

实验一 滑动轴承实验

一、实验目的

1. 观察滑动轴承的动压油膜形成过程与现象。
2. 通过实验，绘出滑动轴承的特性曲线。
3. 了解摩擦因数、转速等数据的测量方法。
4. 通过实验数据处理，绘制出滑动轴承径向油膜压力分布曲线与承载量曲线。

二、实验台结构及其工作原理

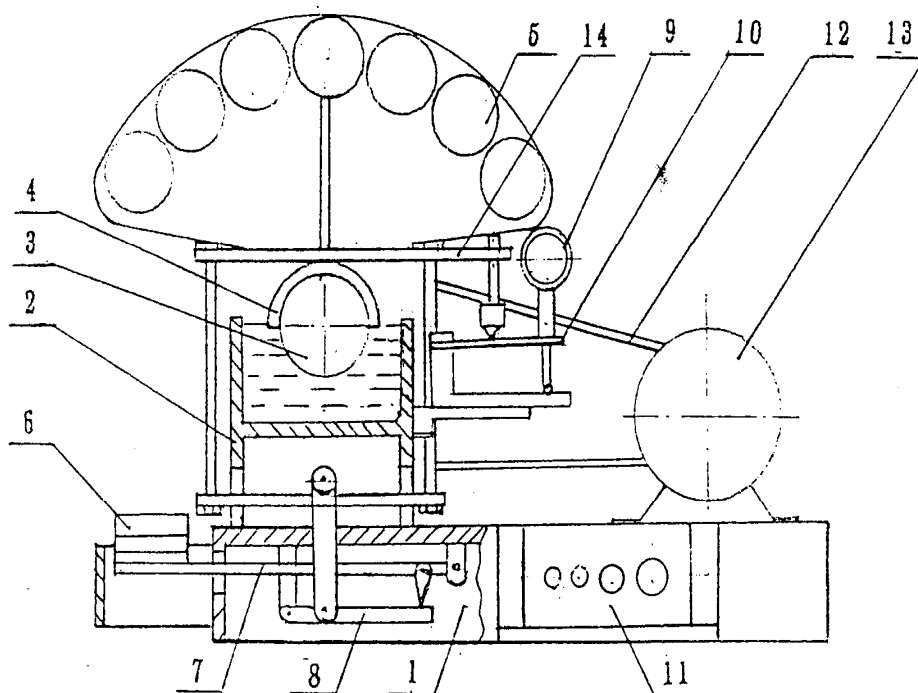


图 1—1

实验台结构如图 9—1 所示：它由底座 1，箱体 2，轴 3，轴瓦 4，压力表 5，加载砝码 6，加载杠杆 7、8，测力百分表 9，测距杠杆 14，测力弹簧片 10，控制面板 11，V 型传送带 12，直流电机 13 等组成。

轴瓦 4 与测矩杠杆 14 联成一体，压在轴上，直流电动机 13 通过 V 型传动带 12 驱动轴 3 旋转。箱体内装有足够的润滑油，轴将润滑油带到轴与轴瓦之间。当轴不转时，轴与轴瓦之间是直接接触的。开始启动时，当轴转速很低，轴与轴瓦之间处于半干摩擦状态，当轴的转速达到足够高时，在轴与轴瓦之间形成动压油膜，将它们完全隔开。

$$Q = K \cdot \Delta \quad (N)$$

当轴旋转时，由于摩擦力矩的作用，在测矩杠杆 14 与测力弹簧片 10 的触点处产生作用力 Q ，其大小可由测力表（百分表）测出：

式中：K—— 弹簧片刚度系数 (N/格)

Δ —— 测力表读数 (格, 1 格=0.01mm)

设轴与轴瓦之间的摩擦力为 F ，根据力矩平衡条件，可得：

$$F \cdot \frac{d}{2} = Q \cdot L = K \cdot \Delta \cdot L \quad (N \cdot mm) \quad (1)$$

$$F \cdot \frac{d}{2} = Q \cdot L = K \cdot \Delta \cdot L \quad (\text{Nm}) \quad (1)$$

$$F = \frac{2LK}{d} \cdot \Delta$$

$$F = \frac{2L \cdot K}{d} \cdot \Delta \quad (\text{N})$$

式中：d——轴的直径（60mm）

L——测力杠杆的力臂长（160mm）（轴中心至测距杠触头一端的距离）

而作用于轴瓦上的载荷 W 是由砝码通过加载杠杆系统 7、8 加上去的，它还包括加载系统和轴瓦的自重，故有：

$$W = iG + G_0$$

$$= 42.627G + 342 \quad (\text{N})$$

式中：G——砝码 6 的重力（N）

G_0 ——轴瓦、压力计等自重力，为 342N

i——加载系统杠杆比，为 42.627

因此轴与轴瓦之间的摩擦因数 f 可用下式计算：

$$f = \frac{F}{W} \quad (2)$$

$$q = \frac{W}{d \cdot B} \quad (\text{MPa})$$

而单位压力 q 可用下式计算：

式中：B——轴瓦宽度（mm）

在轴瓦宽度的中间，沿圆周均布钻有 7 个直径为 $\phi 1\text{mm}$ 的小孔（图 2），每个小孔联接一个压力表。当轴的转速达到一定数值，在杠杆系统上加适当的砝码重量，轴与轴瓦间就会形成动压油膜，呈液体摩擦状态。此时，从压力表上就可看到滑动轴承沿圆周各点的径向油膜压力，记录下各压力表上显示的压力值，选定一定比例尺，便可绘制出径向油膜压力分布曲线（图 1—5a）。

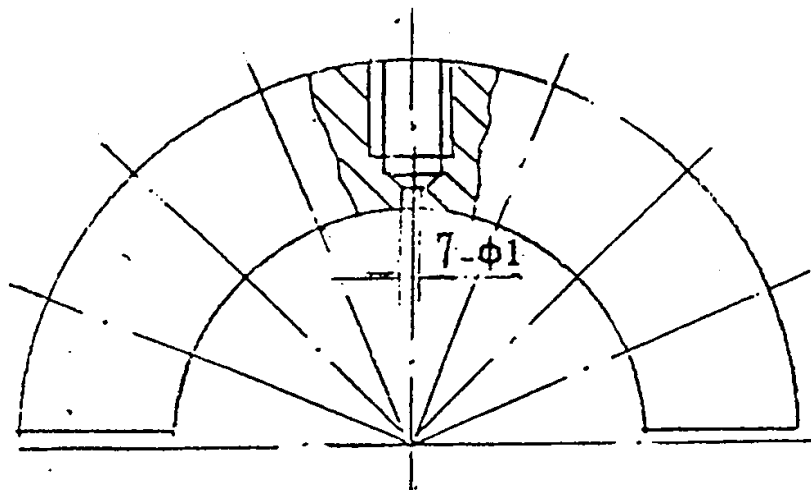


图 1—2

三、实验台有关数据

1. 轴瓦：材料——ZQAL 9—4

表面粗糙度——1.6



宽度—— $B=75\text{mm}$

2. 轴： 材料—— 45

表面粗糙度——0.8



直径—— $d=60\text{mm}$

3. 电动机： 型号——130SZ02

额定功率—— $P=355\text{W}$

额定转速—— $n=1500\text{r/min}$

4. V 带传动： 型号—— 0 型

内周长—— $L=1120\text{mm}$

根数—— $Z=2$

中心距—— $a=350\text{mm}$

传动比—— $i=3.175$

5. 润滑油： 牌号——45 号机油

粘度—— $\eta=0.34 (\text{Pa} \cdot \text{s})$

6. 加力杠杆比： 42.627

7. 测矩杠杆力臂长—— $L=160\text{mm}$

测力弹簧片刚度系数—— $K=$ N / 格

四、实验操作

1. 准备工作

1) 检查实验台，使各个机件处于完好状态；

2) 检查实验台地线是否接好；

3) 在箱体油池中注入足够量的经过过滤的 45 号机油；

4) 去掉加载法码 6；

5) 在弹簧片端部安装百分表，使其触头与底座接触并有一定予压值；

6) 为保证图 3 所示电路中轴与轴瓦之间除通过直接接触外，其它部分是绝缘的，轴瓦不得与轴座相接触。

2. 实验内容与实验方法

1) 观察动压油膜的形成过程与现象

动压油膜形成过程中的现象，我们可通过观察油膜形成过程的电路系统来观察。

电路系统如图 1—3 所示。

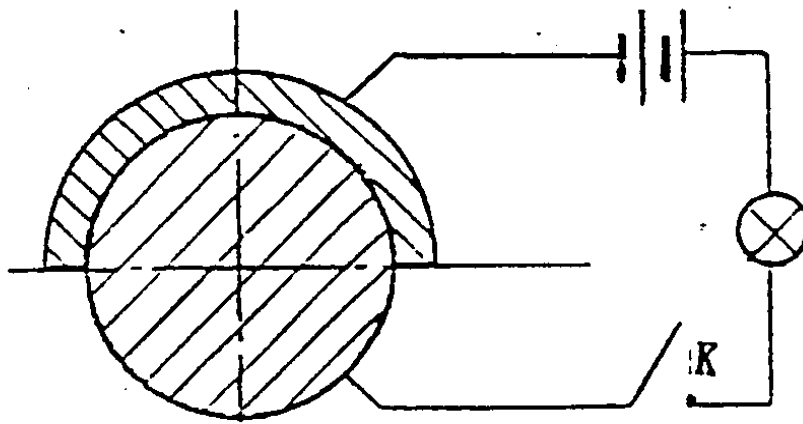


图 1—3 观测油膜形成过程电路图

当主轴没有转动时，轴与轴瓦是接触的，接通开关 K，有较大的电流流过灯泡，可以看到灯光很

亮。

当主轴在很低的转速下慢慢转动时，主轴把油带入轴与轴瓦之间，形成部分润滑油膜，由于油为绝缘体，使金属接触面积减小，使电路中的电流减小，因而灯光亮度变暗。

当主轴转速再提高时，轴与轴瓦之间形成了很薄的压力油膜，将轴与轴瓦分开，灯泡就不亮了，这时我们就得知动压油膜已经形成。

2) 求出滑动轴承在刚启动时的摩擦力矩与摩擦因数

实验时，可以用手缓慢地转动 V 型带轮(这时要求不加砝码，载荷只是杠杆系统的自重 G_0 ，或者也可慢慢启动电动机，当轴刚有转动趋势的时候，读出并记下百分表的最大格数。为了保证数据记录的准确性，需要重复做三次，将测得的数据记录在表 1 中，根据记录的数据，代入(1)，(2)式子，求出启动时的摩擦力矩和摩擦因数，最后求得一个平均值。

3) 绘制滑动轴承的特性曲线

滑动轴承的 $\eta n/q - f$ 特性曲线如图 4 的所示，参数 η 为油的粘度，它是受压力和温度影响的。但由于本实验进行的时间短，压力也不大(在 $5\text{MPa}=50$ 大气压以下)温度变化也不大，因此把油的粘度近似地看做一个常数。根据查表可得 45 号机械油在室温 (20°C) 时的动力粘度 $=0.34\text{Pa}\cdot\text{s}$ 。而 n 为转速，是个变量。可实际测得。 q 为平均单位载荷 (也称比压) 可用下式计算：

式中： W 为载荷； d 为主轴的直径； B 为轴瓦宽度； f 为摩擦因数。

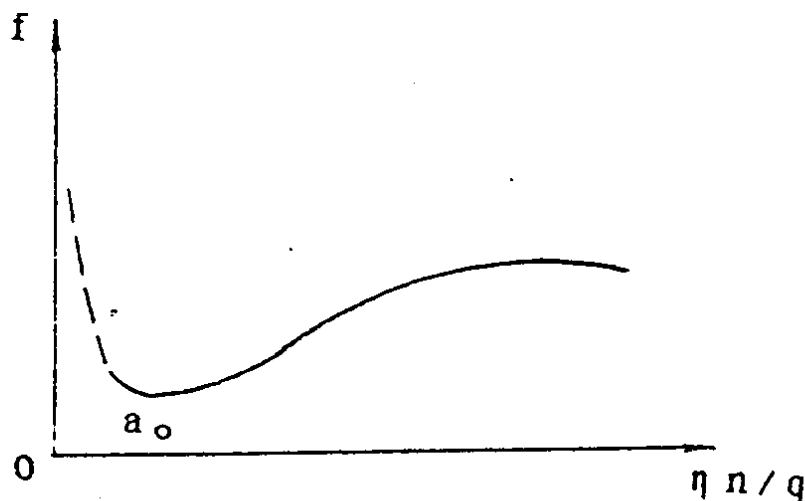


图 1—4 滑动轴承 $\eta n/q - f$ 曲线

从特性曲线图可以看出，摩擦因数 f 的大小是和转速有关的，主轴刚启动时，轴与轴瓦为半干摩擦，此时摩擦因数是很大的。随着转速的增加，压力油膜使轴与轴瓦的接触面积不断减小，摩擦因数明显下降，当达到临界点 a_0 后为液体摩擦区，即为滑动轴承的正常工作区域。实验时，我们用改变转速 n (即改变 $\eta n/q$)，将各转速下所对应的摩擦力矩和摩擦因数求出，记录在表 2 中 (并绘出 $\eta n/q - f$ 特性曲线)。

具体实验方法参看使用说明书。

4) 绘制轴承径向油膜压力分布曲线

启动电机，控制转速在 $250\sim 300\text{r/min}$ ，然后加上载荷，观察指示灯泡，看是否形成油膜，当形成压力油膜后，待各压力表的压力值稳定后，由左向右依次记录各压力表的压力值，并记录在表 3 中。根据测出的油压大小按一定比例绘制油压分布曲线，如图 5a 所示。具体画法是沿着圆周表面从左向右画出角度分别为 $22^\circ 30'$ ， 45° ， $67^\circ 30'$ ， 90° ， $112^\circ 30'$ ， 135° ， $157^\circ 30'$ 等分，得出油孔点 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 位置。通过这些点与圆心 4 连线，在它们的延长线上，将压力表测出的压力值 (比例： $0.1\text{MPa}=5\text{mm}$) 画出压力向量 $1-1'$ ， $2-2'$ ， $\dots$ ， $7-7'$ 经 $1' 2' \dots 7'$ 各点连成平滑曲线，这就是位于轴承中部截面的油膜径向压力分布曲线。

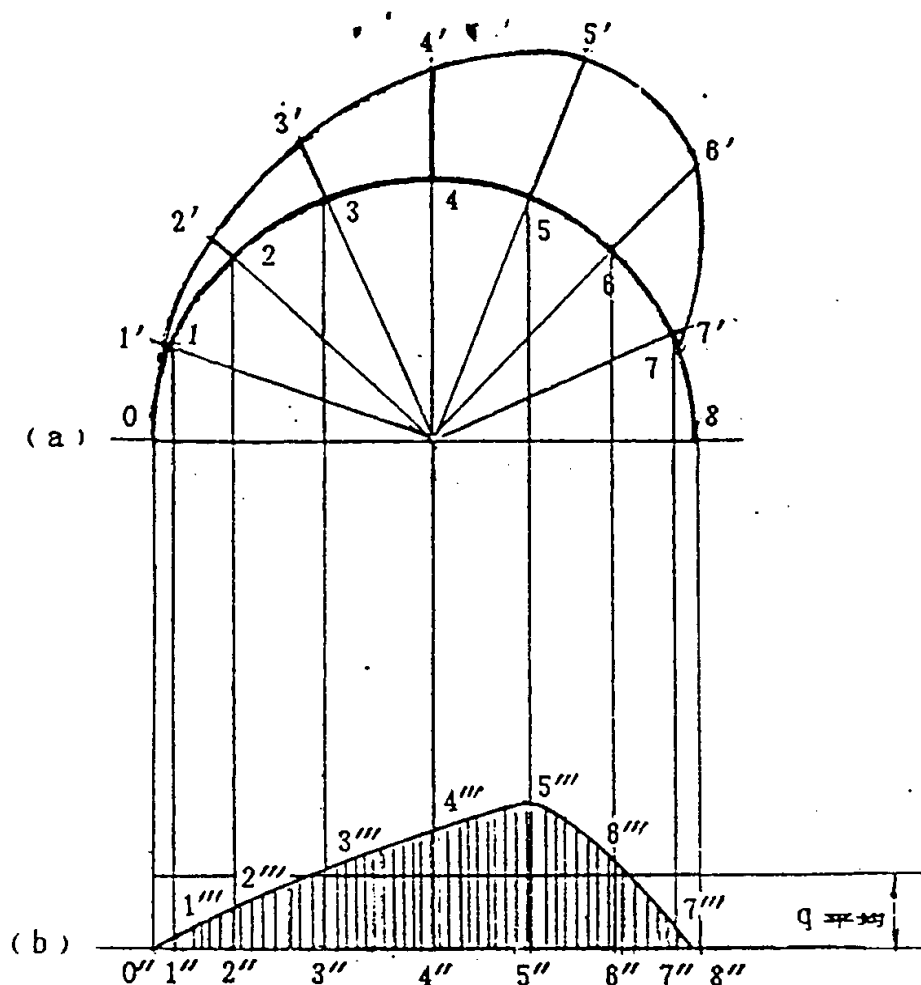


图 1—5 径向压力分布与承载量曲线

为了确定轴承承载量，用 $p_i \cdot \sin\phi_i$ ($i=1, 2, \dots, 7$) 求得向量 1—1', 2—2', ..., 7—7' 在载荷方向(即 y 轴)的投影值。角度 ϕ_i 与 $\sin\phi_i$ 的数值见表 1—1

ϕ_i	22.5	45	67.5	90	112.5	136	157.5
$\sin\phi_i$	0.382	0.707	0.923	1	0.923	0.707	0.382

然后将 $P_i \sin\phi_i$ 这些平行 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 5a 的下部，如图 5b，在直径 0—8'' 上先画出轴承表面上油孔位置的投影点 1'', 2'' ...

8''，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量，即 1''', 2'''7''' 等点，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'' 上做一个矩形，采用方格坐标纸，使其面积与曲线所包围的面积相等。那么该矩形的边长 $q_{\text{平均}}$ 即为轴承中部截面上油膜径向平均单位压力。

轴承处在液体摩擦工作时，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：

$$P=W=\phi \cdot q_{\text{平均}} \cdot B \cdot d$$

式中； P 为轴承内油膜承载能力；

W 为外加载荷；

为端泄对承载能力影响系数；

$q_{\text{平均}}$ 为径向平均单位压力；

B 为轴瓦宽度；

d 为轴瓦内径。

端泄对轴承压力分布及承载能力影响较大，通过实验，可求得其影响。具体方法如下：

由实验测得的每块压力表上的压力，代入下式，可求出在轴瓦中点截面上的径向平均单位压力：

$$q_{\text{平均}} = \frac{\sum_{i=1}^7 q_i \cdot \sin\phi_i}{7}$$

$$= \frac{q_1 \sin\phi_1 + q_2 \sin\phi_2 + \dots + q_7 \sin\phi_7}{7}$$

端泄对承载能力的影响系数，用下式求得：

$$\psi = \frac{W}{q_{\text{平均}} \cdot B \cdot d}$$

3. 实验报告要求

(1) 求滑动轴承刚启动时的摩擦力矩 T_1 与摩擦因数 f

表 1—2 启动状态下摩擦力矩及摩擦因数的测试记录

	百分表读数 Δ	载荷 W	启动摩擦力矩 T_1	摩擦因数 f
	格数	N	N · m	
1				
2				
3				

启动时的摩擦力矩平均值： $T_{1\text{平均}} =$

摩擦因数平均值： $f =$

(2) 求滑动轴承的 f 与 η n/q 特性曲线

表 2 非液体摩擦与液体摩擦状态下的转数 n 与百分表读数记录

已知条件：砝码重 $Q =$ N 载荷 $W =$ N

$$q = \frac{W}{Bd} \quad \text{MPa} \quad \eta = 0.34 \quad \text{Pa} \cdot \text{s}$$

	转速 n	百分表读数	摩擦力矩 T_1	摩擦因数 f	n/q
	r/min	格	N · m		$1/60 \times 10^{-6}$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

绘制 $n/q-f$ 特性曲线图(参考图 4)

3) 绘制轴承径向油膜压力分布曲线与承载量曲线

表 11—3 油压记录

	1	2	3	4	5	6	7
径向压力 MPa							
向 Y 轴投影压力值 $P_i \cdot \sin\phi_i$							

径向单位面积上的平均压力 $q_{\text{平均}}$

端泄对承载量的影响系数 $\phi =$

4) 绘制油膜径向压力分布曲线与承载量曲线(参考图 5)

实验二 带传动实验指导书

一、实验目的

1. 测定带传动滑动率曲线和效率曲线
2. 测定带传动滑动功率
3. 测定带传动效率
4. 测定张紧力工作中的弹性打滑现象

二、思考题

1. 为什么从动轮的实测转速会比计算转速略小?
2. 打滑与弹性滑动有何区别? 它们发生于哪个轮子, 发生在什么时候? 能否避免?
3. 影响效率 η 和滑动率 ε 的主要因素是哪些? 它们在设计皮带中有何用处? 设计皮带中一般取 $\eta=?$ $\varepsilon=?$ 为什么?

三、带传动实验台使用说明书

带传动是广泛应用的一种传动, 其性能试验为(机械设计)教学大纲规定的必作实验之一, 也是产品开发中的一项重要鉴别手段。本实验台的完善设计保证操作者用最简便的操作, 同时又概念形象地获得滑动曲线及传动的效率曲线。由于采用了直流电机为原动机及负载, 具有无级调速功能, 使得本实验台可在操作者希望的任意转速条件下进行实验。本实验台设计了专门的带传动预张力形成机构, 预张力可预先准确设计, 在实验过程中, 预张力稳定不变。在实验台的控制箱中配置了单片机, 设计了专用的软件, 使本实验台具有数据采集、显示、保持、记忆等多种人工智能。本实验台与其它仪器有良好的兼容性能, 可与杭州星辰仪器设备公司已开发的机械动态 MEC-B 参数测试仪组合使用, 也可与 386、486 等微机对接(本实验台已备有接口), 这时可自动显示并打印实验数据及实验曲线。

(一) 主要技术参数

1. 直流电机功率: 2 台 $\times$ 50W
2. 主动电机调速范围: 500~2000r/min
3. 额定转矩: $T=0.24N \cdot m=2450g \cdot cm$
4. 实验台尺寸: 长 $\times$ 宽 $\times$ 高 = 600 $\times$ 280 $\times$ 300
5. 电源: 220V 交流

计算公式

$$\text{滑动率} \quad \varepsilon = \frac{V_1 - V_2}{V_1} = \frac{\pi n_1 D_1 - \pi n_2 D_2}{\pi n_1 D_1} = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

$$\text{效率} \quad \eta = \frac{T_2 n_2}{T_1 n_1}$$

式中: V_1 、 V_2 —主、从动轮的圆周速度;

n_1 、 n_2 —主、从动带轮的转速 r/min

T_1 、 T_2 —主、从带轮上转矩, N·m

(二) 结构特点

1. 机械结构

本实验的机械部分，主要由两台直流电机组成，如图 1 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。

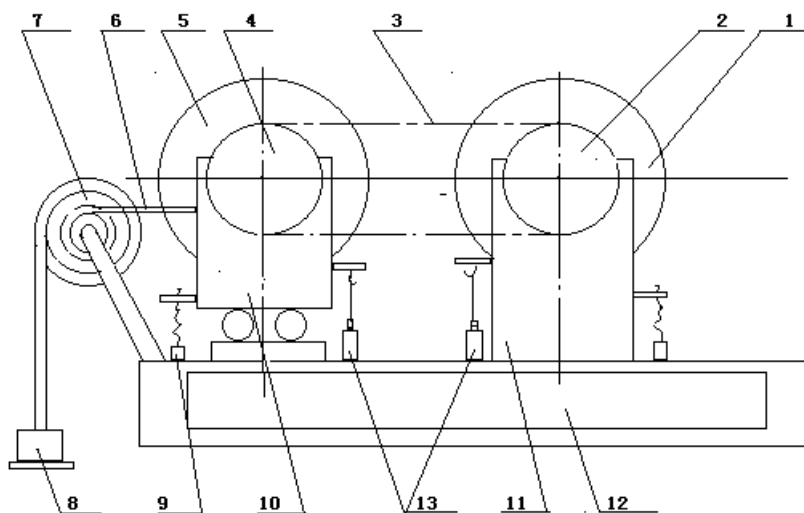


图 2—1 实验台机械结构

1—从动直流电机 2—从动带轮 3—传动带 4—主动带轮 5—主动直流电机 6—牵引
7—滑轮 8—砝码 9—拉簧 10—浮动支座 11—固定支座 12—底座 13—拉力传感器

对发电机、每按一下“加载”按键，就相当于并上一个负载电阻，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），传感器输出的电讯号正比于 T_1 、 T_2 ，因而可以作为测定 T_1 、 T_2 的原始讯号。

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紧力形成机构，改变砝码大小，即可准确预定带传动的预紧力 F_0 。

两台电机的转速传感器（红外光电传感器）分别安装在带轮轮背后的环形槽（本图未表示）中，由此可获得必需的转速讯号。

2、电子系统

电子系统的结构框图如图 2—2 所示。

实验台内附设单片机，承担检测、数据处理、信息记忆、自动显示等功能。如外接本公司定型产品 MEC-B 机械动态参数测试仪或 386、486 微型计算机，这时测试仪或计算机就可自动显示并能打印输出带传动的滑动曲线 $\varepsilon-T_2$ 及效率曲线 $\eta-T_2$ 关数据。

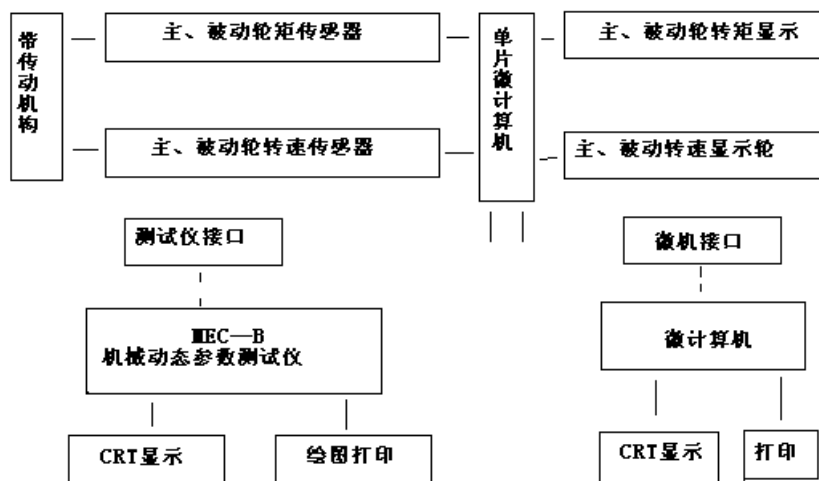


图 2—2 实验台电子系统框图

3. 操作部分

操作部分主要集中在机台正面的面板上，面板的布置如图 2—3 所示。

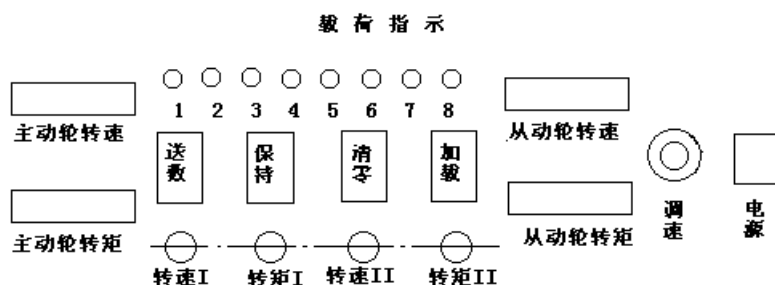


图 2—3 实验台面板布置图

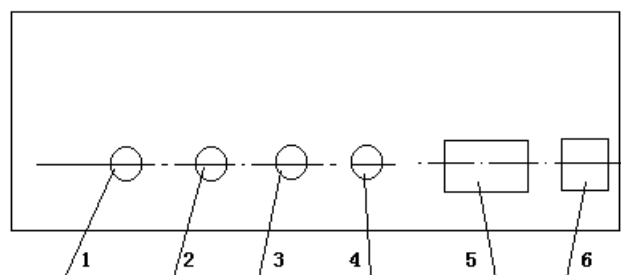


图 2—4 实验台背面布置图

1—主动力矩放大倍数调节 2—接地端子 3—被动力矩调零 4—主动力矩调零 5—RS232 接口 6—电源插座

在机台背面有微机 RS232 接口、主动轮转矩 I 及被动轮转矩 II 调零旋钮等，其布置情况如图 4 所示。

（三）实验操作

（1）人工记录操作方法

1. 不同型号传动带需在不同预紧力 F_0 的条件下进行试验，也可对同一型号传动带，采用不同预紧力，试验不同预紧力对传动性能的影响。为了改变预紧力 F_0 ，如图 16—1 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逆时针转至“最低速”(0 速)位置, 掀电源开关接通电源, 按一下“清零”键, 然后将调速旋钮顺时针相向“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。当主电机转速达到预定转速(本实验建议预定转速为 1000~1050r/min 左右)时, 停止转速调节。此时从动电机转速也将稳定的显示在显示屏上。

3. 转矩零点及放大倍数调整

在空载状态下调整机台背面(参见图 2—4)调零电位器, 使被动转矩显示(参图 2—3)上的转矩数 0~0.030N.m, 主动轮在 0.050~0.090N.m。待调零稳定后(一般在转动调零电位器后, 显示器跳动 2~3 次即可达到稳定值)按加载键一次, 最左边 1 个加载指示灯亮, 待主、被动轮转速及转矩显示稳定后, 调节主动轮放大倍数电位器, 使主动轮转矩增量略大于被动轮转矩增量(一般出厂时已调好)。显示稳定 后按清零键, 在进行调零。如此反复几次, 即可完成转矩零点及放大 倍数调整。

4. 加载

在空载时, 记录主、被动轮转矩与转速。按“加载”键一次, 第一加载指示灯亮, 待显示基本稳定后记下主、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, 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, 三个加载指示灯亮, 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, 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及时按“清零”键。显示灯泡全部熄灭, 机构处于空载状态, 关电源前, 应将电机调速至零, 然后再关闭电源。

为便于记录数据, 在试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”键即可使转矩, 转速稳定在当时的显示值不变。按加载键, 可脱离“保持”状态。

(2) 与 MEC-B 机械动态参数测试仪连接

如前所述, DSC-II 型智能带传动试验台, 可与 MEC-B 机械动态参数测试仪连接, 组成试验系统, 其操作步骤如下:

1. 联接试验台与 MEC-B 测试仪

使用所配的 4 根连接线, 通过试验台面板上的信号输出接口, 将试验台转矩 I、II 及转速 I、II 输出信号接入测试仪第 1、2、5、6 通道(参见 MEC-B 机械动态参数测试仪说明书)。使用导线连接试验台后板的接地端子与测试仪后板接地端子(消除干扰)。

2. 测试仪参数预置

打开测试仪电源, 通过键盘置入:

4	0	1	5.	0	0	EXEC	MON
4	0	2	5.	0	0	EXEC	MON

其中×××在此表示对试验台的转矩输出电压信号 5V 时所对应的力矩值(参见测试仪使用说明书)。一般可先置入×××=5.00。为使测试仪显示的力矩尽量和试验台显示值接近, 可在试验过程中, 作进一步调整。

再键入:

3	4					EXEC	MON
---	---	--	--	--	--	------	-----

3	3				
---	---	--	--	--	--

EXEC

MON

测试仪处于带传动试验待命状态。测试仪 CRT 显示曲线 $\varepsilon-T_2$ 、 $\eta-T_2$ 坐标图。

3. 设定试验台预紧力 F_0 及接通电源启动电机（同前一节）。

4. 试验台转矩零点及放大倍数调整（同前一节）。

5. 加载

当测试仪处于带传动试验待命状态，试验台处于空载状态时，按一下测试仪 EXEC 键，测试仪 1、2 通道采样指示灯亮，测试仪对试验台主、被动带轮转矩及转速采样，结束后在 CRT 显示屏上显示当时的转矩及转速值，LED 数码显示 33。

按一下试验台“加载”键，载荷指示灯亮，待试验台转矩、转速显示稳定后，再按测试仪 EXEC 键。结束后，CRT 显示试验台加载一点后的转矩、转速值，LED 数码管显示 33。

再按“加载”键一次，加载二点，显示稳定后再按测试仪 EXEC 键，显示第二次加载的转矩转速值。

重复上述操作，直至试验台“加载”7 次，7 个载荷指示灯亮，再按一下 EXEC 键，结束后，测试仪 CRT 屏显示如图 2—5 所示带传动试验 $\varepsilon-T_2$ 、 $\eta-T_2$ 曲线，LED 显示 33 表示试验结束。若要输出试验结果，则按一下测试仪 PRINT 键，即可将 CRT 显示屏通过 PP-40 打印机拷贝，并同时输出各试验点参数。如图 2—5 所示。

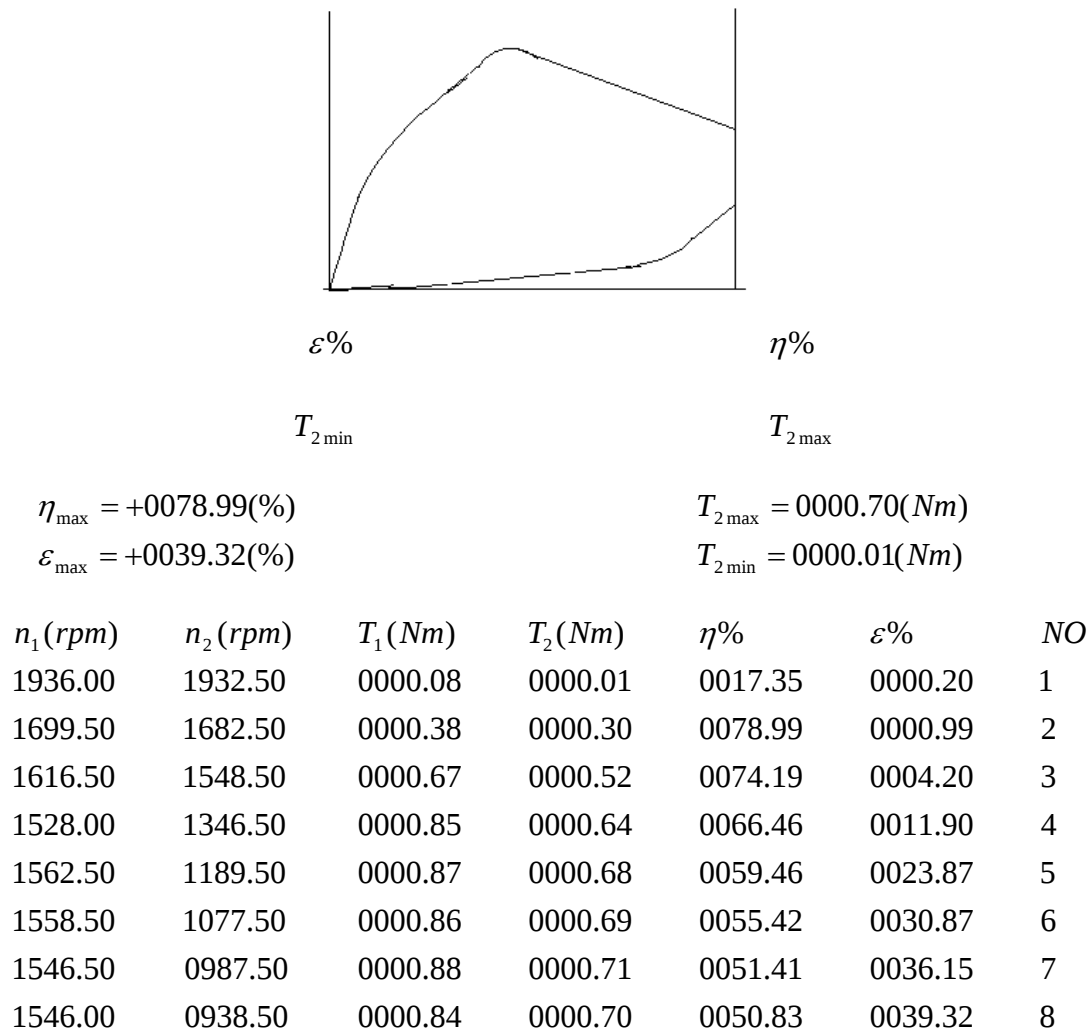


图 2—5

(3) 试验台与计算机接口

在 DSC—II 型带传动试验台后板上设有 RS232 串行接口, 可通过所附的通讯线直接和计算机相连, 组成带传动试验系统, 操作步骤为:

1. 将随机携带的信号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# 或 2# 均可, 但无论联线或拆线时, 都应先关闭计算机和试验台机构电源, 以免烧坏接口元件)。
2. 打开计算机, 在 DOS 状态下, 插入随机携带的软盘(或将磁盘文件拷入相应的子目录), 运行 DCS、EXE 文件, 屏幕将提示要求输入串行口通道号, 根据通信线所接的通道, 输入 1# 或 2# 通道, 经回车确认后屏幕将出现功能菜单, 选择“输入”功能并回车确认, 计算机将处于等待信号输入状态。
3. 打开试验机构电源, 并调整主、被动力矩的零点及放大倍数至合适位置(方法同前)。
4. 按下“加载”键, 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, 直至试验机构面板上的八个发光管指示灯全亮为止, 此时, 实验机构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. 当试验机构全部显示“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。
6. 移动功能菜单的光标, 选择“曲线”功能, 屏幕将显示本次试验的曲线和数据。
7. 移动功能菜单的光标至“打印”功能, 打印机将打印试验曲线和数据(目前仅适配 EPSONLQ1600K 打印机)。
8. 实验过程中如需调出本次数据, 只需将光标移至“输入”功能, 并回车确认, 同时, 按下实验机构的“送数”键, 数据即被送至计算机, 可用上述 6、7 项实验操作进行画图 and 打印。
9. 一次实验结束后如需继续实验, 可按下实验机构的“清零”键, 同时将计算机屏幕中的“输入”菜单中, 重复上述第 4-7 项即可。
10. 实验结束后, 将实验台电机转速调到零, 关闭实验机构的电源, 将计算机屏幕菜单选至“退出”, 回车确认后即可退出。退出后应及时关闭计算机。

注: 本实验曲线是以 T_2 为纵变量的, 为保证输出曲线的单值性, 从动力矩 T_2 值应该逐步递增。

本实验装置是以直流电机为原动机和负载的, 单值性, 加载后应观察 T_2 的显示值, 适当调整直流电机的转速, 使 T_2 的后一次值始终大于前一次数值。一般的情况下, 维持主动转速在 $1000 \sim 1050r/min$, 即可保证加载时 T_2 值处于递增状态。

实验三 封闭功率流式齿轮试验台使用说明书

一、概述

CLS—II 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, 即可直接用抄录数据手工计算方法, 也可以计算机接口组成有数具采集处理, 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。

本试验台用于机械设计等课程的教学实验。可进行齿轮传动效率试验, 小模数齿轮的承载能力试验。通过试验, 使学生能了解封闭功率流式齿轮试验台的基本原理特点及齿轮传动效率的测试方法。

二、主要技术参数

1. 试验台齿轮模数 $m=2$
2. 齿数 $Z_4=Z_3=Z_2=Z_1=38$

- | | |
|-------------|---|
| 3. 中心距 | $a=76\text{mm}$ |
| 4. 速比 | $i=1$ |
| 5. 直流电机额定功率 | $P_{\text{电}}=200\text{W}$ |
| 6. 直流电机转速 | $n_{\text{电}}=50\text{—}2000\text{r/min}$ |
| 7. 最大封闭扭矩 | $T_B=15\text{ Nm}$ |
| 8. 最大封闭功率 | $P_B=3\text{ kW}$ |

三、试验台结构特点

(一) 机械结构

试验台的结构如图 17—1a 所示，由定轴齿轮副、悬挂齿轮箱、扭力轴、双万向联轴器等组成一个封闭机械系统。

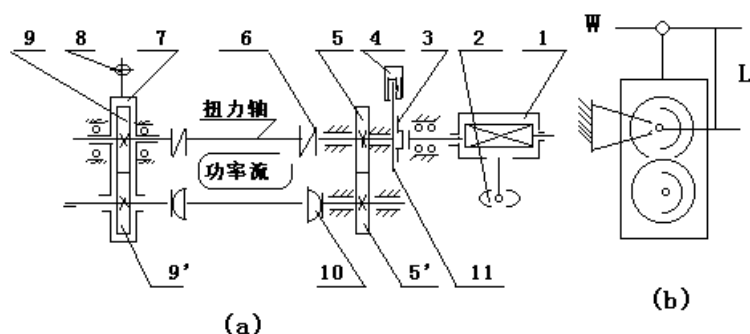


图 3—1

1—悬挂电机 2—转矩传感器 3—浮动联轴器 4— 转速传感器 5—定轴齿轮副 6—刚联轴器

7—悬挂齿轮箱 8—砝码 9——悬挂齿轮副 10—万向联轴器 11—脉冲发生器

电机采用外壳悬挂结构，通过浮动联轴器和齿轮轴相联，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控箱，在数码显示上直接读出。电机转速由测速传感器 4 测出，同时送往电控箱中显示。

(二) 效率计算

1. 封闭功率流方向的确定

由图 3—1 (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 0.5kg 以上）悬臂齿轮箱会产生一定角度的翻转，这时扭力轴将有一个力矩 T_g 作为齿轮 9（其方向为顺时针），万向节也有一力矩 T_g' 作用于齿轮 9'（其方向也为顺时针，如忽略磨擦， $T_g'=T_g$ ）。当电机顺时针方向一角度速度 ω 转动时， T_g 与 ω 的方向相同， T_g' 与 ω 的方向相反，故这是齿轮 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，封闭功率方向如图 3—1 (a) 所示，其大小为：

$$p_a = \frac{T_g \cdot n_g}{9550} = p_g \quad (\text{kW})$$

该功率流大小决定与加载力矩和扭力轴的转速，而不是决定与电机。电机提供的功率仅为封闭传动中的损耗功率，既

$$p_1 = p_g - p_g \eta$$

$$\text{故 } \eta = \frac{p_9 - p_1}{p_9} = \frac{T_9 - T_1}{T_9},$$

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

η 为总效率若 $\eta=95\%$ ，则封闭加载的功率仅为开式加载功率的 1/20，是一种节能高效率的试验方法。

2. 封闭力矩 T_9 的确定

3. 由图 3—1 (b) 可以看出，当悬挂齿轮箱杠杆加载后，齿轮 9、齿轮 9` 就会产生扭矩，其方法都是顺时针，对齿轮 9` 中心取矩，得到封闭力矩 T_9 ；(本试验台 T_9 是所加载产生扭矩的一半)

即：

$$T_9 = \frac{WL}{2} N.m$$

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)

$$\eta = \sqrt{\eta} = \sqrt{\frac{T_9 - T_1}{T_9}} = \sqrt{\frac{\frac{WL}{2} - T_1}{\frac{WL}{2}}}$$

(三) 电子系统

1. 系统框图

电控箱内系统的结构框图如图 3—2 所示。

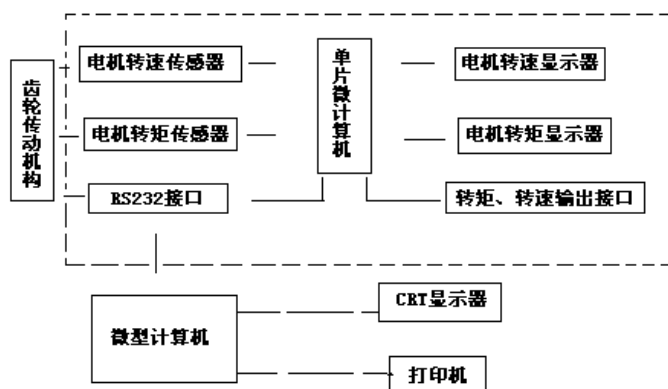
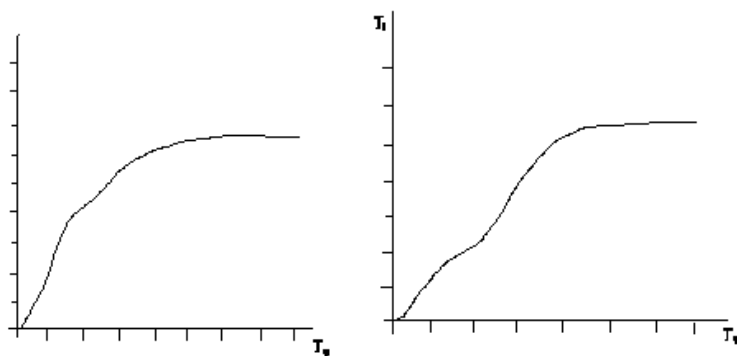


图 3—2 实验台系统框图



No	$N(rpm)$	$T_1(Nm)$	$T_9(Nm)$	$\eta(0/0)$
1	1028	0.324	1.500	88.544
2	1029	0.367	3.000	93.685
3	1023	0.418	4.500	95.246
4	1020	0.418	6.000	96.012
5	1018	0.496	7.500	96.637
6	1014	0.523	9.000	97.051
7	1009	0.595	10.500	97.125
8	1008	0.551	12.000	97.677

图 3—3 实验曲线

实验台电控箱内附设单片机，承担检测、数据处理、信息记忆、自动数字显示及传送等功能。若通过串行接口与计算机相联，就可有计算机对所采集数据进行自动分析处理，并能显示及打印齿轮传递效率 η — T_9 曲线及 T_1 — T_9 曲线和全部相关数据。如图 3—3 例所示。

2. 操作部分

操作部分主要部分集中在电控箱正面的面板上，面板的布置如图 17—4 所示：

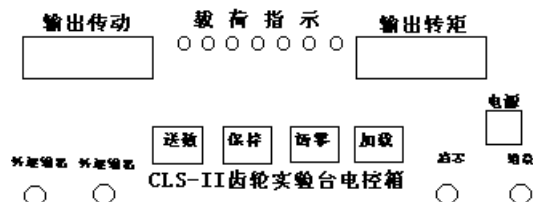


图 3—4 面板的布置图

在电控箱背面备有微机 RS232 接口、转矩、转速输入接口等，其布置情况如图 17—5 所示：

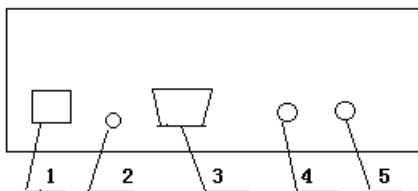


图 3—5 电控箱后板布置

- 1—电源插座 2—转矩增益调节电位器 3—RS232 接口 4—转矩输入接口
5—转速输入接口

四、实验操作

(一) 人工记录操作方法

1. 系统联接及接通电源

在接通电源前，先将试验台上的转矩输出线（较粗的信号线）及转速信号线分别插入电控箱后板的相应输入插口上，打开电控箱面板开关，并按一下“清零键”使单片机微机复位，处于待命状态。

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，然后将电源开关接通电源。

2. 转矩零点及放大倍数调整

在试验台电机（0 速）及空载状态下，调节电控箱面板上的“增益”（粗调），电位器（细调），使输出转矩显示值 $\leq 0.010N \cdot m$ 一般转动电位器后，显示器跳动 2 次及达到稳定值。

在调零过程中，若转矩显示为“9999”则表示转矩为“—”值应逆时针转电位器使显示值增大。

“调零”完成后，将试验台上的调速旋钮顺时针慢慢向“高速”方向旋转，电机起动逐渐增速，同时观察电控箱面板上显示的转速值。当电机转速达到预定值（本实验建议预定转速为 1000～

1200r/min) 时, 停止转速调节。此时输出转矩显示应在 0.3~0.4Nm 之间(此值出厂时已调节好), 否则可通过电控箱背面上的转矩增益电位器加以调节。(为方便记录, 数据显示采用延时平均软件, 因此调节电位器后, 转速与转矩的显示值一段滞后时间)。

3. 加载

待试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蓝或适当调节一下电机转速), 在砝码吊蓝上加上第一个砝码。观察出转速及转矩值, 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”适当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。

在吊蓝上加上第二个砝码, 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 η — T_4 曲线及 T_2 — T_4 曲线。

注: 在加载过程中, 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, 应先将电机慢慢的调速至零, 然后再关闭实验台电源。

(二) 与计算机接口实验方法

在 CLS—II 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

在关电源的状态下将随机携带的串行通讯联接线的一端接到实验台电控箱的 RS—232 插座, 另一端接入计算机串行输出口(串行口 1#或 2#均可, 但无论联线或拆线时, 都应先关闭计算机和电控箱电源, 否则易烧坏接口元件)。

其余方法同前

2. 转矩零点及放大倍数调整

方法同前

3. 加载

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。第二个加载结束。

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”, 表示实验结束。

将电机慢慢调速至“零”, 并卸下所有砝码。同样, 加载过程中应始终使电机转速基本保持在预定值。

4. 计算机处理

(1) 打开计算机, 在 DOS 状态下插入随带的软盘(或将磁盘文件拷入相关子目录), 运行 GEAR. EXE 文件, 屏幕将提示要求输入串行口通道号。根据通信线所接的通道, 输入 1#或 2#通道, 经回车确认后屏幕将出现功能菜单, 根据菜单选择“输入”功能并回车确认, 计算机将处于待命状态。

(2) 按一下实验台电控箱面板上的“送数键”, 则所采集到的八组数据都送到计算机上并由 CRT 显示器显示。

(3) 当确认传送数据无误(否则再按一下“送数键”)后, 用键盘“←→”移动功能菜单光标, 选择“曲线”功能, 屏幕所显示本次实验曲线和数据。

(4) 移动功能菜单光标至“打印”功能, 打印机将打印实验曲线和数据(目前仅适合 EPSON. LQ1600K 打印机), 按 ESC 键可退出打印。

(5) 实验结束, 将计算机屏幕菜单选至“退出”回车确认后即可退出, 退出后应及时关闭计算机及实验台电控箱电源。

注: 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。

实验四 减速器装拆实验

一、实验目的

熟悉、了解减速器的结构，了解减速器中各零件作用、结构形状及装配关系。加深对轴系部件结构的理解。了解减速器装配的基本要求。

二、实验要求

1. 按正确程序拆开减速器及各轴系，分析减速器结构及各零件功用。
2. 测定减速器的主要参数，绘出传动示意图。
3. 测量减速器传动副的齿侧间隙及接触斑点测量并调整轴承的轴向间隙。

三、实验设备

一级圆柱齿轮减速器，二级展开式圆柱齿轮减速器，圆锥圆柱齿轮减速器，蜗杆减速器等模型和实物。模型供拆装和分析结构用，实物供测量齿侧间隙、接触斑点和轴承间隙用。每个学生可选一种减速器作拆装实验。

工具采用钢板尺，游标卡尺，内外卡钳，百分表及表架，铅丝，涂料（研磨粉）等。

四、实验步骤

1. 开盖前先观察减速器外部形状，判断传动方式、级数、输入输出轴，观察有哪些箱体附件。
2. 拧下箱盖与底座联接螺栓及端盖螺钉，拔除定位销，借助起盖螺钉打开减速器箱盖。
3. 边拆卸边观察，并就箱体形状，轴系定位固定，润滑密封方式，箱体附件（如通气器、游标、油塞、起盖螺钉、定位销等）的结构作用、位置要求和零件材料等进行分析。
4. 画传动示意图，测定减速器的主要参数 α, m, Z_1, Z_2 等，将测得的参数或计算的参数记录于表中，传动示意图中出应标明必要的参数。
5. 小结减速结构设计中如何考虑装拆过程中应注意的问题。
6. 将模型减速器复原，盖好盖。下面应在实物减速器（未上盖，但轴承盖均已盖好）上检验齿侧间隙、接触斑点和轴向间隙。
7. 测量侧隙 j_n （旧标准为 C_n ）的大小。为此在齿轮之间插入一铅片（或铅丝），其厚度稍大于假设的侧隙。转动齿轮，碾压齿轮之间的铅片。铅片变形部分的厚度相当于侧隙大小。用千分尺或游标卡尺测出其厚度大小，检验该减速器是否符合 j_b 标准所规定的侧隙要求。
8. 检查接触斑点。仔细擦净每一个齿轮，在主动轮的 3~4 个齿轮上均匀地涂上一薄层涂料（如红铅油），在轻的制动下，用手转动后确定从动轮轮齿上接触痕迹的分布情况和尺寸。接触痕迹斑点的大小在齿面展开图上用百分比计算。

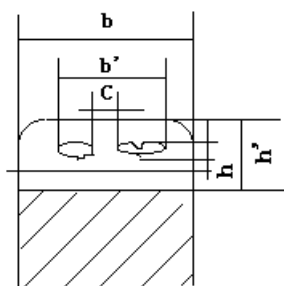
沿齿长方向，接触痕迹的长度（扣除超过模数值的断开部分 C ）与工作长度之比，即

$$\frac{b''-c}{b'} \times 100\%$$

沿齿高方向：接触痕迹的平均高度 h'' 与工作高度 h' 之比，

$$\frac{h''}{h'} \times 100\%$$

检查是否符合 JB 标准中所规定的接触精度要求。



9. 轴承轴向间隙的测定与调整。固定好百分表，用手推动轴至一端，然后再推动它至另一端，百分表所指示的量即轴向间隙的大小。检查是否符合规格要求，如不符合要求，增减轴承盖处垫片组进行调整（对卡入式端盖用调整螺钉或调整环调整轴向间隙）。

二、实验结果

1. 减速器传动示意图

3. 减速器传动参数：

圆柱齿轮减速器（或圆锥齿轮减速器）				蜗杆减速器		
名称	符号					
中心距	a					
模数	m					
压力角	α					
螺旋角	β					
齿轮参数	Z_1					
	Z_2					
分度圆直径	d_1					
	d_2					
变位系数	x_1					
	x_2					
节锥顶距	R					
节锥角	δ_1					
	δ_2					
传动比	i					
总传动比	$i_{\text{总}}$					

注：只填写测绘试验减速器的参数。

装配要求测定

减速器名称		设备编号		
精度等级 (按 JB 规定写出)	高速级齿轮			
	低速级齿轮			
项目		测量值 (mm)	JB 标准规定值 (mm)	是否符合规定
间隙大小	同速级 j_n			

	低速级 j_n			
接触斑点	沿齿长方向%			
	沿齿高方向%			
接触斑点的分布情况及尺寸图（只画一对）	速级齿轮 $\frac{b''-c}{b'} \times 100\%$ $\frac{h''}{h'} \times 100\%$			
轴向间隙	轴号	测量值 (mm)	规范要求值 (mm)	调整后的间隙值 (mm)
	高速级			
	中速级			
	低速级			

（四）实验结果与讨论

附 减速器装拆与分析实验任务书

通过亲手拆装一台减速器，详细了解减速器的构造、功能、机构、零件、材料、毛坯、加工、装配、润滑、密封、运转、维护等。

实验五 轴系结构测绘

一、测绘目的：

熟悉并掌握轴、轴承、轴上零件结构形状与功用，工艺要求，尺寸装配关系以及轴、轴上零件的定位固定方式，为轴系结构设计学习提供感性认识。

二、测绘要求

1. 轴系结构分析

分析和测绘轴系实物（或模型）的结构，明确轴系结构设计需要满足的要求。应了解轴的各部分结构作用，形状尺寸，它与强度、刚度、加工装配的关系，轴上各零件的用途，轴承类型、布置、安装调整方式，轴和轴上零件的定位及轴向固定方法，润滑和密封结构等。

2. 画轴系结构装配图一张

将测量各零件所得的尺寸对照轴系实物，画出轴系结构配图，图纸用方格纸，图幅及比例自定。要求结构合理，装配关系清楚，绘图正确，注明必要的尺寸（如轴承间距、齿距直径与宽度，主要零件的配合尺寸），写标题栏和明细表。

对于因拆卸困难或需专用量具等原因而难以测量的有关尺寸，允许根据实物相对大小和结构关系估算出来，或利用标准查出来。对支承的箱体部分只要画出与轴承和端盖相配的局部。

三、测绘设备

圆柱齿轮轴系，蜗杆轴系，蜗轮轴系，小圆锥齿轮轴系，大圆锥齿轮轴系等。每个学生可任选一种进行分析和测绘。轴系可以是实物或模型，均应包括轴、轴承、轴上零件、端盖、密封件等。

四、思考题

1. 轴为什么做成阶梯形状，那些部位叫做轴颈、轴头、轴身、轴肩，它们尺寸是怎样确定的，轴各段的过渡部位结构应注意什么？

2. 轴系中是否采用了卡圈、挡圈、紧定螺钉、压板、定位套筒等零件，它们的作用是什么，结构形状和特点？

3. 轴承采用什麼类型，它们的布置和安装方式有什麼特点，轴承的销进和固定是什麼结构，如何调整轴承间隙及轴承轴向位置？
4. 轴系采用什麼密封装置，為什麼？
5. 轴上传动件及轴承采用什麼润滑方式，是否在轴承里側采用了挡油环，它们的作用是什麼？
6. 轴系各零件的材料是什麼？（如测绘模型样品，则要求选定各零件的材料）