n=n_1-n_2$  的值也改变, 这样可获得一组  $\varepsilon$  和  $\eta$  的值, 然后可绘出滑动曲线和效率曲线。

### 四、实验内容

#### 1. 人工记录操作方法

##### (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 1-4 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转到底, 使开关“断开”, 细调电位器旋钮逆时针旋到底, 揷电源开关接通电源, 按一下“清零”键, 此时主、被动电机转速显示为“0”。力矩显示为“.”, 实验系统处于“自动校零”状态。校零结束后, 力矩显示为“0”再将粗调调速旋钮顺时针旋转接通“开关”并慢慢向高速方向旋转, 电机由起动, 逐渐增速, 同时观察实验台面板上主动轮转速显示屏上的转速数, 其上的数字即为当时

的电机转速。当主动电机转速达到预定转速 (本实验建议预定转速为 300~800 转/分左右)时, 停止转速调节。此时从动电机转速也将稳定地显示在显示屏上。

### (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(一般 LED 显示器跳动 2~3 次即可达到稳定值)记下主、被动轮的转矩及转速值。

再按“加载”键一次, 第二个加载指示灯亮, 再调整主动转速(用细调电位器), 仍保持预定转速, 待显示稳定后再次记下主、被动轮的转矩及转速。

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、被动轮的转矩、转速。

重复上述操作, 直至 7 个加载指示灯亮, 当实验机构全部显“8888”时, 记录下八组数据。根据这八组数据便可作出带传动滑动曲线 $\varepsilon$ — $T_2$  及效率曲线 $\eta$ — $T_2$ 。

在记录下各组数据后应先将电机粗调速旋钮逆时针转至“关断”状态, 然后将细调电位器逆时针转到底, 再按“清零”键。显示指示灯全部熄灭, 机构处于关断状态, 等待下次实验或关闭电源。

为便于记录数据, 在实验台的面板上还设置了“保持”键, 每次加载数据基本稳定后, 按“保持”键可使转矩、转速稳定在当时的显示值不变。按任意键, 可脱离“保持”状态。

## 2. 实验台与计算机接口

在 DCS-V 型带传动实验台后板上设有 RS232 串行接口, 可通过所附的通讯线直接和计算机相联, 组成带传动实验系统, 操作步骤为:

(1) 将随机携带的通讯线一端接到实验机构 RS232 插座, 另一端接到计算机串行输出口(串行口 1 号或串行口 2 号均可, 但无论连线或拆线, 都应先关闭计算机和实验机构电源, 以免烧坏接口元件)。

(2) 打开计算机, 运行带传动实验系统, 首先选择端口, 然后用鼠标点击采集“数据采集”菜单, 等待数据输入。

(3) 将实验台粗调速电位器逆时针转到底, 使开关断开, 细调电位器也逆时针旋到底。打开实验机构电源, 按“清零”键, 几秒钟后数码管显示“0”, 自动校零完成。

(4) 顺时针转动粗调电位器, 开关接通并使主动轮转速稳定在工作转速(一般取 200—1300rpm 左右), 按下“加载”键再调整主动轮转速(用细调电位器), 使其仍保持在工作转速范围内, 待转速稳定(一般需 2-3 个显示周期)后, 再按“加载”键, 以此往复, 直至实验机构面板上的八个发光管指示灯全亮为止。此时, 实验台面板上四组数码管将全部显示“8888”, 表明所采数据已全部送至计算机。



(5) 当实验机构全部显示“8888”时，计算机屏幕将显示所采集的全部八组主、被动轮的转速和转矩。此时应将电机粗、细调速电位器逆时针转到底，使“开关”断开。

(6) 移动鼠标，选择“数据分析”功能，屏幕将显示本次实验的曲线和数据。如果在本次采集过程中采集的数据有问题，或者采不到数据，请点击串口选择下拉菜单，选择较高级的机型，或者选择另一端口。

(7) 移动鼠标至“打印”功能，打印机将打印实验曲线和数据。

(8) 实验过程中如需调出本次数据，只须将鼠标点击“数据采集”功能，同时按下实验台上的“送数”键，数据即被送至计算机，可用上述 6、7 项操作进行显示和打印。

(9) 一次实验结束后如需继续实验，应“关断”粗调速电位器，将细调电位器逆时针旋到底，并按下实验机构的“清零”键，进行“自动校零”。同时将计算机屏幕中的“数据采集”菜单选中，重复上述第 4-7 项即可。

(10) 实验结束后，将实验台电机调速电位器开关关断，关闭实验机构的电源，用鼠标点击“退出”。退出后应及时关闭计算机。

### 3. 校零与标定

#### (1) 校零

为提高实验系统的实验准确度和稳定性，以及方便实验操作。本实验台具有“自动校零”功能，能清除系统的零点漂移而带来的实验误差。操作者在平时的实验过程中，无需进行手动校零操作。若因种种原因而使系统零点产生较大偏移时，则可按下述方法进行手动校正：

a. 接通实验台电源，并使实验台处于“自动校零”状态。

b. 松开实验台背面调零电位器的锁紧螺母，同时使用万用表接入实验台面板上的主、被动转矩输出端。调整调零电位器，使得输出电压在 1V 左右。

c. 调零结束后，再锁紧调零电位器的锁紧螺母即可。

#### (2) 标定

为提高实验数据的精度及可靠性，实验台在出厂时都是经过标定的。标定方法如下：

a. 接通实验台电源，使实验台进入“自动校零”状态(方法同前)，然后调节调速旋钮，使电机稳定在某一低速状态(一般可取  $n=300$  转/分左右)。按“加载”键一次，第一个加载指示灯亮，实验台进入“标定”状态。

b. 记录下“标定”状态时主、被动电机转矩的显示值  $T_{1.0}$  和  $T_{2.0}$ 。选定某一重量的标准砝码，挂在实验台的标定杆(标定时临时装上)。调节力矩放大倍数调节电位器，使得力矩显示值  $T_i$  符合下式：

$$T_i = m \times L \times g + T_{i.0} (\text{N} \cdot \text{m})$$

式中  $m$ ——砝码质量 (kg)

$L$ ——砝码悬挂点到电机中心距离 (m)

$g$ ——重力加速度 ( $m/S^2$ )

$T_{i0}$ ——挂砝码前的力矩显示值。

例如  $m=0.4kg$ ;  $L=0.10m$ ;  $T_{i0}=0.06N\cdot m$ ; 则  $T_i=0.452N\cdot m$

标定结束后, 应锁紧力矩放大倍数电位器的锁紧螺母。

注意: 已“校零”与“标定”, 无须重复。

## 五、注意事项

整个软件界面由标题栏、菜单栏、采集数据显示区、计算结果显示区、曲线显示区、误差分析结果显示区、剩余标准差  $S$  相关指数  $R^*R$  结果显示区, 七部分组成。整个软件的功能是由菜单栏的下拉菜单完成的, 整个菜单栏包括串口选择、数据采集、采用模拟数据、数据分析、数据拟合、打印、帮助、退出。下面分别对每一菜单功能进行说明:

### ■ 串口选择

串口 1: 在进行数据采集之前必须做这一步, 用户可根据实际硬件的搭接情况进行选择, 其中串口 1 在本软件指定的位置为:3F8H(十六进制)。

串口 2: 同串口 1 的菜单说明, 只不过串口 2 在本软件中指定的位置为 2F8H(十六进制)。

### ■ 数据采集

在进行串口选择操作后, 即可进行数据采集操作, 在正确采集数据操作后, 在采集数据显示区可以看到所采集的数据, 它包括主动轮转速  $n_1(r/min)$ 、从动轮转速  $n_2(r/min)$ 、主动轮转矩  $T_1(N\cdot m)$ 、被动轮转矩  $T_2(N\cdot m)$ 。如果在采集过程中, 出现采集不到数据, 或者采集数据有错误, 请重复数据采集这一步, 或者重新进行串口选择操作。

有关数据采集的实验台的使用说明请参看“帮助”下拉菜单的“实验台使用说明”中有关实验操作部分。

### ■ 采用模拟数据

设置该项功能的目的在于, 如果现场没有带传动实验台, 无法进行现场采集操作, 那么就可以点击该菜单, 系统将自动采用软件出品时所采集的一组数据, 在采集数据显示区可以看到所采用的模拟数据, 用该组数据, 用户可以进行数据分析、数据拟合、打印等一系列操作。即可以在无实验台的情况下进行软件演示。

### ■ 数据分析

数据分析的功能在于: 将采集的数据(主动轮转速  $n_1(r/min)$ 、从动轮转速  $n_2(r/min)$ 、主动轮转矩  $T_1(N\cdot m)$ 、被动轮转矩  $T_2(N\cdot m)$ )进行效率, 滑差率的计算, 并在曲线显示区显示效率  $\eta$ —— $T_2$ 、滑差率  $\varepsilon$ —— $T_2$  的曲线。如果没有进行数据采集操作或采用模拟数据操作, 系统会提示要求进行数据采集操作, 没有数据, 系统将不会进行数据分析操作。

## ■ 数据拟合

在这一菜单下，有“效率曲线最小二乘法拟合”、“效率曲线指数拟合”、“滑差率曲线最小二乘法拟合”、“滑差率曲线指数拟合”四个下拉菜单，在“效率曲线最小二乘法拟合”和“滑差率曲线最小二乘法拟合”下又分别设有子菜单：“二次拟合”、“三次拟合”、“四次拟合”、“高次拟合”。在“高次拟合”中，可以输入的拟合次数为 5 到 8 次，如果输入拟合次数高于 8 次，系统将不会进行该次数的拟合操作。选择相应的拟合次数后，系统将会进行相应的拟合操作，同时在曲线显示区将会分别显示出效率曲线和滑差率曲线的拟合效果，用户可以选择相应的拟合方式进行拟合，以达到偏差最小、相关系数最大的拟合效果。在进行拟合操作以后，可以使用计算机键盘上的方向键来移动光标,查看横坐标位置的滑差率和效率数值。

## ■ 打印

点击该菜单可以进行打印操作，打印的结果是采集的数据和曲线显示区显示的曲线。

## ■ 帮助

该菜单下有下拉菜单：“带传动系统软件说明书”、“实验系统说明书”、“关于”三项。其中带传动系统软件说明书指的本使用说明书，实验系统说明书指的是带传动实验台的使用说明书，关于里有一些版本的信息。

## ■ 退出

点击该菜单可以退出本系统。

## 六、其它

# 实验一 带传动实验报告

姓名：\_\_\_\_\_ 班级：\_\_\_\_\_ 学号：\_\_\_\_\_ 成绩：\_\_\_\_\_

同组者姓名：\_\_\_\_\_ 日期：\_\_\_\_\_

## 一、实验目的

## 二、实验机构及测试原理

## 三、有关实验的数据记录

实验条件：

(1) 带的种类：\_\_\_\_\_ 规格：\_\_\_\_\_

(2) 带的初拉力： $F_0 =$ \_\_\_\_\_ N

(3) 张紧方式：\_\_\_\_\_ 自动张紧

(4) 杠杆臂长度：\_\_\_\_\_

(5) 带轮直径：\_\_\_\_\_

(6) 包角：\_\_\_\_\_

No	$n_1$ (r/min)	$n_2$ (r/min)	$T_1$ (N·m)	$T_2$ (N·m)	$\eta$ (%)	$\varepsilon$ (%)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

#### 四、绘制滑动曲线，效率曲线图

## 五、思考题

- 1、带传动的弹性滑动与带的初始紧张力有什么关系？
- 2、带传动的弹性滑动与带上的有效工作拉力有什么关系？
- 3、带传动为什么会发生打滑失效？
- 4、针对带传动的打滑失效，可采用哪些技术措施予以改进？

## 实验二 滑动轴承实验

### 一、实验目的

该实验采用 ZCS-II 型液体动压轴承实验台用于机械设计中液体动压滑动轴承实验。主要利用它来观察滑动轴承的结构、测量其径向油膜压力分布、测定其摩擦特征曲线。使用该实验系统完成以下实验：

- 1、液体动压轴承油膜压力径向分布的测试分析；
- 2、液体动压轴承摩擦特征曲线的测定；
- 3、液体动压轴承实验的其他重要参数测定：如轴承平均压力值、轴承  $pv$  值、偏心率、最小油膜厚度等；

### 二、实验系统

#### 1. 实验系统组成

轴承实验台的系统框图如图 2-1 所示，它由以下设备组成：

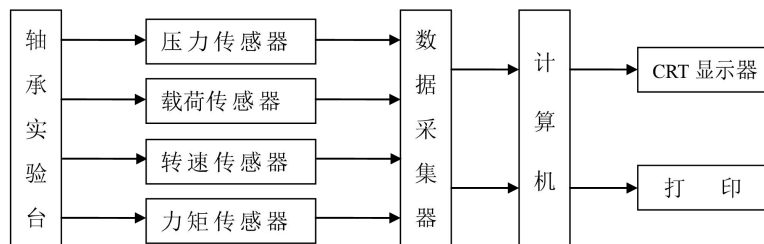
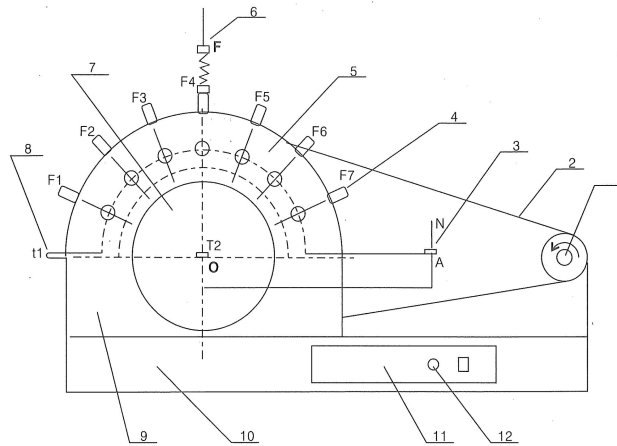


图 2-1 轴承实验台系统框图

- (1) 轴承实验台——轴承实验台的机械结构
- (2) 压力传感器——共 7 个，用于测量轴瓦上油膜压力分布值
- (3) 载荷传感器——共 1 个，测量外加载荷值
- (4) 转速传感器——测量主轴转速
- (5) 力矩传感器——共 1 个，测量摩擦力矩
- (6) 单片机
- (7) PC 机
- (8) 打印机

#### 2. 实验系统结构

该实验机构中滑动轴承部分的结构简图如图 2-2



- 1.电机 2.皮带 3.摩擦力传感器 4.压力传感器：测量轴承表面油膜压力，共7个  $P_1—P_7$   
5.轴瓦 6.加载传感器 7.主轴 8.油槽 9.底座 10.面板 11.调速旋钮

图 2-2 滑动轴承部分简图

试验台启动后，由电机 1 通过皮带带动主轴 7 在油槽 9 中转动，在油膜粘力作用下通过摩擦力传感器 3 测出主轴旋转时受到的摩擦力矩；当润滑油充满整个轴瓦内壁后轴瓦上的 7 个压力传感器可分别测出分布在其上的油膜压力值。

### 3. 实验系统主要技术参数

- (1) 实验轴瓦：内径  $d=70\text{mm}$  长度  $L=125\text{mm}$
- (2) 加载范围：0~1800 N
- (3) 摩擦力传感器量程：50 N
- (4) 压力传感器量程：0~1.0 MPa
- (5) 加载传感器量程：0~2000 N
- (6) 直流电机功率：355 W
- (7) 主轴调速范围：2~500 rpm

## 三、实验原理及测试内容

### 1. 实验原理

两个作相对运动的摩擦表面，因相对速度而产生的粘性流体膜将两表面完全隔开，有流体膜产生的压力来平衡外载荷，称为流体动力润滑。

滑动轴承形成动压润滑油膜的过程如图 2-3 所示。当轴静止时，轴承孔与轴颈直接接触，如图 2-3 (a) 所示。径向间隙  $\Delta$  使轴颈与轴承的配合面之间形成楔形间隙，其间充满润滑油。由于润滑油具有粘性而附着于零件表面的特性，因而当轴颈回转时，依靠附着在轴颈上的油层带动润滑油挤入楔形间隙。因为通过楔形间隙的润滑油质量不变（流体连续运动原理），而楔形中的间隙截面逐渐变小，润滑油分子间相互挤压，从而



油层中必然产生流体动压力，它力图挤开配合面，达到支承外载荷的目的。当各种参数协调时，液体动压力能保证轴的中心与轴瓦中心有一偏心距  $e$ 。最小油膜厚度  $h_{\min}$  存在于轴颈与轴承孔的中心连线上。液体动压力的分布如图 2-3 (c) 所示。

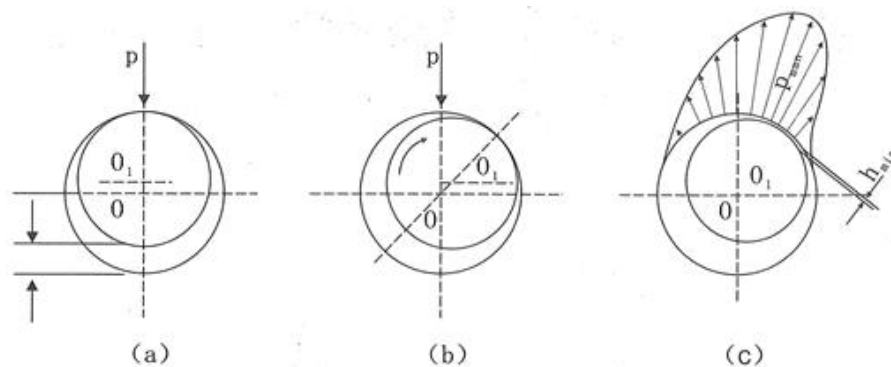


图 2-3 径向滑动轴承形成流体动力润滑的过程

液体动压润滑能否建立，通常用  $f$ - $\lambda$  曲线来判别。图 2-4 中  $f$  为轴颈与轴承之间的摩擦系数， $\lambda$  为轴承特性系数，它与轴的转速  $n$ ，润滑油动力粘度  $\eta$ 、润滑油压强  $p$  之间的关系为：

$$\lambda = \eta n / p$$

式中， $n$  为轴颈转速； $\eta$  为润滑油动力粘度； $p$  为单位面积载荷。

式中， $p = \frac{F_r}{\pi d l_1}$ ； $N/mm^2$ 。 $F_r$  是轴承承受的径向载荷； $d$  是轴承的孔径，本实验中， $d=70mm$ ； $l_1$  是轴承有效工作长度，对本实验轴承，取  $l_1=125mm$ 。

如图 2-4，当轴颈开始转动时，速度极低，这时轴颈和轴承主要是金属相接触，产生的摩擦为金属间的直接摩擦，摩擦阻力最大。随着转速的增大，轴颈表面的圆周速度增大，带入油楔内的油量也逐渐加多，则金属接触面被润滑油分隔开的面积也逐渐加大，因而摩擦阻力也就逐渐减小。

当速度增加到一定大小之后，已能带入足够把金属接触面分开的油量，油层内的压力已建立到能支承轴颈上外载荷程度，轴承就开始按照液体摩擦状态工作。此时，由于轴承内的摩擦阻力仅为液体的内阻力，故摩擦系数达到最小值，如图 2-4 摩擦特性曲线上 A 点。

当轴颈转速进一步加大时，轴颈表面的速度亦进一步增大，使油层间的相对速度增大，故液体的内摩擦也就增大，轴承的摩擦系数也随之上升。

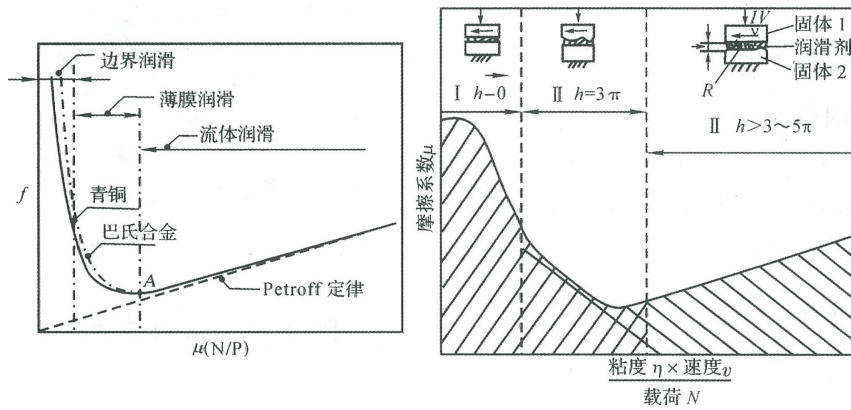


图 2-4 摩擦特性曲线 (Stribeck 曲线)

特性曲线上的 A 点是轴承由混合润滑向流体润滑转变的临界点。此点的摩擦系数最小，此点相对应的轴承特性系数称为临界特性系数，以  $\lambda_c$  表示。A 点之右，即  $\lambda > \lambda_c$  区域为流体润滑状态；A 点之左，即  $\lambda < \lambda_c$  区域称为边界润滑状态。

根据不同条件所测得的  $f$  和  $\lambda$  之值，我们就可以作出  $f$ - $\lambda$  曲线，用以判别轴承的润滑状态，能否实现在流体润滑状态下工作。

## 2. 油膜压力测试实验

### (1) 理论计算压力

图 2-5 为轴承工作时轴颈的位置。

根据流体动力润滑的雷诺方程，从油膜起始角  $\varphi_1$  到任意角  $\varphi$  的压力为：

$$p_\varphi = 6\eta \frac{\omega}{\psi_2} \int_{\varphi_1}^{\varphi} \frac{\chi \cdot (\cos\varphi - \cos\varphi_0)}{(1 + \chi \cos\varphi)^3} d\varphi \quad (2-1)$$

式中：  $p_\varphi$  ——任意位置的压力 单位：Pa

$\eta$  ——油膜粘度  $\omega$  ——主轴转速 单位：rad/s

$\psi$  ——相对间隙  $\psi = \frac{D-d}{d}$  其中  $D$  为轴承孔直径， $d$  为轴颈直径

$\varphi$  ——油压任意角 单位：度

$\varphi_0$  ——最大压力处极角 单位：度

$\varphi_1$  ——油膜起始角 单位：度

$\chi$  ——偏心率  $\chi = \frac{2 \cdot e}{d}$  其中  $e$  为偏心距

在雷诺公式中，油膜起始角  $\varphi_1$ 、最大压力处极角  $\varphi_0$  由实验台实验测试得到。另一变化参数：偏心率  $\chi$  的变化情况，它由查表得到。具体方法如下：

对有限宽轴承，油膜的总承载能力为：

$$F = \frac{\eta \cdot \omega \cdot d \cdot B}{\psi_2} C_p \quad (2-2)$$

式中：  $F$  ——承载能力，即外加载荷 单位：N

$B$  ——轴承宽度 单位：mm

$C_p$ ——承载量系数，见表 2-1

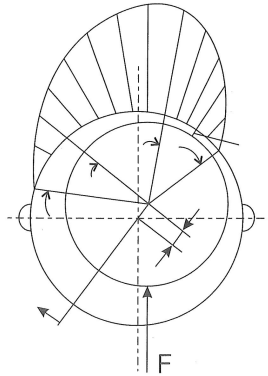


图 2-5 径向滑动轴承的油压分布

由公式 (2-2) 可推出：

$$C_p = \frac{F \cdot \psi_2}{\eta \cdot \omega \cdot d \cdot B} \quad (2-3)$$

由公式 (2-3) 计算得承载量系数  $C_p$  后再查表可得到在不同转速、不同外加载荷下的偏心率情况。

注：若所查的参数系数超出了表中所列的，可用插入值法进行推算。

### (2) 实际测量压力

如图 2-2 所示，启动电机，控制主轴转速，并施加一定工作载荷运转一定时间轴承中形成压力油膜后图中代号  $F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7$  七个压力传感器用于测量轴瓦表面每隔  $22^\circ$  角处的七点油膜压力值，并经 A/D 转换器送往 PC 微机中显示压力值。

在实验台配套软件中可以分别作出油膜实际压力分布曲线和理论分布曲线，比较两者间的差异。

## 3. 摩擦特性实验

### (1) 理论摩擦系数

理论摩擦系数公式：

$$f = \frac{\pi \cdot \eta \cdot \omega}{\psi \cdot p} + 0.55 \psi \cdot \varepsilon \quad (2-4)$$

式中： $f$ ——摩擦系数

$p$ ——轴承平均压力， $p = \frac{F}{B}$  单位：Pa

$\varepsilon$ ——随轴承宽径比而变化的系数，对于  $B/d < 1$  的轴承， $\varepsilon = (d/B) 1.5$ ；当  $B/d \geq 1$  时， $\varepsilon = 1$ ；

$\psi$ ——相对间隙  $\psi = \frac{D-d}{d}$

由公式 (2-4) 可知 理论摩擦系数  $f$  的大小与油膜粘度  $\eta$ 、转速  $\omega$  和平均压力  $p$  (也即外加载荷  $F$ ) 有关。在使用同一种油膜温度有关，由于不是在长时间工作的情况

下，油膜温度变化不大，因此在本

实验系统中暂时不考虑粘度因素。

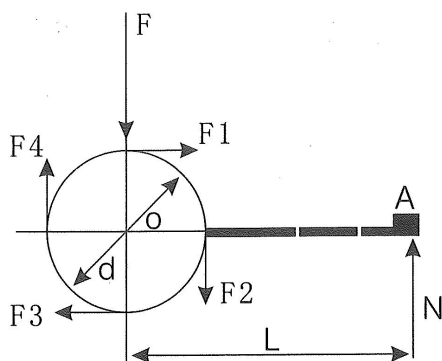


图 2-6 轴径圆周表面摩擦力分析

## (2) 测量摩擦系数

如图 2-2 所示，在轴瓦中心引出一压力传感器 10，用以测量轴承工作时的摩擦力矩，进而换算得摩擦系数值。对它们分析如图 2-6：

$$\sum F^* r = N \cdot L \quad (2-5)$$

$$\sum F = f \cdot F \quad (2-6)$$

式中： $\sum F$ ——圆周上各切点摩擦力之和  $\sum F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + \dots$

$r$ ——圆周半径

$N$ ——压力传感器测得的力

$L$ ——力臂

$F$ ——外加载荷力

$f$ ——摩擦系数

所以实测摩擦系数公式：

$$f = \frac{N \cdot L}{F \cdot r} \quad (2-7)$$

## 4. 轴承实验中其他重要参数

在轴承实验实验中还有一些比较重要的参数概念，以下分别作一一介绍。

(1) 轴承的平均压力  $p$ （单位：MPa）

$$p = \frac{F}{d \cdot B} \leq [p] \quad (2-8)$$

式中： $F$ ——外加载荷，N

$B$ ——轴承宽度，mm

$d$ ——轴径直径，mm

$[p]$ ——轴瓦材料许用压力，MPa，其值可查

(2) 轴承  $pv$  值（单位：MPa·m/s）

轴承的发热量与其单位面积上的摩擦功耗  $f p v$  成正比（ $f$  是摩擦系数），限制  $pv$  值就

是限制轴承的温升。

$$pv = \frac{F}{B \cdot d} \cdot \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60 \cdot 1000} = \frac{F \cdot n}{19100 \cdot B} \leq [pv] \quad (2-9)$$

式中： $v$ ——轴颈圆周速度，m/s

$[pv]$ ——轴承材料  $pv$  许用值，MPa·m/s，其值可查

### (3) 最小油膜厚度

$$h_{\min} = r \cdot \psi \cdot (1 - \chi) \quad (2-10)$$

式中各参数说明见前。


## 四、实验操作步骤

### (一) 系统联接及启动

#### 1. 连接 RS232 通讯线

在实验台及计算机电源关闭状态下，将标准 RS232 通讯线分别接入计算机及 ZCS-II 型液体动压轴承实验台 RS232 串行接口。

#### 2. 启动机械教学综合实验系统

确认 RS232 串行通讯线正确联接，开启电脑，点击“轴承实验台 II”图标 ，进入 ZCS-II 型液体动压轴承实验台系统“油膜压力分布实验”主界面如图 2-7。

### (二) 油膜压力测试实验

滑动轴承实验系统“油膜压力分布实验”主界面如图 2-7：

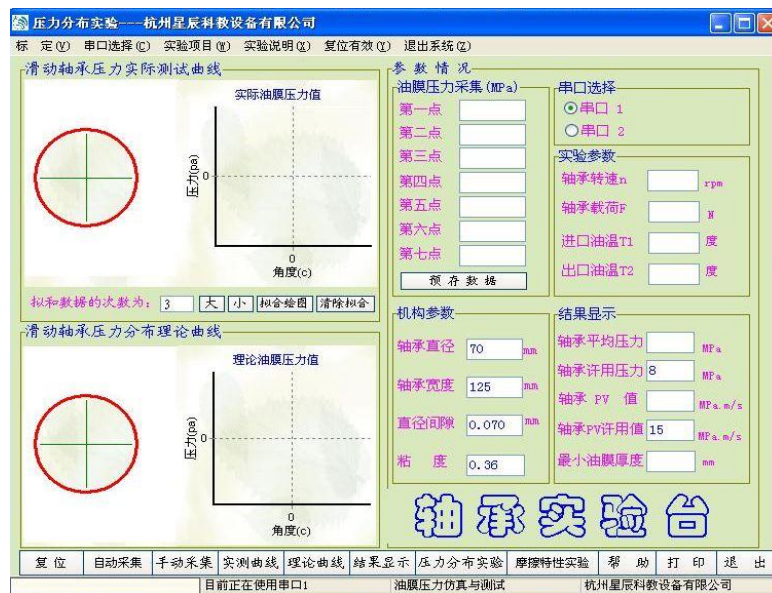


图 2-7 油膜压力分析实验主界面

#### 1. 系统复位

放松加载螺杆，确认载荷为空载，将电机调速电位器旋钮逆时针旋到底即零转速。顺时针旋动轴瓦前上端的螺钉，将轴瓦顶起将油膜放净，然后放松该螺钉，使轴瓦和轴

充分接触。

点击“复位”键，计算机采集 7 路油膜压力传感器初始值，并将此值作为“零点”储存。

## 2.油膜压力测试

点击“自动采集键”系统进入自动采集状态，计算机实时采集 7 路压力传感器、实验台主轴转速传感器及工作载荷传感器输出电压信号，进行“采样-处理-显示”。慢慢转动电机调速电位器旋钮启动电机，使主轴转速达到实验预定值（一般  $n \leq 300\text{rpm}$ ）。

旋动加载螺杆，观察主界面中轴承载荷显示值，当达到预定值（一般为 1800N）后即可停止调整。观察 7 路油膜压力显示值，待压力值基本稳定后点击“提取数据键”，自动采集结束。主界面上即保存了相关实验数据。

## 3.自动绘制滑动轴承油膜压力分布曲线

点击“实测曲线”键计算机自动绘制滑动轴承实测油膜压力分布曲线。点击“理论曲线”键计算机显示理论计算油膜压力分布曲线。

## 4.手工绘制滑动轴承油膜压力分布曲线

根据测出的油压大小按一定比例手动绘制油压分布曲线，如图 2-8 所示。具体画法是沿着圆周表面从左向右画出角度分别为： $24^\circ$ ， $46^\circ$ ， $68^\circ$ ， $90^\circ$ ， $112^\circ$ ， $134^\circ$ ， $156^\circ$ 等分，得出压力传感器 1,2,3,4,5,6,7 的位置,通过这些点与圆心连线,在它们的延长线上,将压力传感器测出的压力值,按  $0.1\text{MPa}:5\text{mm}$  的比例画出压力向量  $1-1'$ ， $2-2'$ ，... $7-7'$ 。实验台压力传感器显示数值的单位是大气压（1 大气压= $1\text{kgf}/\text{mm}^2$ ），换算成国际单位值的压力值（ $1\text{kgf}/\text{mm}^2=0.1\text{MPa}$ ）。经  $1'$ ， $2'$ ... $7'$ 各点连成平滑曲线，这就是位于轴承宽度中部的油膜压力在圆周方向的分布曲线。

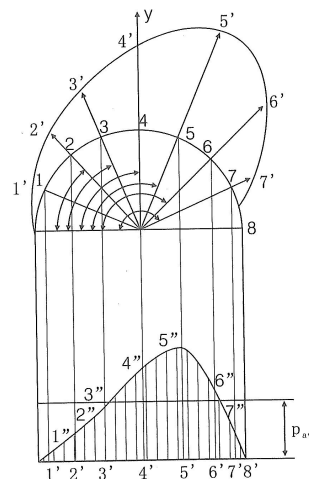


图 2-8 径向压力分布与承载量曲线

为了确定轴承的承载量，用  $p_i \cdot \sin\phi_i$  ( $1, 2, \dots, 7$ ) 求出压力分布向量  $1-1'$ ， $2-2'$ ，... $7-7'$  在载荷方向上（y 轴）的投影值。然后，将  $p_i \cdot \sin\phi_i$  这些平行与 y 轴的向量移到直径 0-8 上，为清楚起见，将直径 0-8 平移到图 4 的下面部分，在直径 0-8'' 上先画出圆周表面上

压力传感器油孔位置的投影点 1', 2', ...7'。然后通过这些点画出上述相应的各点压力在载荷方向上的分布量, 即 1'', 2'', ...7'' 点位置, 将各点平滑地连接起来, 所形成的曲线即为在载荷方向上的压力分布。在直径 0'-8' 上作一矩形, 采用方格坐标纸, 使其面积与曲线包围的面积相等, 则该矩形的边长  $p_{av}$  即为轴承中该截面上的油膜中平均径向压力。

滑动轴承处于流体摩擦 (液体摩擦) 状态工作时, 其油膜承载量与外载荷相平衡, 轴承内油膜的承载量可用下式求出:

$$F_r = W = \phi\psi p_{av}Bd \quad (2-11)$$

$$\psi = \frac{W}{p_{av}Bd} \quad (2-12)$$

式中,  $W$ ——轴承内油膜承载能力;

$F_r$ ——外加径向载荷;

$\psi$ ——轴承端泄对其承载能力的影响系数;

$p_{av}$ ——轴承的径向平均单位压力;

$B$ ——轴瓦长度;

$D$ ——轴瓦内径。

润滑油的端泄对轴承内的压力分布及轴承的承载能力影响较大, 通过实验可以观察其影响, 具体方法如下。

将由实验测得的每只压力传感器的压力值代入下式, 可求出在轴瓦中心截面上的平均单位压力:

$$p_{av} = \frac{\sum_{i=1}^7 p_i \sin\phi_i}{7} \quad (2-13)$$

轴承端泄对轴承承载能力的影响系数, 由公式(2-13)求得。

### (三) 摩擦特性测试实验

滑动轴承的摩擦特性曲线见图 2-4。参数  $\eta$  为润滑油的动力粘度, 润滑油的粘度受到压力与温度的影响, 由于实验过程时间短, 润滑油的温度变化不大; 润滑油的压力一般低于 20MPa, 因此可以认为润滑油的动力粘度是一个近似常数。根据查表可得 N46 号机械油在 20°C 时的动力粘度为 0.34Pa·s。  $n$  为轴的转速, 是一个实验中可调节的参数。轴承中的平均比压可用下式计算:

$$p = \frac{F_r}{Bd} \quad (2-14)$$

在实验中, 通过调节轴的转速  $n$  或外加轴承径向载荷  $F_r$ , 从而改变  $\eta n/p$ , 将各种转速  $n$  及载荷  $F_r$  所对应的摩擦力矩测出由 2-5 求得出摩擦系数  $f$  并画出  $f-n$  及  $f-F_r$  曲线。

## 1. 载荷固定，改变转速

### (1) 确定实验模式

打开轴承实验主界面，点击“摩擦特性实验”进入摩擦特性实验主界面如图 2-9 所示。

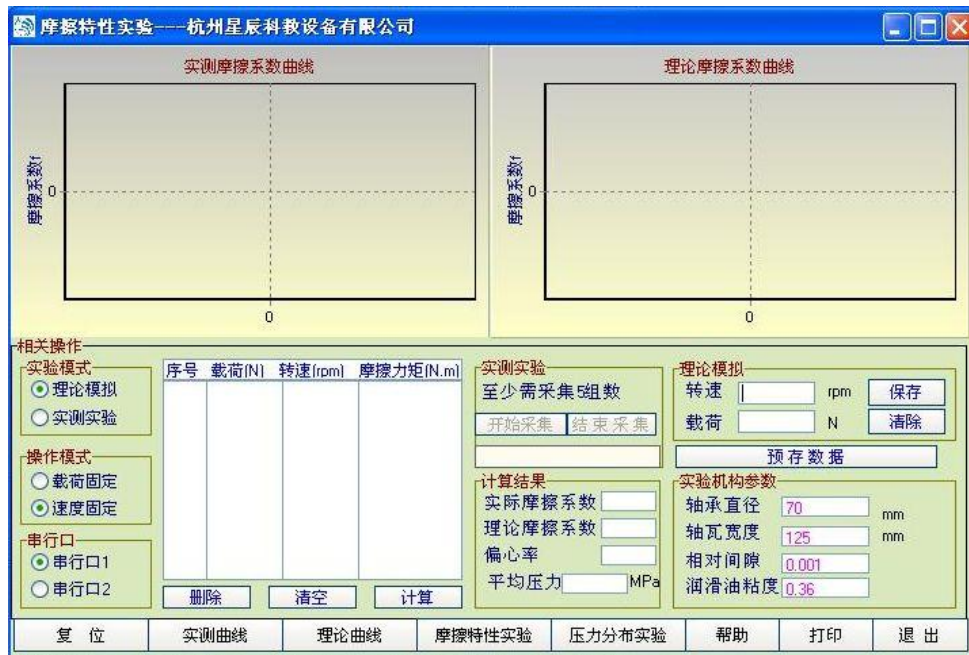


图 2-9 滑动轴承摩擦特性实验主界面

点击图 2-9 中“实测实验”及“载荷固定”模式设定键，进入“载荷固定”实验模式。

### (2) 系统复位

放松加载螺杆，确认载荷为空载，将电机调速电位器旋钮逆时针旋到底即零转速。顺时针旋动轴瓦前上端的螺钉，将轴瓦顶起将油膜放净，然后放松该螺钉，使轴瓦和轴充分接触。点击“复位”键，计算机采集摩擦力矩传感器当前输出值，并将此值作为“零点”保存。

### (3) 数据采集

系统复位后，在转速为零状态下点击“数据采集”键，慢慢旋转实验台加载螺杆，观察数据采集显示窗口，设定载荷为 300-500N。慢慢转动电机调速电位器旋钮并观察数据采集窗口，此时轴瓦与轴处于边界润滑状态，摩擦力矩会出现较大增加值，由于边界润滑状态不会非常稳定，应及时点击“数据保存”键将这些数据保存（一般 2~3 个点即可）。

随着主轴转速增加机油将进入轴与轴瓦之间进入混合摩擦。此时 $\eta n/p$ 的改变引起摩擦系数 $f$ 的急剧变化，在刚形成液体摩擦时，摩擦系数 $f$ 达到最小值。

继续增加主轴转速进入液体摩擦阶段，随着 $\eta n/p$ 的增大即 $n$ 增加，油膜厚度及摩擦系数 $f$ 也成线形增加，保存 8 个左右采样点即完成数据采集。点击“结束采集”键完成数据采集。



#### (4) 绘制测试曲线

点击“实测曲线”计算机根据所测数据自动显示  $f-n$  曲线。也可由学生抄录测试数据手工描绘实验曲线。点击“理论曲线”计算机按理论计算公式计算并显示  $f-n$  曲线。按“打印”功能键，可将所测试数据及曲线自动打印输出。

### 2. 转速固定, 改变载荷

#### (1) 确定实验模式

操作同载荷固定改变转速模式确定一节，并在图 2-9 中设定为“转速固定”实验模式。

#### (2) 系统复位

同上节操作

#### (3) 数据采集

点击“数据采集”键，在轴承径向载荷为零状态下，慢慢转动调速电位器旋钮，观察数据采集显示窗口，设定转速为某一确定值，例如 200rpm，点击“数据保存”键得到第一组数据。

点击“数据采集”键，慢慢旋转加载螺杆并观察采集显示窗口。当载荷达到预定值时点击“数据保存”得到第二组数据。

反复进行上述操作，直至采集 8 组左右数据，点击“结束采集”键，完成数据采集。

#### (4) 绘制测试曲线

方法同上节，可显示或打印输出实测  $f-F$  曲线及理论  $f-F$  曲线。同样也可由学生手工绘制。

### (四) 注意事项

在开机做实验之前必须首先完成以下几点操作，否则容易影响设备的使用寿命和精度。

(1) 在启动电机转动之前请确认载荷为空，即要求先启动电机再加载。

(2) 在一次实验结束后马上又要重新开始实验时请顺时针旋动轴瓦上端的螺钉，顶起轴瓦将油膜先放干净，同时在软件中要重新复位（这很重要！），这样确保下次实验数据准确。

(3) 由于油膜形成需要一小段时间，所以在开机实验或在变化载荷或转速后请待其稳定后（一般等待 5~10s 即可）再采集数据。

(4) 在长期使用过程中请确保实验油的足量、清洁；油量不足或不干净都会影响实验数据的精度，并会造成油压传感器堵塞等问题。

## 五、附录

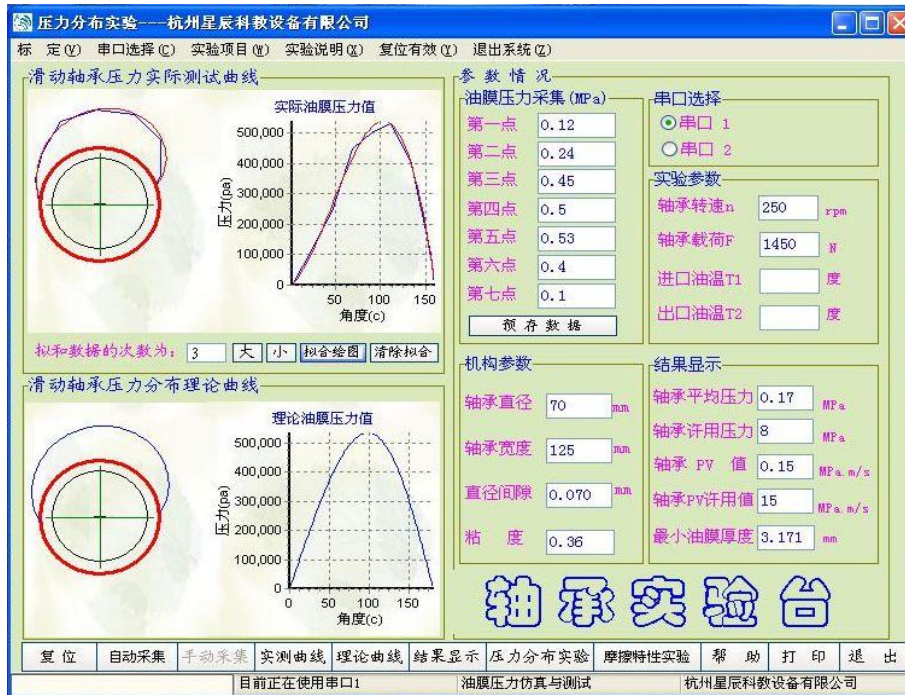
### 附录 1、轴承实验台软件说明

本软件界面有两个主窗体：

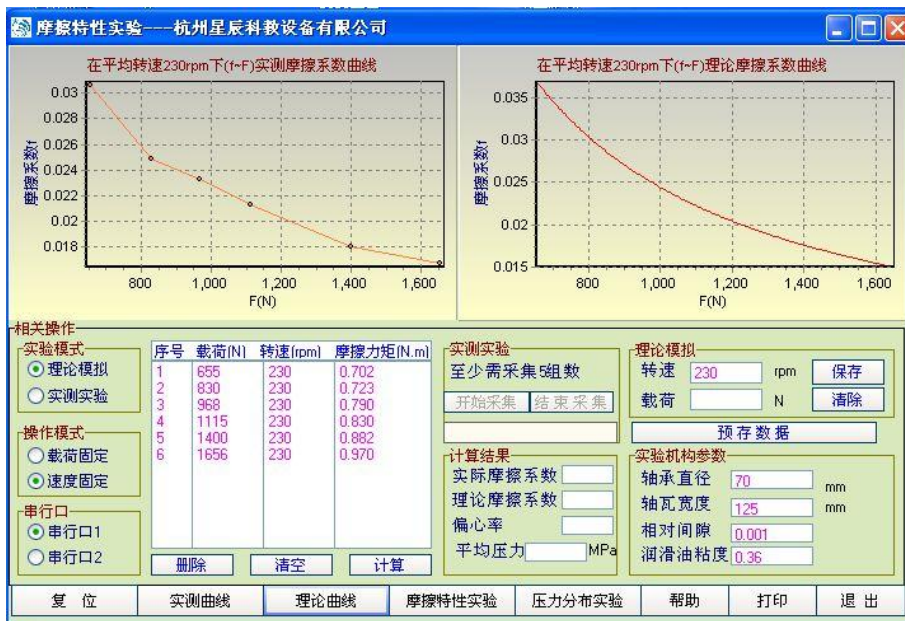
主窗体 1：油膜压力仿真与测试 （见附图 1）

主窗体 2：摩擦特性仿真与测试 （见附图 2）

注：图中数据仅为参考值，不代表实验数据



(附图 1)



(附图 2)

附表 2-1 有限宽轴承的承载量系数  $C_p$  表

$B/d$	$\chi$
	承载量系数 $C_p$

	0.3	0.4	0.5	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	0.99
0.3	0.0522	0.0826	0.128	0.203	0.259	0.347	0.475	0.699	1.122	2.074	5.73	50.52
0.4	0.0893	0.141	0.216	0.339	0.431	0.573	0.776	1.079	1.775	3.195	8.393	65.26
0.5	0.133	0.209	0.317	0.493	0.622	0.819	1.098	1.572	2.428	4.216	10.706	75.86
0.6	0.182	0.283	0.427	0.655	0.819	1.07	1.418	2.001	3.306	5.214	12.64	83.21
0.7	0.234	0.361	0.538	0.816	1.014	1.312	1.72	2.399	3.58	6.029	14.14	88.9
0.8	0.287	0.439	0.647	0.972	1.199	1.538	1.965	2.754	4.053	6.721	15.37	92.89
0.9	0.339	0.515	0.754	1.118	1.371	1.745	2.248	3.067	4.459	7.294	16.37	96.35
1.0	0.391	0.589	0.853	1.253	1.528	1.929	2.469	3.372	4.808	7.772	17.81	98.95
1.1	0.44	0.658	0.947	1.377	1.669	2.097	2.664	3.58	5.106	8.816	17.86	101.15
1.2	0.487	0.723	1.033	1.489	1.796	2.247	2.838	3.787	5.364	8.533	18.43	102.9
1.3	0.529	0.784	1.111	1.59	1.912	2.379	2.99	3.968	5.586	8.831	18.91	104.42
1.5	0.61	0.891	1.248	1.763	2.099	2.6	3.242	4.266	5.947	9.304	19.68	106.84
2.0	0.763	1.091	1.483	2.07	2.466	2.981	3.671	4.778	6.545	10.091	20.97	110.79

## 实验二 滑动轴承实验报告

姓名：\_\_\_\_\_ 班级：\_\_\_\_\_ 学号：\_\_\_\_\_ 成绩：\_\_\_\_\_

同组者姓名：\_\_\_\_\_ 日期：\_\_\_\_\_

### 一、实验数据记录：

试验条件：

1. 进油温度  $t_1 =$  \_\_\_\_\_  $^{\circ}\text{C}$

2. 润滑油粘度  $\eta =$  \_\_\_\_\_

(一) 油膜压力分布曲线：

$F$ (N)	转速 $n$ (r/min)	压力表读数							
		1	2	3	4	5	6	7	8

(二) 摩擦特性曲线：(1) 定载荷，变转速

转速 $n$ (r/min)	$(F=$ _____ $\text{N})$		
	摩擦力矩(N·m)	$\eta n/p$	$f$

摩擦特性曲线：(2) 定转速，变载荷

$F$ (N)	$(n=$ _____ $\text{r/min})$		
	摩擦力矩(N·m)	$\eta n/p$	$f$


(三) 实验结果曲线:

油膜径向压力分布曲线

滑动轴承摩擦特性曲线 (载荷固定, 转速变化)

滑动轴承摩擦特性曲线 (转速固定, 载荷变化)

## 二、思考题

- 1、为什么油膜压力曲线会随转速的改变而改变？
- 2、为什么摩擦系数会随转速的改变而改变？
- 3、哪些因素会引起滑动轴承摩擦系数测定的误差？

## 实验三 轴系结构设计实验

### 一、实验目的

1. 熟悉并掌握轴、轴上零件的结构形式及功用、工艺要求和装配关系；
2. 熟悉并掌握轴及轴上零件的定位与固定方法；
3. 了解轴承的类型、布置、安装和调整方法，以及润滑和密封方式。
4. 培养锻炼学生综合运用所学知识的能力。

### 二、实验设备

1. 组合式轴系结构设计分析实验箱

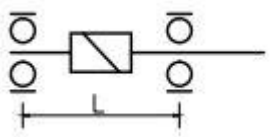
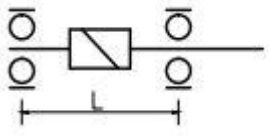
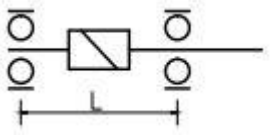
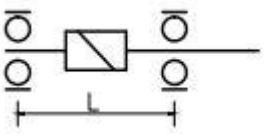
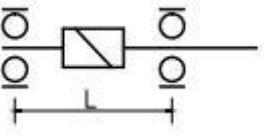
实验箱提供能进行减速器圆柱齿轮轴系、小圆锥齿轮轴系及蜗杆轴系结构设计的全套零件。

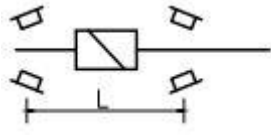
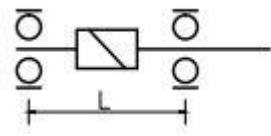
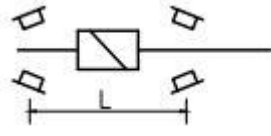
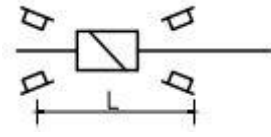
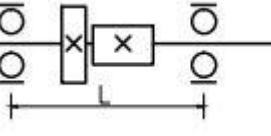
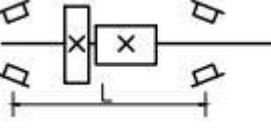
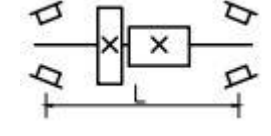
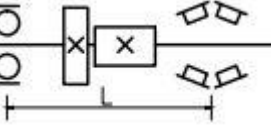
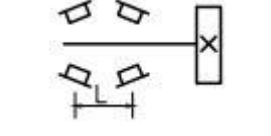
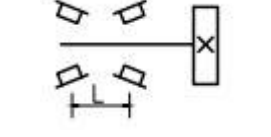
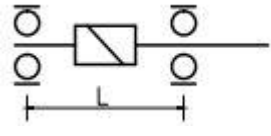
2. 测量及绘图工具

300mm 钢板尺、游标卡尺、内外卡钳、铅笔、三角板等。

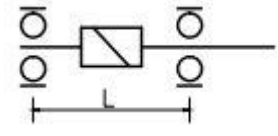
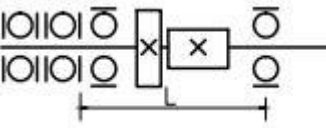
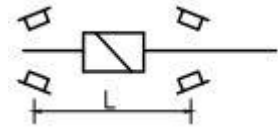
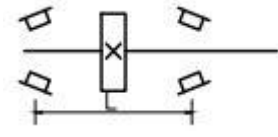
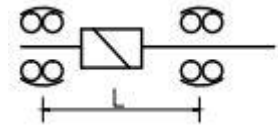
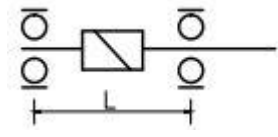
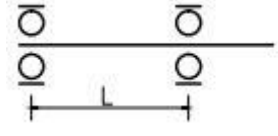
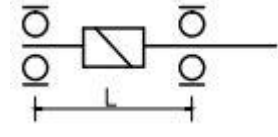
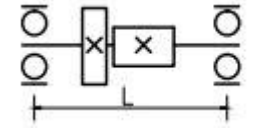
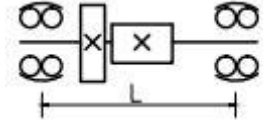
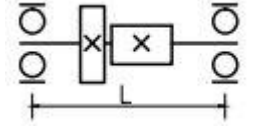
### 三、实验内容与要求

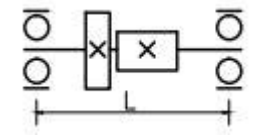
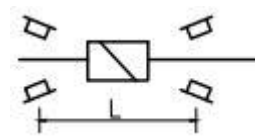
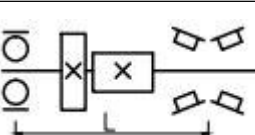
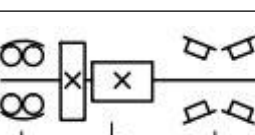
1. 根据下表可选择性装配相应轴系结构（实验题号）

方案号	轴系布置简图	轴承固定方式	轴承型号	支承间距 L=(mm)	传动件
1		两端固定结构	6205	L=115	直齿轮轴
2		两端固定结构	6205	L=115	直齿轮轴
3		两端固定结构	6205	L=115	直齿轮轴
4		两端固定结构	6205	L=115	直齿轮轴
5		两端固定结构	6205	L=115	直齿轮轴

6		两端固定结构	30205	L=115	斜齿轮轴
7		两端固定结构	6205	L=115	直齿轮轴
8		两端固定结构	30205	L=115	斜齿轮轴
9		两端固定结构	30205	L=115	斜齿轮轴
10		两端固定结构	6205	L=142	大直齿轮 小直齿轮
11		两端固定结构	30205	L=142	大斜齿轮 小斜齿轮
12		两端固定结构	30205	L=142	大斜齿轮 小斜齿轮
13		一端固定一端 游动	30205 6205	L=150	大直齿轮 小斜齿轮
14		两端固定结构	30205	L=35	大锥齿轮
15		两端固定结构	30205	L=42	小锥齿轮
16		两端固定结构	6205	L=115	直齿轮轴



17		两端固定结构	6205	L=115	直齿轮轴
18		一端固定一端游动	6205 51204	L=155	大斜齿轮 小直齿轮
19		两端固定结构	30205	L=115	斜齿轮轴
20		两端固定结构	30205	L=115	蜗轮
21		两端固定结构	1205	L=115	直齿轮轴
22		一端固定一端游动	6205	L=115	直齿轮轴
23		一端固定一端游动	6205	L=115	直齿轮轴
24		一端固定一端游动	6205	L=115	直齿轮轴
25		两端固定结构	6205	L=142	大直齿轮 小直齿轮
26		两端固定结构	1205	L=142	大直齿轮 小直齿轮
27		两端固定结构	6205	L=142	大直齿轮 小直齿轮

28		两端固定结构	6205	L=142	大直齿轮 小直齿轮
29		一端固定一端 游动	30205	L=115	斜齿轮轴
30		一端固定一端 游动	6205 30205	L=150	大直齿轮 小斜齿轮
31		一端固定一端 游动	1205 30205	L=150	大直齿轮 小斜齿轮

## 2. 进行轴的结构设计与滚动轴承组合设计

每组学生根据实验题号的要求，进行轴系结构分析与设计，解决轴承类型选择，轴上零件定位固定，轴承安装与调节、润滑及密封等问题。

## 3. 绘制轴系结构装配图

分析并测绘轴系部件，画出轴系部件装配图。

## 4. 每人编写实验报告一份

## 四、实验步骤

### 1. 明确实验内容，理解设计要求；

### 2. 复习有关轴的结构设计与轴承组合设计的内容与方法（参看教材有关章节）；

### 3. 构思轴系结构设计方案

(1) 根据齿轮类型选择滚动轴承型号；

(2) 确定支承轴向固定方式（两端固定：一端固定、一端游动）；

(3) 根据齿轮圆周速度（高、中、低）确定轴承润滑方式（脂润滑、油润滑）；

(4) 选择端盖形式（凸缘式、嵌入式）并考虑透盖处密封方式（毡圈、皮碗、油沟）；

(5) 考虑轴上零件的定位与固定，轴承间隙调整等问题；

(6) 绘制轴系结构方案示意图

### 4. 组装轴系部件

根据轴系结构方案，从实验箱中选取合适零件并组装成轴系部件、检查所设计组装的轴系结构是否正确。

### 5. 绘制轴系结构草图。

6. 测量零件主要结构尺寸(支座不用测量);测量轴系主要装配与分析计算尺寸(如支承跨距和悬臂),并作好记录。(注意:支承跨距和悬臂的尺寸可以与要求不同)。

7. 将所有零件放入实验箱内的规定位置,交还所借工具。

8. 根据结构草图及测量数据,在3号图纸上用1:1比例绘制轴系结构装配图,要求装配关系表达正确,注明必要尺寸(如支承跨距、齿轮直径与宽度、主要配合尺寸),填写标题栏和明细表。

9. 写出实验报告。

### 五、部分轴系结构设计方案

要求尽可能参看教材中有关轴系结构设计方案与分析。图3-1至图3-22给出了不同轴系结构设计方案。

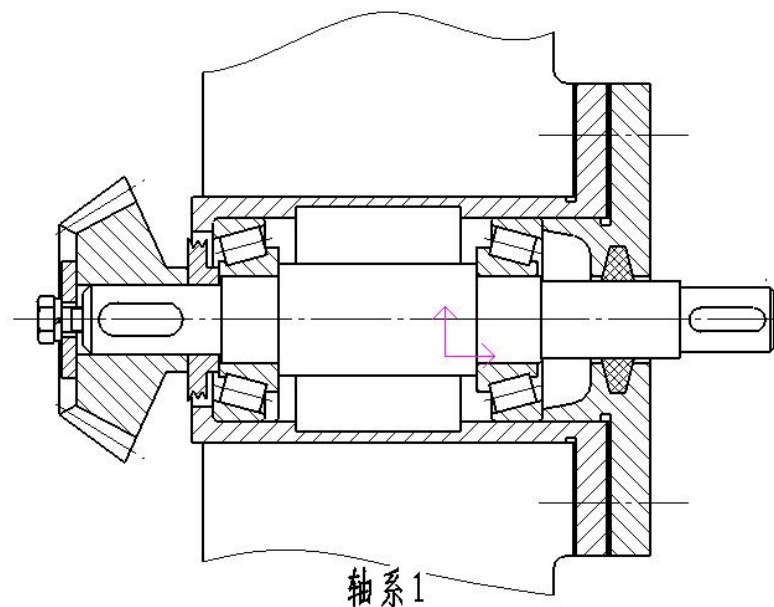


图 3-1 轴系 1

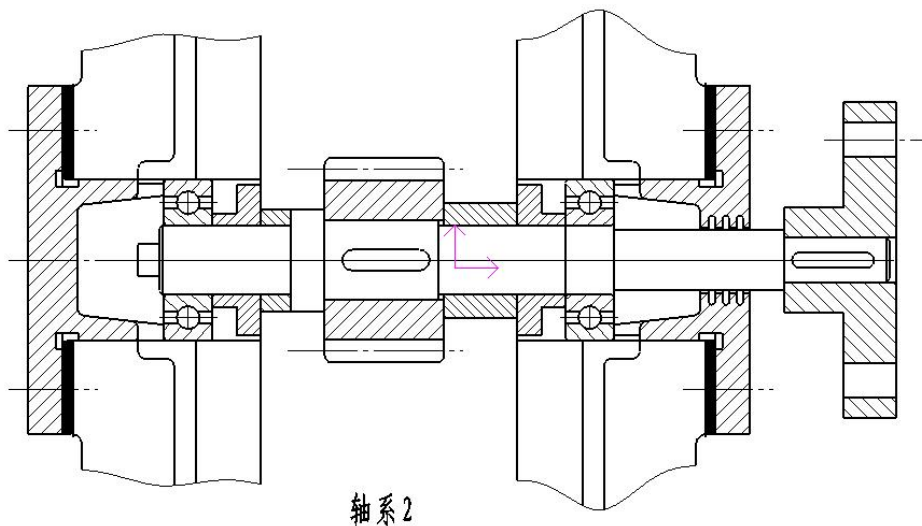


图 3-2 轴系 2

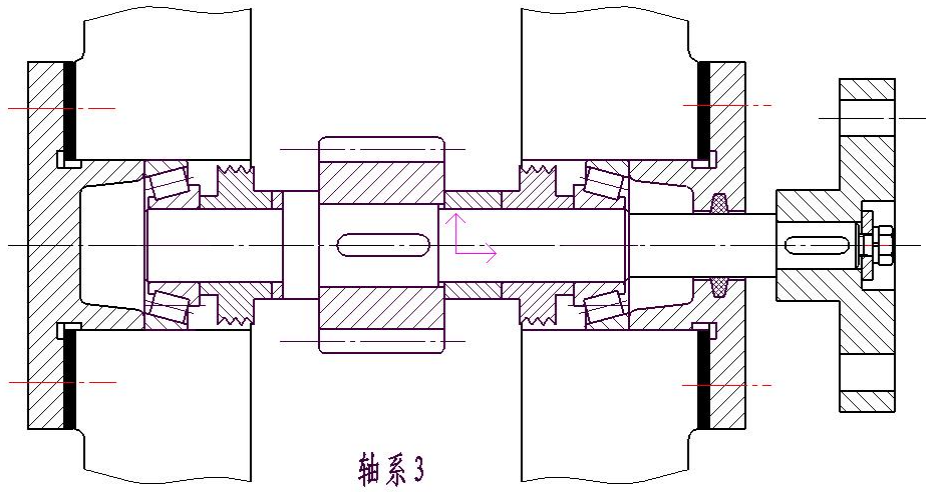


图 3-3 轴系 3

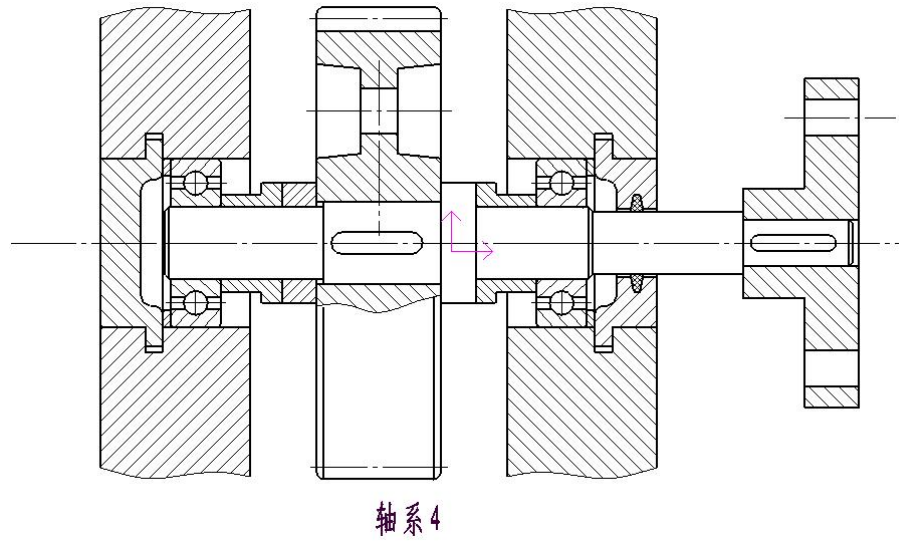


图 3-4 轴系 4

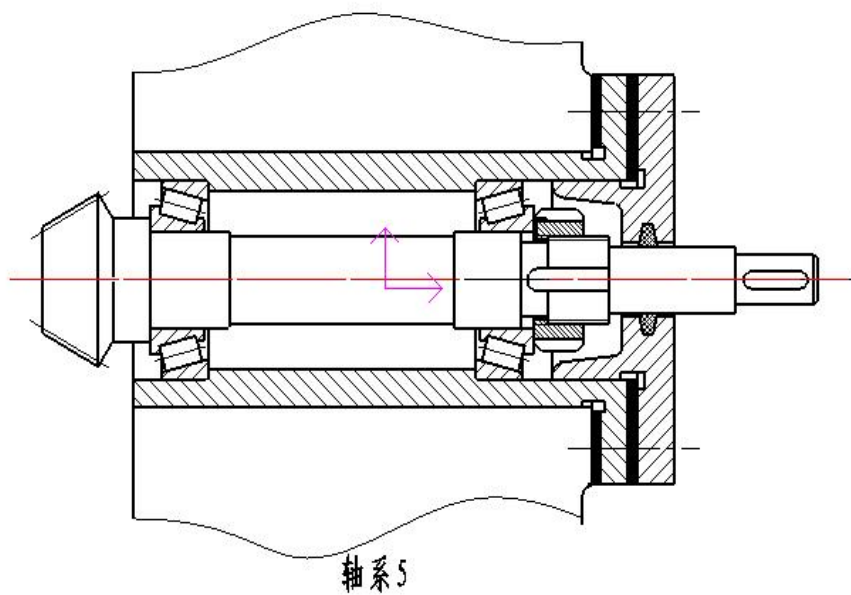


图 3-5 轴系 5

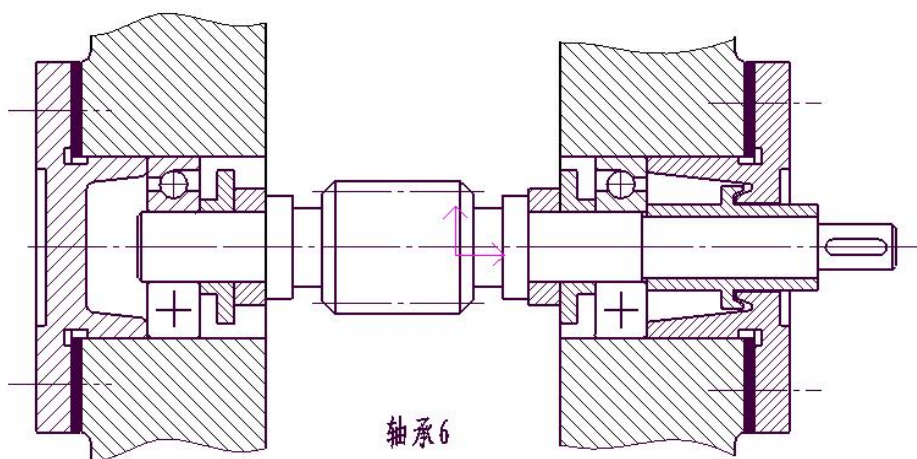
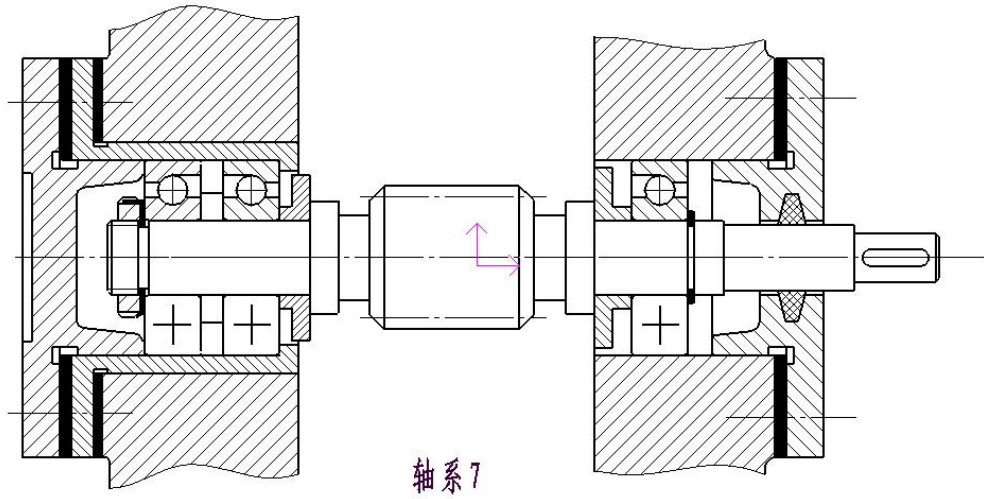


图 3-6 轴系 6



轴系7

图 3-7 轴系 7

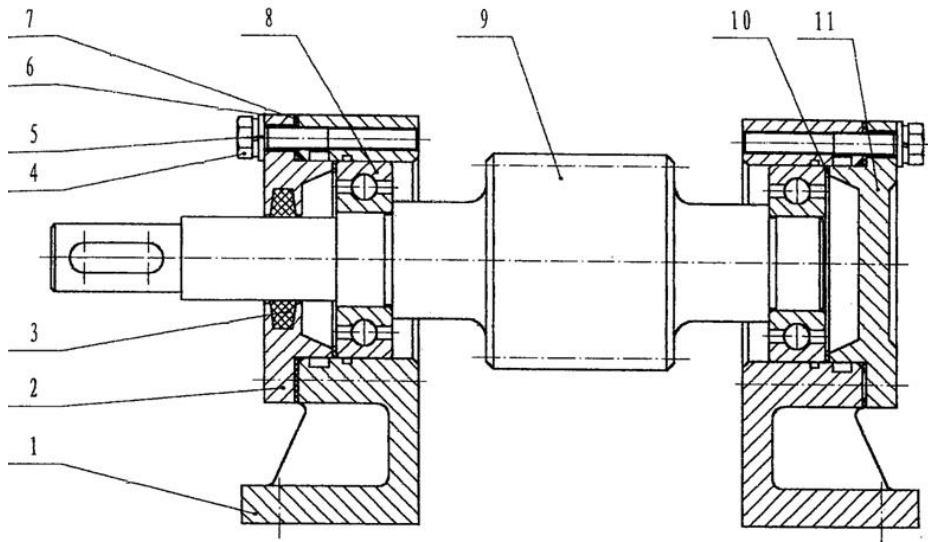


图 3-8 轴系 8

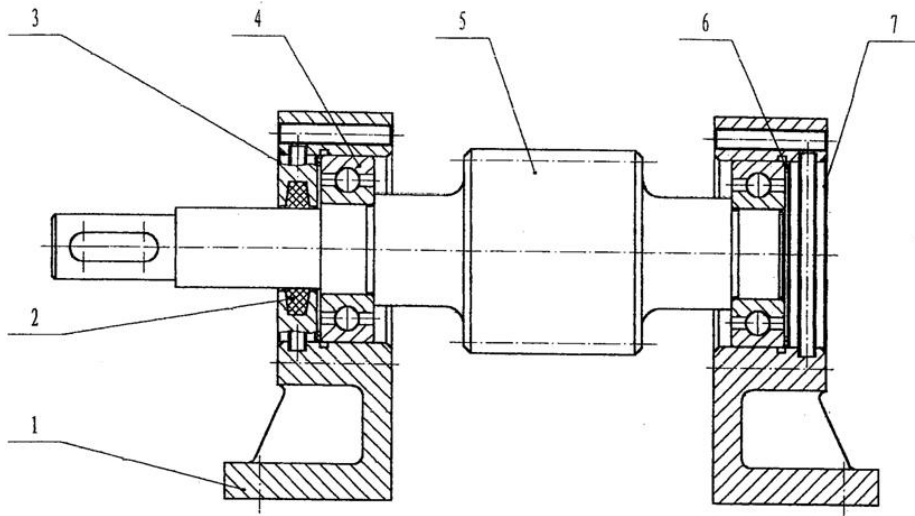


图 3-9 轴系 9

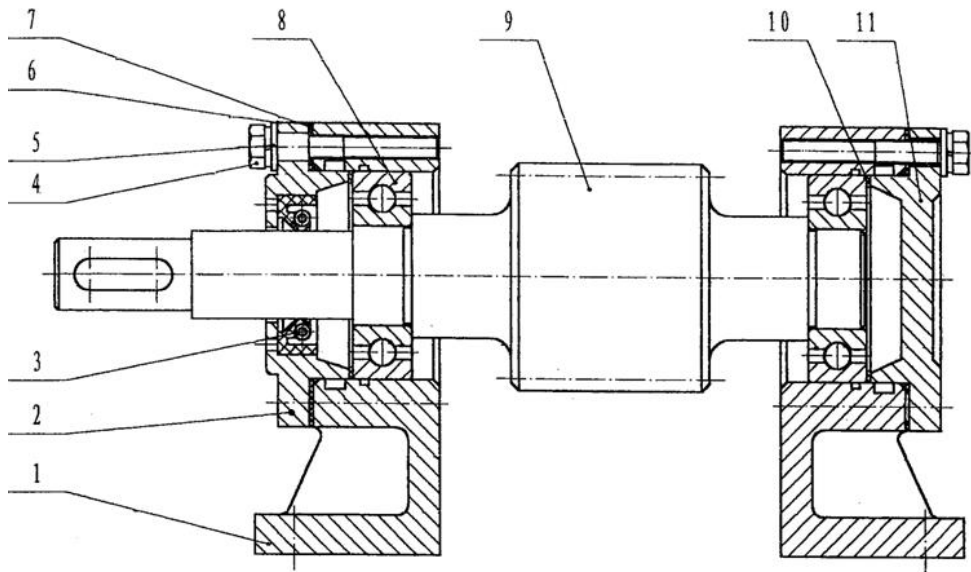


图 3-10 轴系 10

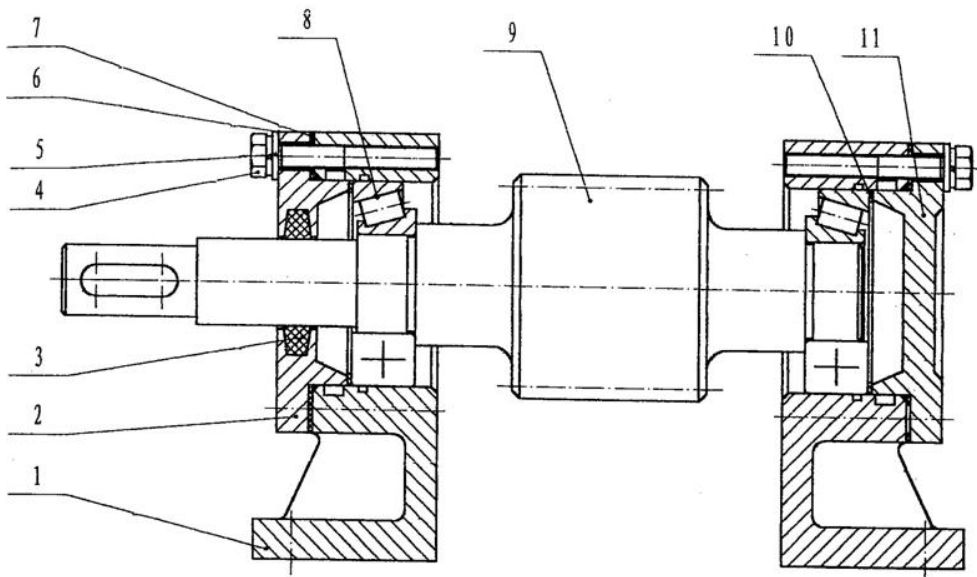


图 3-11 轴系 11

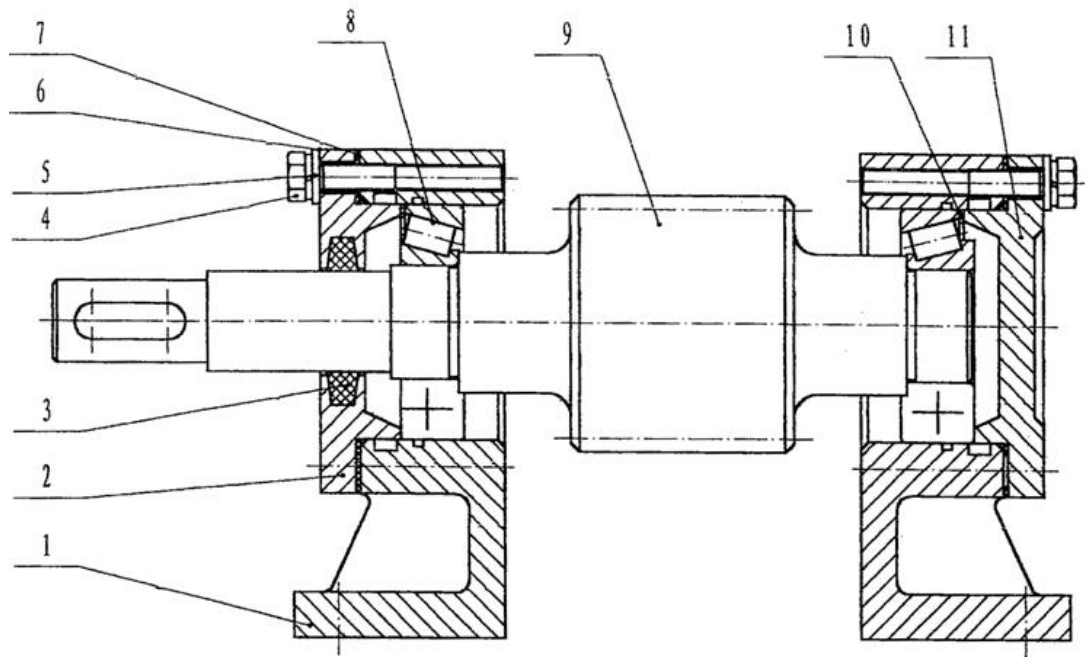


图 3-12 轴系 12

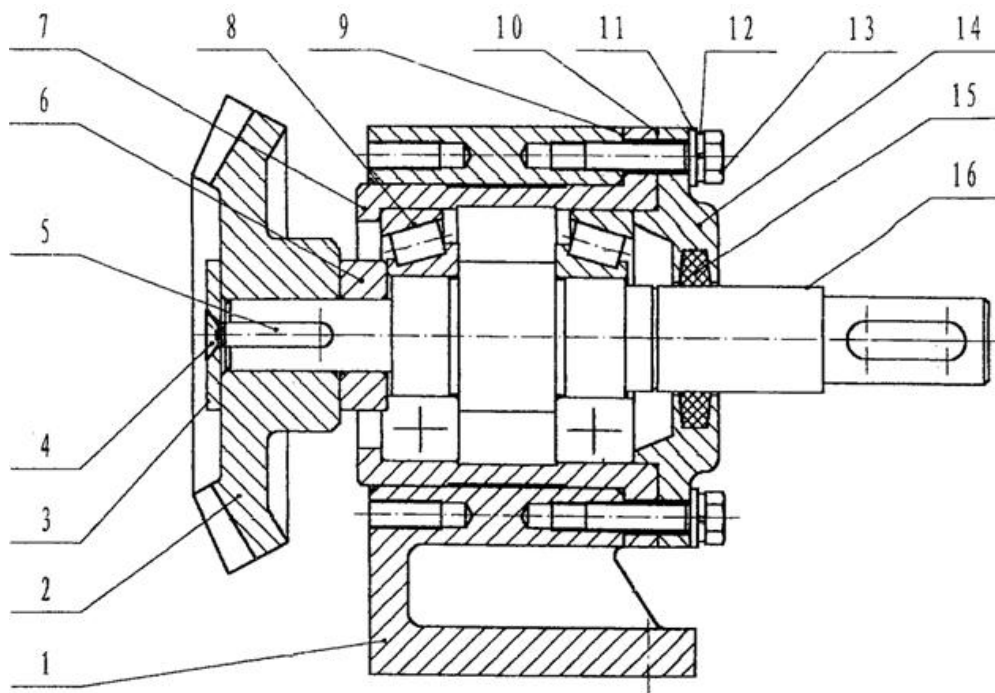


图 3-13 轴系 13



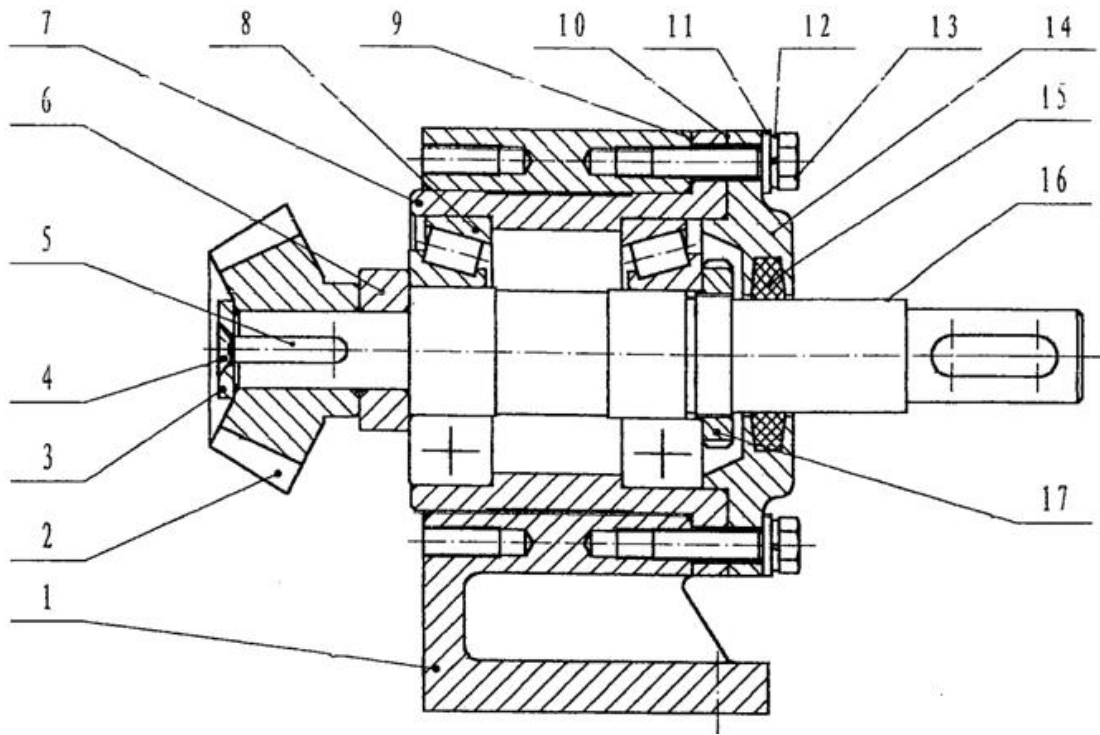


图 3-14 轴系 14

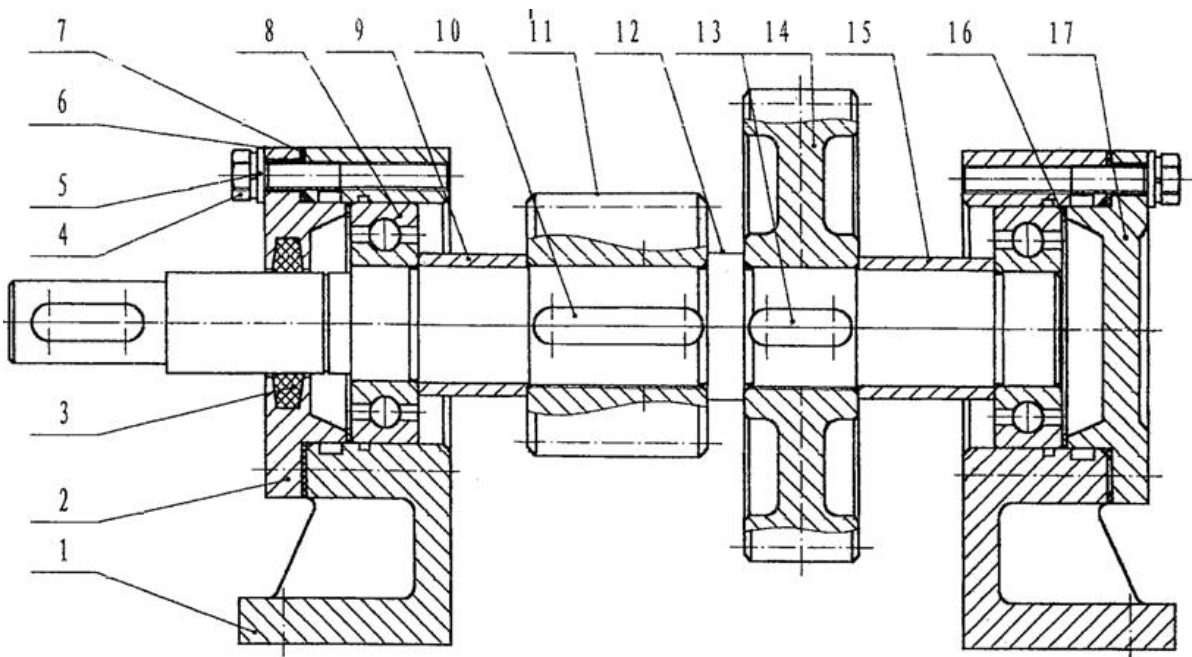


图 3-15 轴系 15

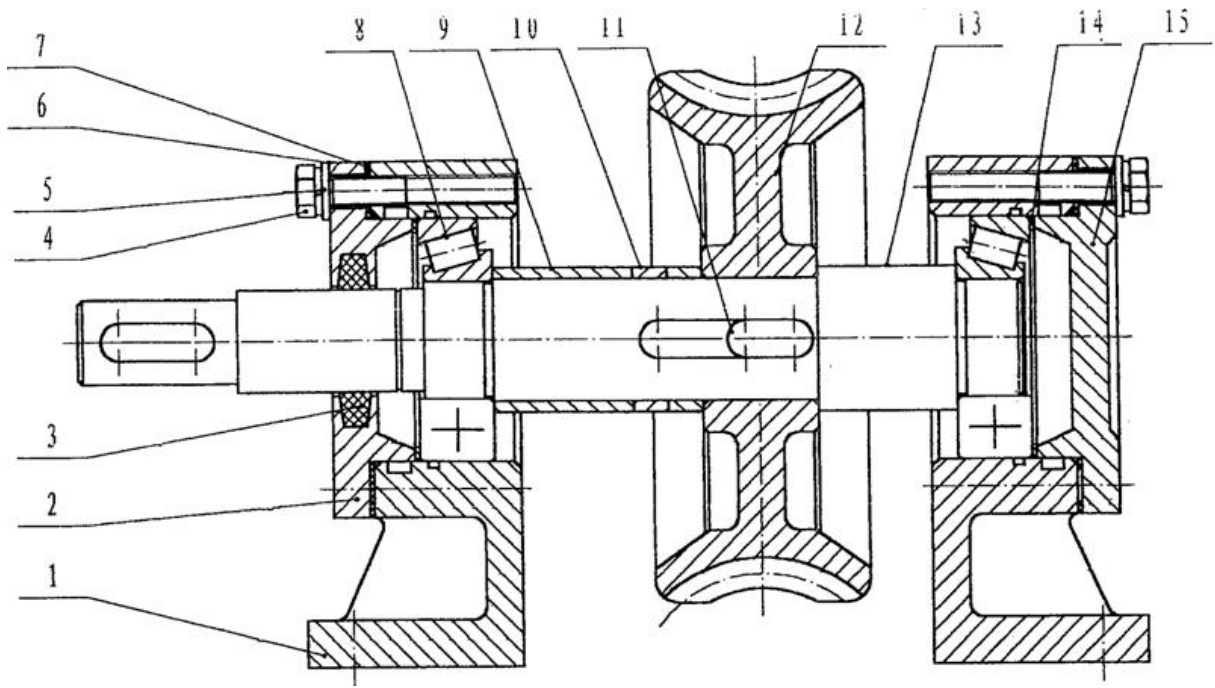


图 3-16 轴系 16

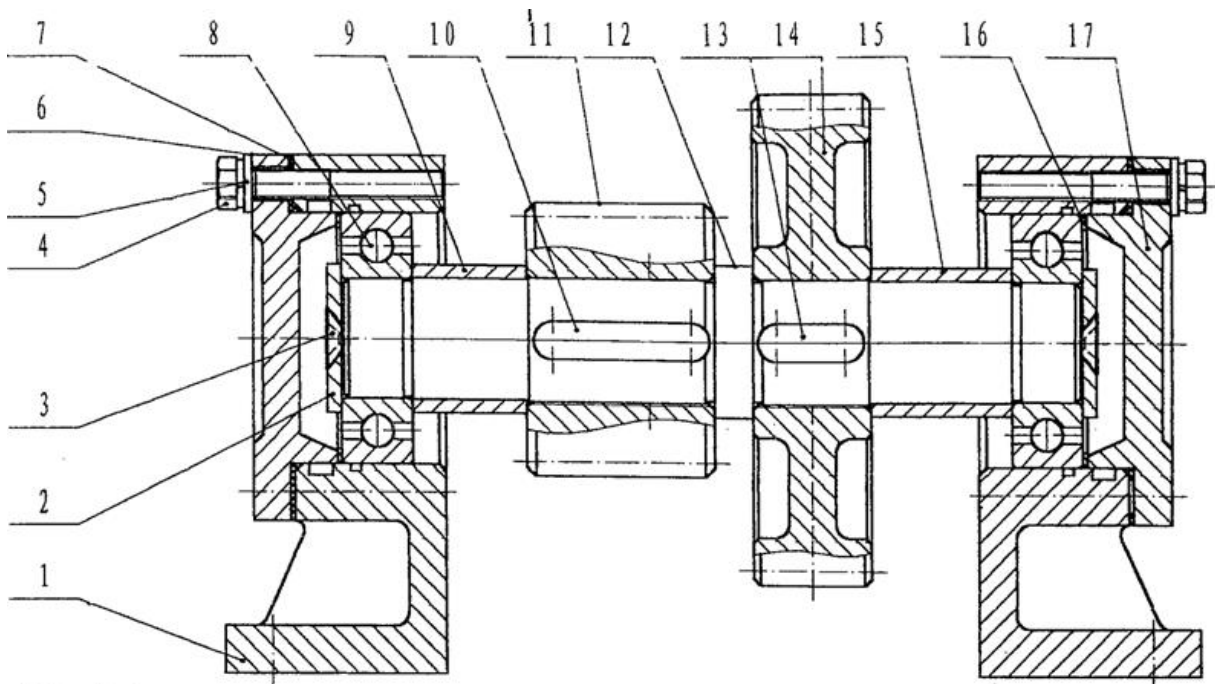


图 3-17 轴系 17

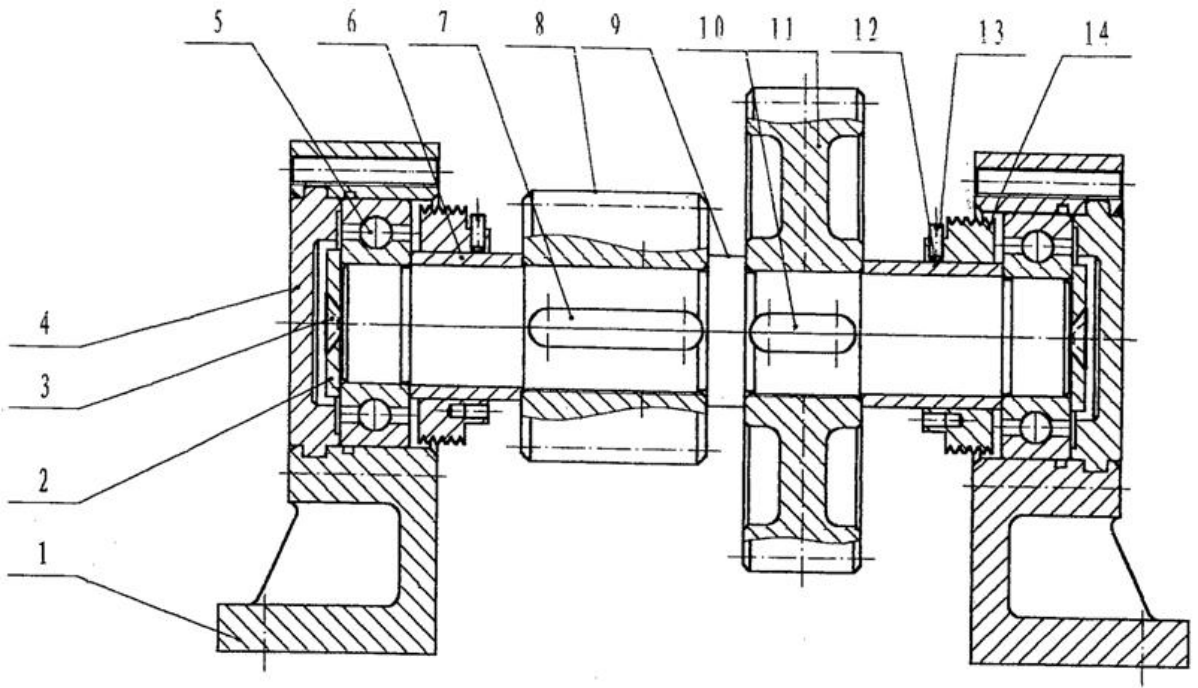


图 3-18 轴系 18

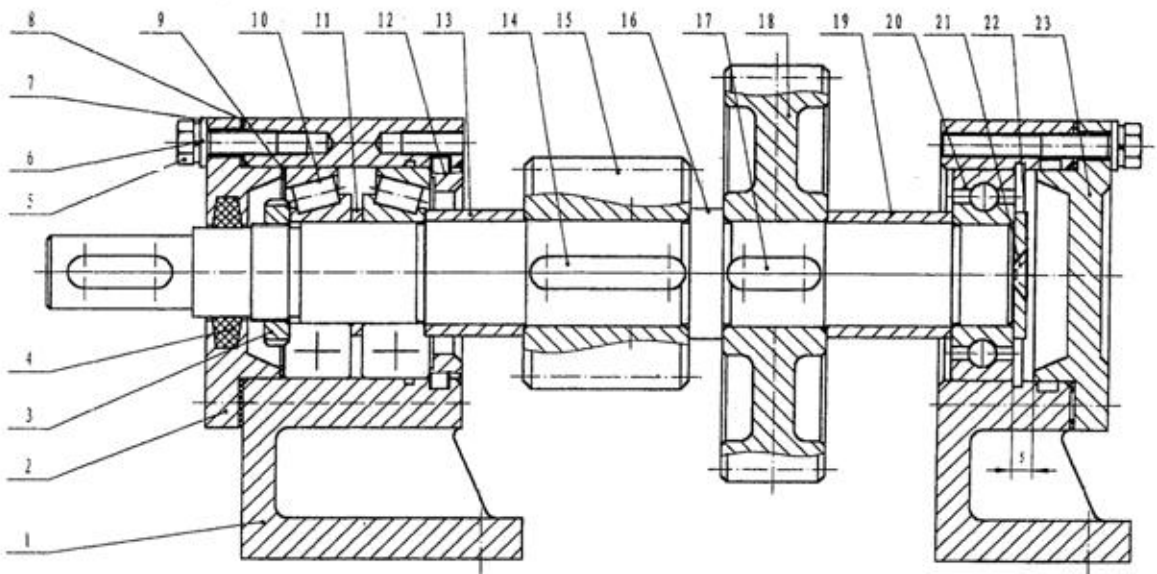


图 3-19 轴系 19

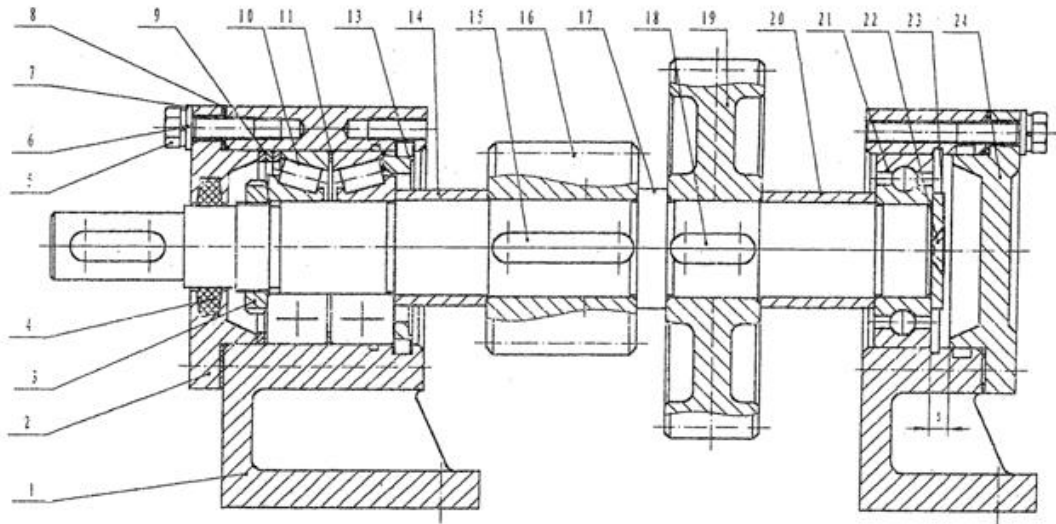


图 3-20 轴系 20

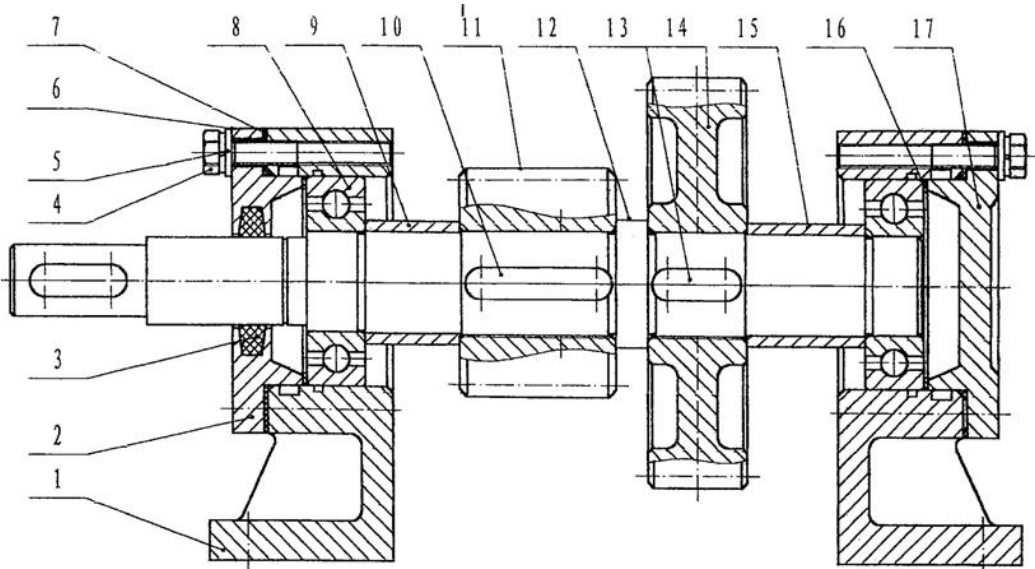


图 3-21 轴系 21

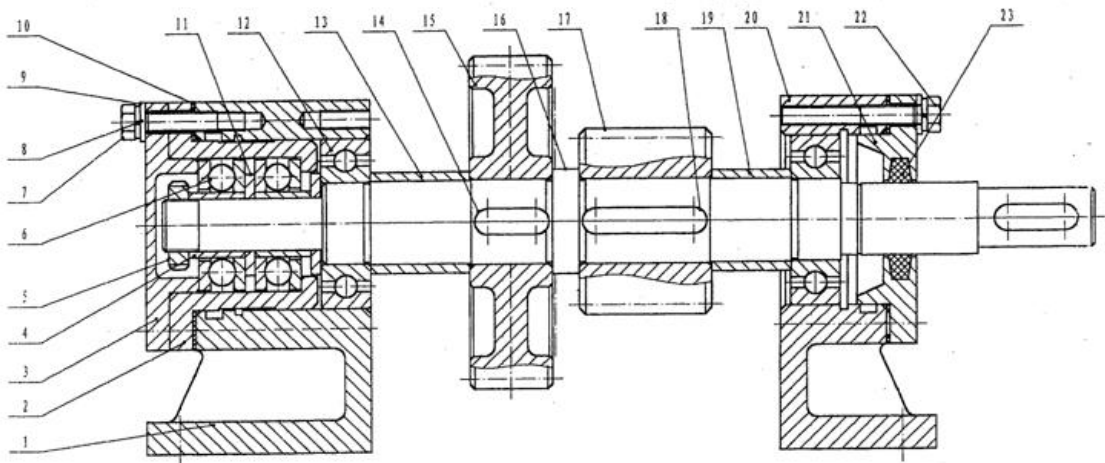


图 3-22 轴系 22

## 实验三 轴系结构设计实验报告

姓名：\_\_\_\_\_ 班级：\_\_\_\_\_ 学号：\_\_\_\_\_ 成绩：\_\_\_\_\_

同组者姓名：\_\_\_\_\_ 日期：\_\_\_\_\_

一、 实验目的：

二、 实验内容：

轴系类型：

模型编号：

三、 实验结果：

1. 轴系结构装配图（另附图纸）

2. 轴系结构设计说明

（1）齿轮类型与滚动轴承型号的选择；

（2）确定支承轴向固定方式要考虑的问题（两端固定：一端固定、一端游动）；

（3）根据齿轮圆周速度（高、中、低）确定轴承润滑方式（脂润滑、油润滑）的原因；

（4）选择端盖形式（凸缘式、嵌入式）并考虑透盖处密封方式（毡圈、皮碗、油沟）的原因；

（5）怎样考虑轴上零件的定位与固定，轴承间隙调整等问题。



## 实验四 减速器拆装与分析实验

### 一、实验目的

1. 要求了解减速器铸造箱体的结构以及轴和齿轮的结构；
2. 了解轴上零件的定位和固定、齿轮和轴承的润滑、密封以及减速器附属零件的作用、构造和安装位置；
3. 熟悉减速器的拆装和调整过程；
4. 了解拆装工具和结构设计的关系；
5. 锻炼学生综合运用所学知识的能力，培养学生进行减速器结构设计的能力。

### 二、实验设备

1. 单级圆柱齿轮减速器；
2. 两级圆柱齿轮减速器；
3. 两级圆锥-圆柱齿轮减速器；
4. 单级蜗杆减速器。

### 三、拆装工具和测量工具（每组）

1. 活扳手二把；
2. 呆扳手二把；
3. 游标卡尺一把；
4. 钢板尺一把。

### 四、实验内容

1. 了解铸造箱体的结构，如图 4-1 所示的单级圆柱齿轮减速器；
2. 观察、了解减速器附属零件的用途、结构和安装位置的要求；
3. 测量减速器的中心距、中心高、箱座上、下凸缘的宽度和厚度、筋板厚度、齿轮端面（蜗轮轮毂）与箱体内壁的距离、大齿轮顶圆（蜗轮外圆）与箱内壁之间的距离、轴承内端面至箱内壁之间的距离等；
4. 观察、了解蜗杆减速器箱体侧面（蜗轮轴向）宽度与蜗杆的轴承盖外园之间的关系。为提高蜗杆轴的刚度，仔细观察蜗杆轴承座的结构特点；
5. 了解轴承的润滑方式和密封装置，包括外密封的型式。轴承内侧挡油环、封油环的作用原理及其结构和安装位置；
6. 了解轴承的组合结构以及轴承的拆、装、固定和轴向游隙的调整，测绘高速轴及轴承部件的结构图。

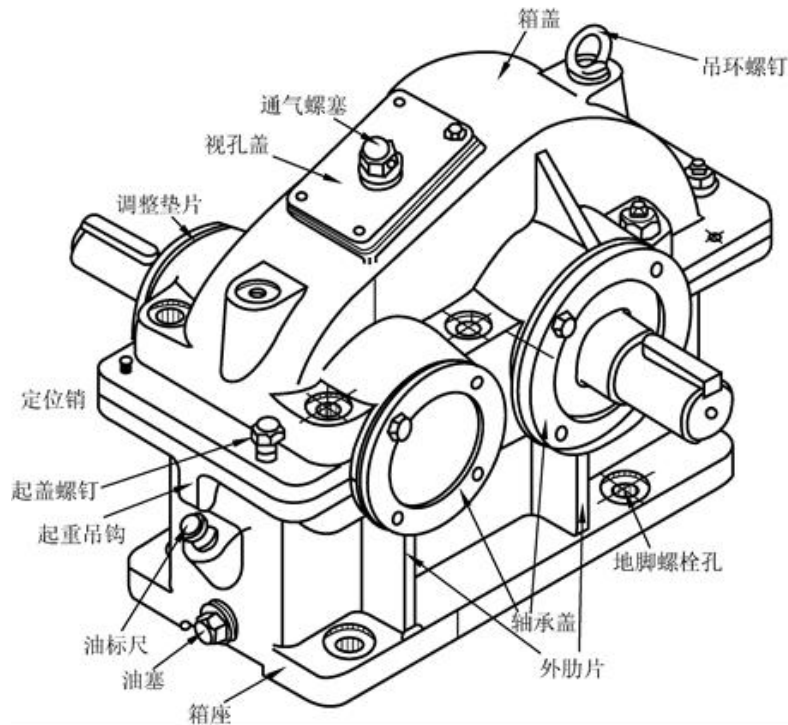


图 4-1 单级圆柱齿轮减速器

## 五、实验步骤

### 1. 拆卸

(1) 仔细观察减速器外面各部分的结构，从观察中思考以下问题：如何保证箱体交承具有足够的刚度？轴承座两侧的上下箱体联接螺栓应如何布置？交承该螺栓的凸台高度应如何确定？如何减轻箱体的重量和减少箱体的加工面积？减速器的附件如吊钩、定位销钉、启盖螺钉、油标、油塞、观察孔和通气等各起何作用？其结构如何？应如何合理布置？

(2) 用板手拆下观察孔盖板，考虑观察孔位置是否恰当，大小是否合适。

(3) 拆卸箱盖。

a) 用板手拆下轴承端盖的紧固螺钉。

b) 用扳手（或套筒扳手）拆卸上、下箱体之间的联接螺栓；拆下定位销钉。将螺钉、螺栓、垫圈、螺母和销钉等放在塑料盘中，以免丢失。然后拧动启盖螺钉卸下箱盖。

c) 仔细观察箱体内各零部件的结构及位置。对轴向游隙可调的轴承应如何进行调整？轴的热膨胀如何进行补偿？轴承是如何进行润滑的？如箱座的接合面上有油沟，则箱盖应采取怎样的相应结构才能使箱盖上的油进入油沟？油沟有几种加工方法？加工方法不同时，油沟的形状有何异同？为了使润滑油经油沟后进入轴承，轴承盖的结构应如何设计？在何种条件下滚动轴承的内



侧要用挡油环或封油环？其作用原理、构造和安装位置如何？

d) 测量实验内容之 3 所列的有关尺寸。

e) 卸下轴承盖；将轴和轴上零件随轴一起从箱座取出，按合理的顺序拆卸轴上零件。

f) 测绘高速轴及其支承部件的结构草图。

## 2. 装配

按原样将减速器装配好。装配时按先内部后外部的合理顺序进行；装配轴套和滚动轴承时，应注意方向；应注意滚动轴承的合理装拆方法。经指导教师检查后才能合上箱盖。装配上、下箱之间的联接螺栓前应先安装好定位销钉。

## 六、注意事项

1. 实验前必须预习实验指导书，初步了解有关减速器装配图。

2. 切忌盲目拆装，拆卸前要仔细观察零、部件的结构及位置，考虑好合理的拆装顺序，拆下的零、部件要妥善安放好，避免丢失和损坏。

3. 爱护工具及设备，仔细拆装使箱体外的油漆少受损坏。

4. 认真完成实验报告。

## 实验四 减速器拆装与分析实验报告

姓名：\_\_\_\_\_ 班级：\_\_\_\_\_ 学号：\_\_\_\_\_ 成绩：\_\_\_\_\_

同组者姓名：\_\_\_\_\_ 日期：\_\_\_\_\_

一、将测得的数据填入下表：

名 称	符 号	数 据(mm)
中心距	$a_1$	
	$a_2$	
传动比	$i$	
模数	$m$	
中心高	$H$	
箱座凸缘厚度	$b$	
箱盖凸缘厚度	$b_1$	
箱座底凸缘厚度	$b_2$	
外箱壁至轴承座端面距离	$l_1$	
地脚螺钉直径	$d_f$	
轴承旁联接螺栓直径	$d_1$	
盖与座联接螺栓直径	$d_2$	
轴承端盖螺钉直径	$d_3$	
窥视孔盖螺钉直径	$d_4$	
起盖螺钉直径	$d_5$	
凸台高度	$h$	
大齿轮顶圆（蜗轮外圆）与内 基壁距离	$\Delta_1$	
齿轮端面与内箱壁距离	$\Delta_2$	
箱盖、箱座肋厚	$m_1、m_2$	
箱座壁厚	$\delta$	
箱盖壁厚	$\delta_1$	

二、测绘减速器中低速轴及其轴承部件的结构草图，并标注配合尺寸。（另附 4 号图纸）

三、指出那些地方不合理并提出改进意见。