



国家级实验教学示范中心系列规划教材  
普通高等院校机械类“十一五”规划实验教材

# 机械原理及机械设计实验指导

## (下册)

JIXIE YUANLI JI JIXIE SHEJI SHIYAN ZHIDAO

主 编 朱振杰 毕文波

主 审 葛培琪



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>



国家级实验教学示范中心系列规划教材  
普通高等院校机械类“十一五”规划实验教材

# 机械原理及机械设计实验指导 (下册)

JIXIE YUANLI JI JIXIE SHEJI SHIYAN ZHIDAO

主 编 朱振杰 毕文波

主 审 葛培琪



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

## 内 容 简 介

本书主要介绍了机械提高及研究创新型实验,包括机构运动参数测试、液体动力润滑径向轴承的油膜压力测定、润滑油黏度及黏温特性的测定、机械系统创意组合搭接、机械传动及其系统认知、机械传动性能综合测试、机械创新设计认知、机构组合创新设计、机械系统传动方案设计及结构分析共九个实验。

本书可作为普通高等院校机械类专业机械提高及研究创新型实验的指导书,也可供相关教师和实验室工作人员、工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

机械原理及机械设计实验指导(下册)/朱振杰 毕文波 主编. —武汉:华中科技大学出版社, 2012.1

ISBN 978-7-5609-7585-6

I. 机… II. ①朱… ②毕… III. ①机构学-实验-高等学校-教学参考资料 ②机械设计-实验-高等学校-教学参考资料 IV. ①TH111-33 ②TH122-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 270703 号

## 机械原理及机械设计实验指导(下册)

朱振杰 毕文波 主编

策划编辑: 万亚军

责任编辑: 刘 飞

封面设计: 潘 群

责任校对: 张 琳

责任监印: 张正林

出版发行: 华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编: 430074 电话: (027)87557437

录 排: 武汉楚海文化传播有限公司

印 刷: 武汉科利德印务有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 5.75 插页: 2

字 数: 149 千字

版 次: 2012 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 12.00 元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换

全国免费服务热线: 400-6679-118 竭诚为您服务

版权所有 侵权必究

国家级实验教学示范中心系列规划教材  
普通高等院校机械类“十一五”规划实验教材  
编 委 会

丛书主编 吴昌林 华中科技大学

丛书编委 (按姓氏拼音顺序排列)

邓宗全 哈尔滨工业大学

葛培琪 山东大学

何玉林 重庆大学

黄 平 华南理工大学

孔建益 武汉科技大学

蒙艳玫 广西大学

芮执元 兰州理工大学

孙根正 西北工业大学

谭庆昌 吉林大学

唐任仲 浙江大学

王连弟 华中科技大学出版社

吴鹿鸣 西南交通大学

杨玉虎 天津大学

赵永生 燕山大学

朱如鹏 南京航空航天大学

竺志超 浙江理工大学

# 序

知识来源于实践,能力来自于实践,素质更需要在实践中养成,各种实践教学环节对于培养学生的实践能力和创新能力尤其重要。一个不争的事实是,在高校人才培养工作中,当前的实践教学环节非常薄弱,严重制约了教学质量的进一步提高。这引起了教育工作者、企业界人士乃至普通百姓的广泛关注。如何积极改革实践教学内容和方法,制订合理的实践教学方案,建立和完善实践教学体系,成为高等工程教育乃至全社会的一个重要课题。

有鉴于此,“教育振兴行动计划”和“质量工程”都将国家级实验教学示范中心建设作为其重要内容之一。自2005年起,教育部启动国家级实验教学示范中心评选工作,拟通过示范中心实验教学的改进,辐射我国2000多万在校大学生,带动学生动手实践能力的提高。至今已建成219个国家级实验教学示范中心,涵盖16个学科,成果显著。机械学科至今也已建成14个国家级实验教学示范中心。应该说,机械类国家级实验教学示范中心建设是颇具成果的:各中心积极进行自身建设,软硬件水平都是国内机械实验教学的最高水平;积极带动所在省或区域各级机械实验教学中心建设,发挥辐射作用;成立国家级实验教学示范中心联席会机械学科组,利用这一平台,中心间交流与合作更加频繁,力争在示范辐射作用方面形成合力。

尽管如此,应该看到,作为实践教学的一个重要组成部分,实验教学依然还很薄弱,在政策、环境、人员、设备等方方面面还面临着许多困难,提高实验教学水平进而改变目前实践教学薄弱的现状,还有很多工作要做,国家级实验教学示范中心责无旁贷。近年来,高校实验教学的硬件设备都有较大的改善。与之相对应的是,实验教学在软的方面还亟待提高。就机械类实验教学而言,改进实验教学体系、开发创新性实

# 目 录

|      |                   |      |
|------|-------------------|------|
| 实验十一 | 机构运动参数测试          | (1)  |
| 实验十二 | 液体动力润滑径向轴承的油膜压力测定 | (8)  |
| 实验十三 | 润滑油黏度及黏温特性的测定     | (15) |
| 实验十四 | 机械系统创意组合搭接        | (24) |
| 实验十五 | 机械传动及其系统认知        | (35) |
| 实验十六 | 机械传动性能综合测试        | (45) |
| 实验十七 | 机械创新设计认知          | (52) |
| 实验十八 | 机构组合创新设计          | (55) |
| 实验十九 | 机械系统传动方案设计及结构分析   | (69) |
| 参考文献 |                   | (84) |

## 实验十一

# 机构运动参数测试

### 一、概述

本实验的实验装置,只需拆装少量零部件,即可分别构成四种典型的传动系统,即曲柄滑块机构、导杆机构、平底直动从动件凸轮机构和滚子直动从动件凸轮机构。而每一种机构的某些参数,如曲柄长度、连杆长度、滚子偏心等都可在一定范围内作一些调整,学生通过拆装及调整可加深对机械结构本身特点的了解,对参数改动造成的整个运动状态的影响也会有更好的认识。

### 二、实验目的

- (1) 通过实验来了解位移、速度、加速度的测定方法,转速及回转不匀率的测定方法。
- (2) 通过实验,初步了解“QTD-Ⅲ型组合机构实验仪”及光电脉冲编码器、同步脉冲发生器(或称角度传感器)的基本原理,并掌握它们的使用方法。
- (3) 通过比较理论运动线图与实测运动线图的差异,并分析其原因,增加对速度特别是加速度的感性认识。
- (4) 比较曲柄滑块机构与导杆机构的性能差别。
- (5) 检测凸轮直动从动件的运动规律。
- (6) 比较不同凸轮廓线或接触副对从动件运动规律的影响。

### 三、实验设备

- (1) 实验机构:曲柄滑块导杆凸轮组合机构。
- (2) QTD-Ⅲ型组合机构实验仪(单片机控制系统)。
- (3) 打印机。
- (4) 个人计算机(PC机)一台。

(5) 光电脉冲编码器。

(6) 同步脉冲发生器(或称角度传感器)。

## 四、实验台结构和工作原理

### 1. 实验机构

与本实验配套的为曲柄滑块机构及导杆机构和凸轮机构,其原动力采用直流调速电动机,电动机转速可在  $0 \sim 3\,000\text{ r/min}$  之间作无级调速。经蜗轮蜗杆减速器减速,机构的曲柄转速为  $0 \sim 100\text{ r/min}$ 。

利用往复运动的滑块推动光电脉冲编码器,输出与滑块位移相应的脉冲信号,经测试仪处理后得到滑块的位移、速度及加速度。图 11-1 为曲柄滑块机构的结构形式。图 11-2 为导杆机构的结构形式。图 11-3、图 11-4 是凸轮机构的结构形式,后者是前者经过简便的改装而得到的,在本实验机构中已配有改装所必备的零件。

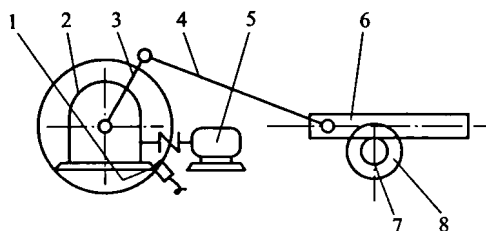


图 11-1 曲柄滑块机构

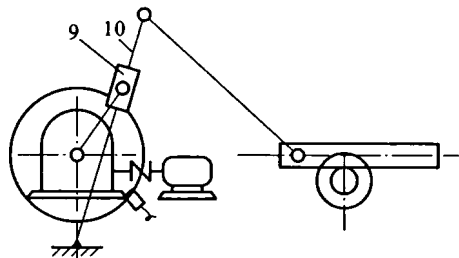


图 11-2 导杆机构

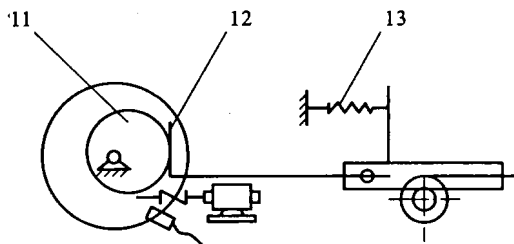


图 11-3 平底直动从动件凸轮机构

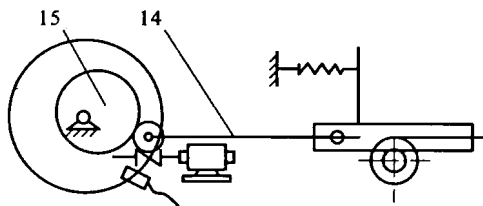


图 11-4 滚子直动从动件凸轮机构

在图 11-1 至图 11-4 中:1 为同步脉冲发生器;2 为蜗轮减速器;3 为曲柄;4 为连杆;5 为电动机;6 为滑块;7 为齿轮;8 为光电脉冲编码器;9 为导块;10 为导杆;11 为凸轮;12 为平底直动从动件;13 为恢复弹簧;14 为滚子直动从动件;15 为光栅盘。

### 2. QTD-Ⅲ型组合机构实验仪

此实验仪的外形正面结构如图 11-5 所示,背面结构如图 11-6 所示。

以 QTD-Ⅲ型组合机构实验仪为主体的整个测试系统的原理框图如图 11-7 所示。

组成本实验的最小系统为单片机。外扩 16 位计数器,接有 3 位 LED(发光二极管)数码管,可实时显示机构运动时的曲柄轴的转速,同时可与 PC 机进行异步串行通信。

在实验机械动态运动过程中,滑块的往复移动通过光电脉冲编码器转换输出具有一定频

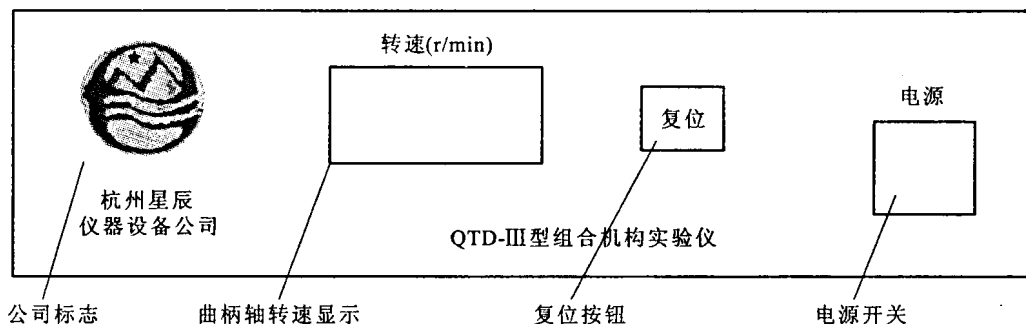


图 11-5 QTD-III 型实验仪正面结构

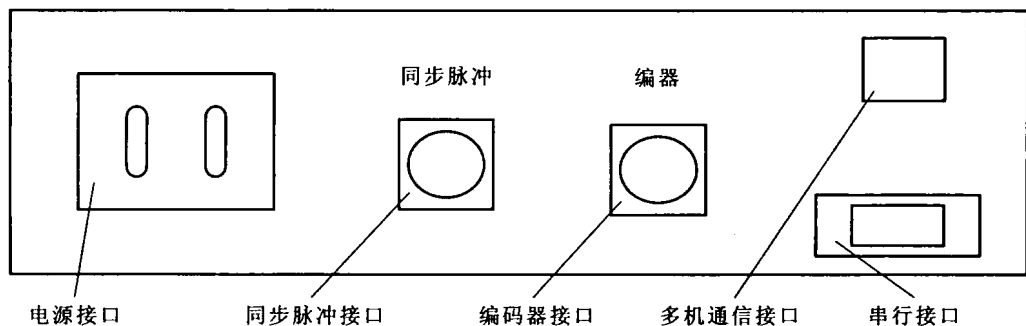


图 11-6 QTD-III 型实验仪背面结构

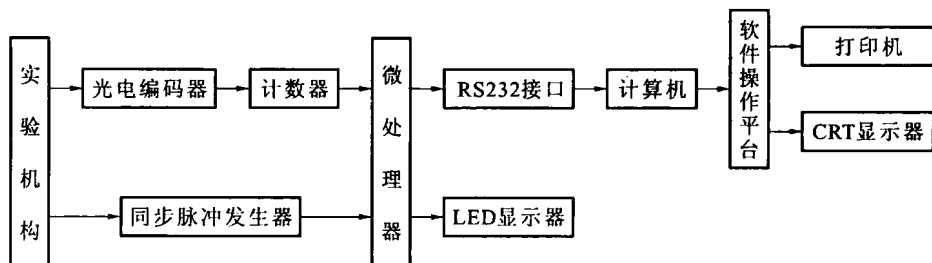


图 11-7 测试系统的原理框图

率(频率与滑块往复速度成正比), 0~5 V 电平的两路脉冲, 接入微处理器外扩的计数器计数, 通过微处理器进行初步处理运算并送入 PC 机进行处理, PC 机通过软件系统在 CRT(阴极射线管)显示器上可显示出相应的数据和运动曲线图。

机构中还有两路信号送入单片机最小系统, 那就是角度传感器送出的两路脉冲信号。其中一路是码盘角度脉冲, 用于定角度采样, 获取机构运动曲线; 另一路是零位脉冲, 用于标定采样数据的零点位置。

机构的速度、加速度数值由位移经数值微分和数字滤波得到。与传统的 RC 电路测量法或分别采用位移、速度、加速度测量仪器的系统相比, 具有测试系统简单, 性能稳定可靠、附加相位差小、动态响应好等优点。

本实验仪的测试结果不但可以以曲线形式输出, 还可以直接打印出各点数值。

### 3. 光电脉冲编码器

光电脉冲编码器结构原理如图 11-8 所示。光电脉冲编码器又称增量式光电编码器, 它是采用圆光栅通过光电转换将轴转角位移转换成电脉冲信号的器件。它由发光体、聚光透镜、光

电盘、光栏板、光敏管和光电整形放大电路组成。光电盘和光栏板是用玻璃材料经研磨、抛光制成的。在光电盘上用照相腐蚀法制成一组径向光栅,而光栏板上有两组透光条纹,每组透光条纹后都装有一个光敏管,它们与光电盘透光条纹的重合性差  $1/4$  周期。光源发出的光线经

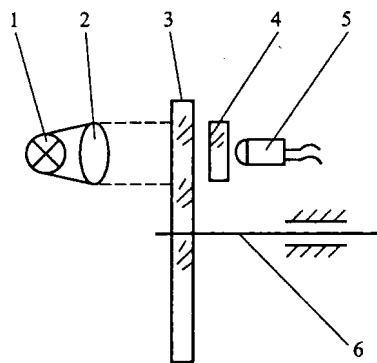


图 11-8 光电脉冲编码器结构原理图

- 1—发光体;2—聚光镜;3—光电盘;  
4—光栏板;5—光敏管;6—主轴

聚光镜聚光后,发出平行光。当主轴带动光电盘一起转动时,光敏管就接收到光线亮、暗变化的信号,引起光敏管所通过的电流发生变化,输出两路相位差  $90^\circ$  的近似正弦波信号,它们经放大、整形后得到两路相差  $90^\circ$  的主波  $d$  和  $d'$ 。 $d$  路信号经微分后加到两个与非门输入端作为触发门信号; $d'$  路经反相器反相后得到两个相反的方波信号,分送到与非门剩下的两个输入端作为门控信号。与非门的输出端即光电脉冲编码器的输出端,可与双时钟可逆计数的加、减触发端相接。当编码器转向为正时(如顺时针),微分器取出  $d$  的前沿  $A$ ,与非门 1 打开,输出一负脉冲,计数器作加计数;当转向为负时,微分器取出  $d$  的另一前沿  $B$ ,与非门 2 打开,输出一负脉冲,计数器作减计数。某一时刻

计数器的计数值,即表示该时刻光电盘(即主轴)相对于光敏管位置的角位移量(见图 11-9 和图 11-10)。

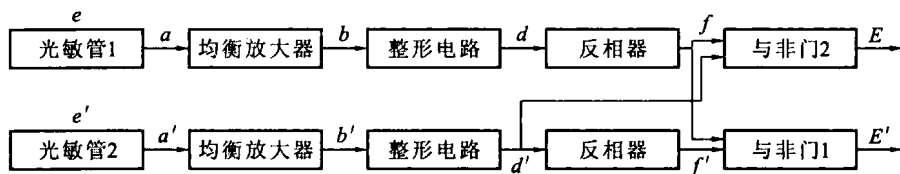


图 11-9 光电脉冲编码器、电路原理框图

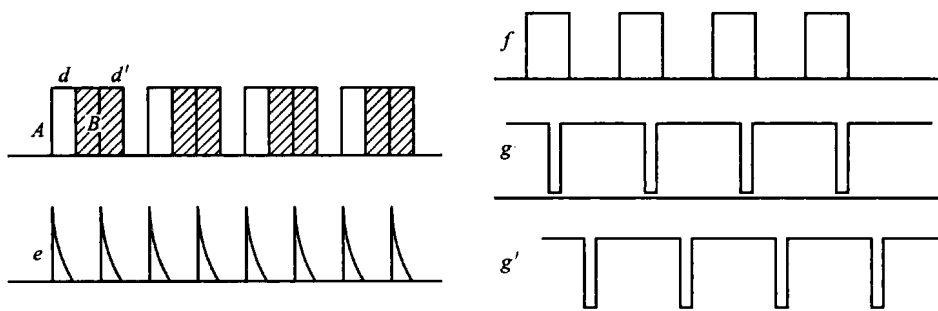


图 11-10 光电脉冲编码器电路各点信号波形图

## 五、操作步骤

### 1. 滑块位移、速度、加速度测量

(1) 将光电脉冲编码器输出的五芯插头及同步脉冲发生器输出的五芯插头分别插入测试仪上相对应的接口上。

(2) 把串行传输线一头插在计算机任一串口上,另一头插在实验仪的串口上。

(3) 打开 QTD-Ⅲ型组合机构实验仪上的电源,此时带有 LED 数码管显示的面板上将显示“0”。

(4) 打开 PC 机,并保证已连入了打印机。

(5) 启动机构,在机构电源接通前应将电动机调速电位器逆时针旋转至最低速位置,然后接通电源,并顺时针转动调速电位器,使转速逐渐加至所需的值(否则易烧断保险丝,甚至损坏调速器),显示面板上实时显示曲柄轴的转速。

(6) 机构运转正常后,就可在计算机上进行操作了。请启动系统软件。

(7) 请先熟悉系统软件的界面及各项操作的功能(请参阅操作系统软件简介)。

(8) 选择好串口,并在弹出的采样参数设置区内选择相对应的采样方式和采样常数。可以选择定时采样方式,采样的时间常数有 10 个选择挡(分别是 2 ms、5 ms、10 ms、15 ms、20 ms、25 ms、30 ms、35 ms、40 ms、50 ms),比如选 25 ms;也可以选择定角采样方式,采样的角度常数有 5 个选择挡(分别是  $2^\circ$ 、 $4^\circ$ 、 $6^\circ$ 、 $8^\circ$ 、 $10^\circ$ ),比如选择  $4^\circ$ 。

(9) 按下“采样”按键,开始采样。(请稍等片刻,此时测试仪就接收到 PC 机的指令对机构运动进行采样,并回送采集的数据给 PC 机,PC 机对收到的数据进行一定的处理,就可得到运动的位移值。)

(10) 当采样完成后,在界面上将出现“运动曲线绘制区”,绘制当前的位移曲线,且在左边的“数据显示区”内显示采样的数据。

(11) 按下“数据分析”键。则“运动曲线绘制区”将在位移曲线上再逐渐绘出相应的速度和加速度曲线。同时,在左边的“数据显示区”内也将增加各采样点的速度和加速度值。

(12) 打开打印窗口,可以打印数据和运动曲线了。

## 2. 转速及回转不匀率的测试

(1) 同“滑块位移、速度、加速度测量”的步骤(1)至(7)。

(2) 选择好串口,在弹出的采样参数设置区内,选择最右边的一栏,角度常数选择有 5 挡( $2^\circ$ 、 $4^\circ$ 、 $6^\circ$ 、 $8^\circ$ 、 $10^\circ$ ),选择想要的一挡,比如选择  $6^\circ$ 。

(3) 同“滑块位移、速度、加速度测量”的步骤(9)至(11),不同的是“数据显示区”不显示相应的数据。

(4) 打印。

## 机构运动参数测试实验报告

专业\_\_\_\_\_ 班级\_\_\_\_\_ 姓名\_\_\_\_\_ 实验时间\_\_\_\_\_

### 一、实验目的

### 二、实验设备

### 三、实验机构运动简图(包括各构件长度等参数)

#### 四、绘制理论运动线图与实测运动线图,比较差异,分析原因

#### 五、思考题

- (1) 曲柄滑块机构与导杆机构的性能有何差别?
- (2) 分析不同凸轮参数(如偏心、接触副形式)对从动件运动规律的影响。

## 实验十二

# 液体动力润滑径向轴承的油膜压力测定

### 一、概述

液体动力润滑径向轴承是利用轴颈与轴承的相对运动,将润滑油带入楔形间隙形成动压油膜,并靠油膜的动压来平衡外载荷。

液体动压润滑油膜的形成过程及油膜压力分布形状如图 12-1 所示。由于轴颈与轴承之间的配合有一定的间隙,静止时,在载荷作用下,轴颈在轴承孔中处于最下方位置形成楔形间隙,如图 12-1(a)所示。当轴开始转动时,如图 12-1(b)所示,在摩擦力的作用下轴颈沿轴承内壁向上爬,不时发生表面接触的摩擦。同时由于油的黏性将油带入楔形间隙,随着轴转速的提高,被轴颈“泵”入间隙的油量随之增多,油膜中的压力逐渐形成。当轴的转速达到足够高时,润滑油在楔形间隙内形成流体动压效应。当油膜压力能平衡外载荷时,轴颈与轴承被油膜完全隔开,如图 12-1(c)所示。这时轴颈的中心对轴承中心处于偏心位置,轴颈与轴承之间处于完全液体摩擦润滑状态。因此这种轴承摩擦力小、寿命长,具有一定的吸振能力。

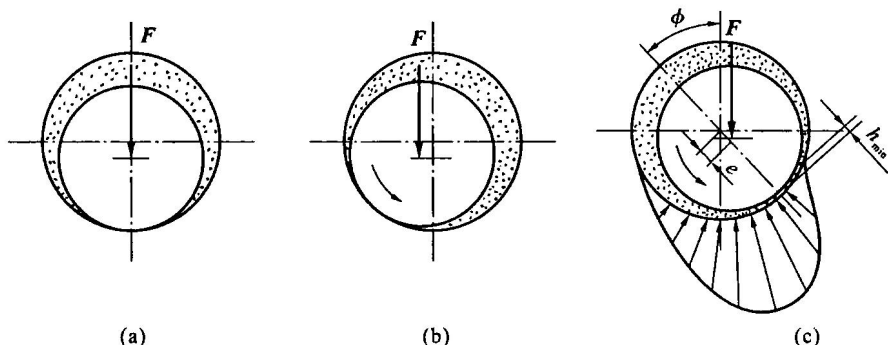


图 12-1 液体动压润滑油膜的形成过程及油膜压力分布

(a) 静止时;(b) 启动时;(c) 形成动压油膜

### 二、实验目的

- (1) 观察液体动压油膜的形成过程和现象。
- (2) 测定不同转速下滑动轴承的周向油膜压力和轴向油膜压力,绘出油膜压力分布图,求

出轴承的承载能力。

(3) 观察转速和载荷改变时油膜压力的变化情况。

### 三、实验台的结构与工作原理

实验台的外貌如图 12-2 所示。

#### 1. 实验台的驱动

直流电动机 1 通过 V 带驱动主轴沿顺时针方向旋转,通过无级调速器可使主轴在 3~500 r/min 之前无级变速,轴的转速由数码管显示。

#### 2. 油膜压力测量装置

主轴的材料为 45 号钢,表面淬火后磨削加工,由两个高精度的深沟球轴承支承在箱体上。轴的下半部浸泡在润滑油中,润滑油的牌号为 N68(旧牌号为 40 号机油),该油在 20 °C 时的动力黏度为 0.34 Pa·s。轴上装有精密加工制造的轴瓦 6,材料为铸锡铅青铜(ZCuSn5Pb5Zn5)。在轴瓦前端的一个径向剖面内沿周向钻有 7 个间隔 20°的小孔,小孔处装有压力表(油的进口在轴瓦的 1/2 处),用作测量油膜的周向压力,其中位于垂直方向的一只压力表 4 兼作测量轴向油膜压力,测量轴向油膜压力的还有另一只压力表 3,它装在轴瓦全长的 1/4 处。

#### 3. 加载装置

在图 12-2 中,螺旋加载装置 5 作用在主轴瓦的外圆上,旋转加载杆即可对轴瓦加载,载荷的大小通过压力传感器传出,在面板右侧显示(记录时取中间值)。

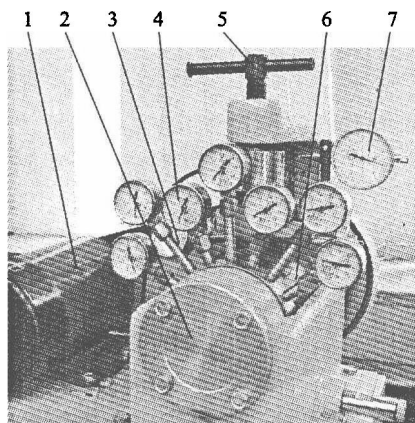


图 12-2 实验台外貌

1—直流电动机;2—主轴箱;3—轴向压力表;4—周向压力表(7只);

5—螺旋加载装置;6—主轴瓦;7—百分表测力装置

#### 4. 摩擦系数测量装置简介

径向滑动轴承的摩擦系数  $f$  随轴承的特性值  $\lambda$  的改变而改变。

$$\lambda = \frac{\eta n}{p} \quad (12-1)$$

式中: $\eta$ ——油的动力黏度,Pa·s;

$n$ ——轴的转速,r/min;

$p$ ——压力, MPa。

$$p = W / Bd$$

其中:  $W$ ——载荷, N;

$B$ ——轴瓦的宽度, mm;

$d$ ——轴的直径, mm。

在边界摩擦状态,  $\lambda$  增大时  $f$  变化很小(由于转速很低, 建议用手慢慢转动轴), 进入混合摩擦后,  $\lambda$  的改变将引起  $f$  的急剧变化, 在刚形成液体摩擦时,  $f$  达到最小值。此后, 随  $\lambda$  的增大油膜厚度亦随之增大, 因而  $f$  亦有所增大。

摩擦系数  $f$  可通过测量轴承的摩擦力矩而得到。轴转动时, 轴与轴瓦之间产生周向摩擦力  $F$ , 其摩擦力矩为  $Fd/2$ 。摩擦力矩使轴瓦发生翻转, 装在轴瓦上的测力杆通过弹簧片作用在百分表上, 通过百分表的指针转过的格数  $\Delta$ , 可以计算出摩擦力的大小。

根据力矩平衡条件得

$$\frac{Fd}{2} = LQ \quad (12-2)$$

式中:  $L$ ——测力杆的长度, 120 mm;

$Q$ ——作用在百分表触头处的力, N。

$$Q = K\Delta$$

其中:  $K$ ——测力计标定值,  $K = 0.098$  N/格;

$\Delta$ ——百分表的读数(指针转过的格数)。

当作用在轴瓦上的载荷为  $W$  时, 轴承的摩擦系数为

$$f = \frac{F}{W} = \frac{2LQ}{Wd} = \frac{2LK\Delta}{Wd} \quad (12-3)$$

### 5. 摩擦状态指示装置

指示装置的原理如图 12-3 所示。当轴不转动时, 闭合开关, 电路接通, 可看到灯泡很亮;

当轴转动时, 轴将润滑油带入轴和轴瓦之间的油楔内, 轴的转速很低时, 油膜厚度很薄, 轴与轴瓦之间部分微观不平度的凸峰处仍在接触, 故灯忽亮忽暗; 当轴的转速达到一定值时, 轴与轴瓦之间形成的压力油膜厚度完全遮盖两表面之间微观不平度的凸峰高度, 油膜完全将轴与轴瓦隔开, 电路断开, 灯泡灭掉。

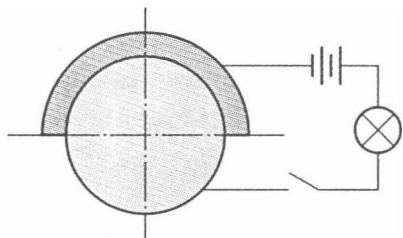


图 12-3 摩擦状态指示原理图

### 6. 电器工作原理

该仪器的转速控制由两部分组成: 一部分为由脉冲宽度调制原理所设计的直流电动机调速电源; 另一部分为由单片机控制的转速测量及显示电路, 以及测量转速的红外传感器电路。调速电源除了能输出直流电动机所需的励磁电压和电枢电压外, 还能为转速测量及显示电路提供直流电压, 转速测量及显示电路有四位 LED 数码管, 在单片机的程序控制下, 可完成“复位”、“测量”、“查看”和“存储”功能, 图 12-4 所示为实验台面板的布置图。通电后, 该电路自动开始工作, 个位数字右下方的小数点变亮, 即表示电路正在检测并计算转速。通电后或检测过程中, 发现测速显示不正常或重新启动测速时, 可按“复位”键。当需要存储记忆所测到的转速时, 可按“存储”键, 最多可存储记忆最后的 10 个数据。如果按“查看”键, 即可查看前一次存储的数据, 再按, 可继续向前查看。在“存储”和“查看”操作后, 如需继续测量, 可按“测量”键。

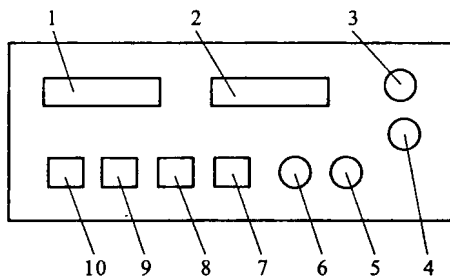


图 12-4 实验台面板布置图

1—转速显示;2—压力显示;3—油膜指示;4—电源开关;5—压力调零;

6—转速调节;7—测量键;8—存储键;9—查看键;10—复位键

该仪器工作时,如果轴瓦和轴之间无油膜,则很可能烧坏轴瓦,为此人为设计了轴瓦保护电路,如果无油膜,油膜指示灯亮。正常工作时,油膜指示灯灭。

该仪器的负载调节控制由三部分组成:一部分为负载传感器;另一部分为电源和负载信号放大电路;第三部分为负载 A/D 转换及显示电路。传感器为柱式力传感器,在轴向布置了两个应变片来测量负载。负载信号通过测量电路转换为与之成比例的电压信号,然后通过线性放大器放大,最大电压有 1 V 以上。最后,该信号被送至 A/D 转换及显示电路,按一定的要求直接显示为负载值。

## 四、实验方法及操作步骤

### 1. 开机前的准备

(1) N68(旧 40 #)机油必须通过过滤才能使用,使用过程中严禁灰尘及金属屑混入油内,油面应至圆形油标中线处。

(2) 将面板上“调速”旋钮逆时针旋转到底(转速最低);加载螺旋杆的触头应旋至与负载传感器脱离接触。

(3) 使弹簧片的端部与百分表(测力计)的触头具有一定的压力。

(4) 电源通电后,面板上两组数码管亮(左为转速,右为负载),调节“调零”旋钮使负载数码管清零。

(5) 为防止轴瓦在无油膜运转时被烧坏,在面板上装有无油膜报警指示灯,正常工作时指示灯熄灭。实验前未加载荷时,先用手拉动 V 带,使轴转动以将润滑油带到轴瓦接触处,严禁在指示灯亮时主轴高速运转。

### 2. 测定周向油膜压力和轴向油膜压力,绘出油膜压力分布图

(1) 启动电动机,旋转“调速”旋钮,使电动机转速调整到一定值(可取 200 r/min),注意观察轴从开始运转至 200 r/min 时灯泡亮度的变化情况,待灯泡完全熄灭,此时已处于完全液体润滑状态。

(2) 用加载装置加载至 400 N。

(3) 观察 8 只压力表的读数,待各压力表指针稳定后,自左向右,依次记下各压力表的读数。第一只到第七只压力表的读数用于作油膜周向压力分布图;第四只和第七只压力表的读数又可用于作油膜轴向压力分布图。