

机 械 设 计 实 验



东南大学机械工程学院

目 录

实验 1 典型机械运动方案展示与分析及机构运动简图测绘-----	1
实验 2 凸轮轮廓检测与从动件运动规律分析-----	5
实验 3 渐开线直齿圆柱齿轮范成-----	9
实验 4 渐开线直齿圆柱齿轮几何参数测定与分析-----	13
实验 5 回转件动平衡-----	17
实验 6 轴系结构设计与分析-----	21
实验 7 带传动特性-----	25
实验 8 螺栓组联结综合实验-----	29
实验 9 液体动压轴承特性-----	35
实验 10 “慧鱼”机构创意搭接实验-----	40
实验 11 机构运动方案搭接实验-----	41
实验 12 机械传动方案效率测定实验-----	45
实验 13 平面机构组合测试分析实验-----	49
实验 14 典型机械机构认识-----	50
实验 15 创意组合机械系统搭接综合实验-----	51
实验 16 轮系搭接实验-----	51

实验 1 典型机械运动方案展示与分析及机构运动简图测绘

1.1 实验目的

1. 通过对典型机械的分析，了解主动件和从动件的运动型式，主动件与从动件之间的运动传递和变换方式，机构组成及其类型，机构中构件的数目和构件间所组成运动副的数目、类型、相对位置等；
2. 掌握机构运动简图的测绘方法；
3. 针对实物机械，熟练掌握机构自由度的计算；
4. 实验验证机构具有确定运动的条件；
5. 加深对机构组成及其结构分析的理解。

1.2 实验设备和工具

1. 典型实物机械若干台；
2. 量具。

1.3 实验原理和方法

1. 原理

由于机构的运动仅与机构中构件的数目和构件所组成运动副的数目、类型、相对位置有关，因此，在绘制机构运动简图时，可以撇开构件的形状和运动副的具体构造，而用一些简略的符号来代表构件和运动副，并按一定的比例尺表示各运动副的相对位置，以此表示机构的运动特征。

2. 方法

(1) 测绘时使被测绘的机械缓慢地运动，从原动件开始仔细观察机构的运动，分清各个运动单元，从而确定组成机构的构件数目。

(2) 根据相互连接的两构件间的接触情况及相对运动的特点，确定各个运动副的类型。

(3) 在草稿纸上徒手按规定的符号及构件的连接顺序，从原动件开始，逐步画出机构运动简图的草图。用数字 1、2、3、…分别标注各构件，用字母 A、B、C、…分别标注各运动副。

(4) 仔细测量与机构运动有关的尺寸，即转动副间的中心距和移动副某点导路的方位线等，选定原动件的位置，并按下式选择一定的比例尺画出正式的机构运动简图。

$$\text{比例尺 } \mu_l = \frac{\text{实际长度(m)}}{\text{图上长度(mm)}}$$

1.4 实验步骤和要求

1. 对于指定的几种机器或机构，要求其中至少有两种需按比例尺绘制机构运动简图，其余的可凭目测，使图与实物大致成比例，这种不按比例尺绘制的简图通常称为机构示意图。

2. 计算机构自由度，并将结果与实际机构的自由度对照，观察计算结果与实际是否相符。

3. 对上述机构进行结构分析（高副低代、分离杆组、确定杆组和机构级别等）。

1.5 思考题与实验报告

1. 思考题

(1) 通过本实验，阐述机构运动简图的内涵。机构运动简图应准确反映实际机构中的哪些项目？

(2) 绘制机构运动简图时，原动件的位置为什么可以任意选择？会不会影响简图的正确性？

(3) 机构自由度的计算对测绘机构运动简图有何帮助？机构具有确定运动的条件是什么？

(4) 对所测绘的机构能否改进和自主设计及绘制一机构简图？

2. 实验报告基本内容

(1) 填写完成下表内容

实验 1：典型机械运动方案展示与分析及机构运动简图测绘实验报告

学生姓名		学 号		组 别	
实验日期		成 绩		指导教师	
(I) 机构编号		机构名称			
机构运动简图	比例尺 $\mu_l =$	(m/mm)	机构运动尺寸：		
所含杆组					
机构自由度计算	$F =$		机构级别		

(2) 机构编号		机构名称		
机构运动简图	比例尺 $\mu_l =$	(m/mm)	机构运动尺寸:	
所含杆组				
机构自由度计算	$F =$		机构级别	
(3) 机构编号		机构名称		
机构运动简图	比例尺 $\mu_l =$	(m/mm)	机构运动尺寸:	
所含杆组				
机构自由度计算	$F =$		机构级别	

(2) 思考题讨论

(3) 实验心得和建议

实验 2 凸轮机构凸轮轮廓检测与从动件运动规律分析

2.1 实验目的

1. 掌握凸轮轮廓和从动件位移检测原理与方法；
2. 了解凸轮转向的不同对从动件位移规律的影响；
3. 学会运用所学知识简单设计一个工业用凸轮轮廓检测仪。

2.2 实验设备和工具

1. 凸轮轮廓检测仪；
2. 盘形凸轮若干个；
3. 量具；

2.3 实验原理和方法

对于图 2.1 所示滚子接触直动从动件盘形凸轮机构，凸轮转角位置由圆编码器 1 测量，从动件的直线位置通过圆柱、钢带纯滚动传动变换为转角位置，并由圆编码器 2 测量（数显部分已将角度量变换为直线量）。为便于手动驱使凸轮旋转和使凸轮能停于任意位置，增设加一具有自锁性质的蜗杆蜗轮机构，其中蜗轮与凸轮固联为一体，蜗杆轴上装有一手柄，通过手柄的转动，即可实现对凸轮的驱动。

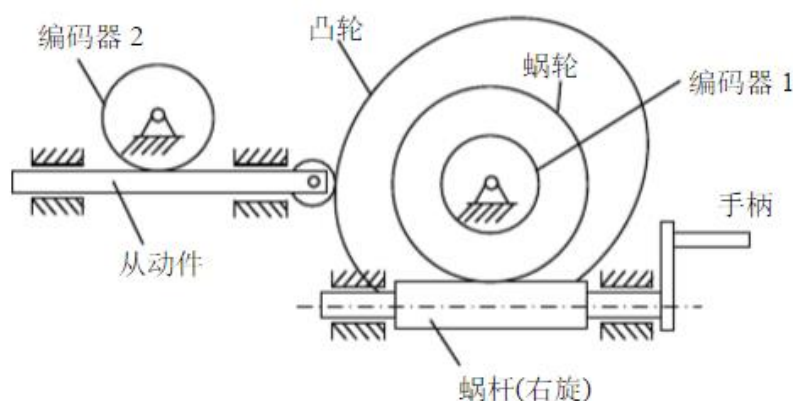


图 2.1 凸轮轮廓检测仪

当通过测量获得偏置距离 e 、滚子半径 r_T 和凸轮轮廓最小半径 r_{\min} 后，如果分别测出凸轮机构一个运动周期内凸轮转角与从动件位置的对应关系，即可确定从动件位移规律和凸轮理论轮廓的极坐标，然后利用滚子半径值获得凸轮实际轮廓。

2.4 实验步骤和要求

1. 测量偏置距离 e 和滚子半径 r_T ；
2. 选一凸轮，测量其轮廓最小半径 r_{\min} ，然后将其安装于凸轮轮廓检测仪的凸轮轴上，并紧固；
3. 转动蜗杆轴上的手柄，观察数显面板上凸轮转角和从动件位置的数据变化，当凸轮转至推程开始位置时，将凸轮转角数据和从动件位置数据置零，即将此机构位置作为凸轮

转角和从动件位置的零位；

4. 从零位开始，顺时针转动手柄并观察凸轮转向，每隔一定角度手工记录一次凸轮转角值和对应的从动件位置值，直至再次回到零位；

5. 根据测量数据手工绘制从动件位移线图，确定推程运动角、远休止角、回程运动角和近休止角，并分析是否存在刚性或柔性冲击；

6. 绘制凸轮理论轮廓图和实际轮廓图，在其上标出推程运动角、远休止角、回程运动角和近休止角；

7. 从零位开始，逆时针转动手柄并观察凸轮转向，重复上述第 4 步至第 6 步；

8. 更换另一凸轮，重新进行上述各步。

2.5 思考题与实验报告

1. 思考题

- (1) 如何通过观察凸轮转角和从动件位置测量数据确定凸轮机构推程开始位置？
- (2) 凸轮不同转向时测得的从动件位移规律是否相同？
- (3) 测量凸轮轮廓时，凸轮不同转向是否会影响所得凸轮轮廓形状？
- (4) 试设计一个工业用凸轮轮廓检测实验台，要求画出原理框图，并附简单的工作原理说明。

2. 实验报告基本内容

- (1) 按凸轮顺时针转动和逆时针转动分别填写完成下表内容

实验 2：凸轮机构凸轮轮廓检测与从动件运动规律分析实验报告

学生姓名		学 号		组 别	
实验日期		成 绩		指导教师	
凸轮编号		偏距 $e =$ mm	滚子半径 $r_T =$ mm	轮廓最小半径 $r_{\min} =$ mm	
凸轮转角和从动件位置数据记录（凸轮转向：_____）					
$\phi(^{\circ})$					
s (mm)					
$\phi(^{\circ})$					
s (mm)					
$\phi(^{\circ})$					
s (mm)					
$\phi(^{\circ})$					
s (mm)					

实验所得凸轮轮廓和从动件位移曲线图形：

凸轮编号		偏距 e=	mm	滚子半径 r _T =	mm	轮廓最小半径 r _{min} =	mm
凸轮转角和从动件位置数据记录（凸轮转向：							

实验所得凸轮轮廓和从动件位移曲线图形：

(2) 思考题讨论

(3) 实验心得和建议

实验3 渐开线直齿圆柱齿轮范成实验

3.1 实验目的

1. 通过实验掌握用范成法制造渐开线齿轮齿廓的基本原理；
2. 了解渐开线齿轮产生根切现象的原因和避免根切的方法；
3. 分析比较标准齿轮和变位齿轮的异同点。

3.2 实验设备和工具

1. 齿轮范成仪；
2. 圆规、三角尺、绘图纸、剪刀、两支不同颜色的铅笔或圆珠笔（学生自备）；

3.3 实验原理和方法

范成法是利用一对齿轮（或齿轮齿条）互相啮合时其共轭齿廓互为包络线的原理来加工轮齿的一种方法。加工时，其中一齿轮（或齿条）为刀具，另一轮为轮坯，二者对滚，同时刀具还沿轮坯的轴向作切削运动，最后轮坯上被加工出来的齿廓就是刀具刀刃在各个位置的包络线，其过程好像一对齿轮（或齿轮齿条）作无齿侧间隙啮合传动一样。为了看清楚齿廓形成的过程，可以用图纸做轮坯。在不考虑切削和让刀运动的情况下，刀具与轮坯对滚时，刀刃在图纸上所印出的各个位置的包络线，就是被加工齿轮的齿廓曲线。

图 3.1 所示齿轮范成仪，圆盘 2（相当于待切齿轮）绕固定于机架 1 上的轴心 O 转动，在圆盘的周缘刻有凹槽，槽内嵌两根钢丝 3，其中心线（图中圆盘 2 上虚线为钢丝 3 的中心线）形成的圆相当于被加工齿轮的分度圆。两根钢丝的一端分别固定在圆盘 2 上 B 、 B' ，另一端分别固定在拖板 4 的 A 、 A' 处，拖板在机架上沿水平方向移动时，钢丝便拖动圆盘转动。这与被加工齿轮相对于齿条刀具的运动相同。

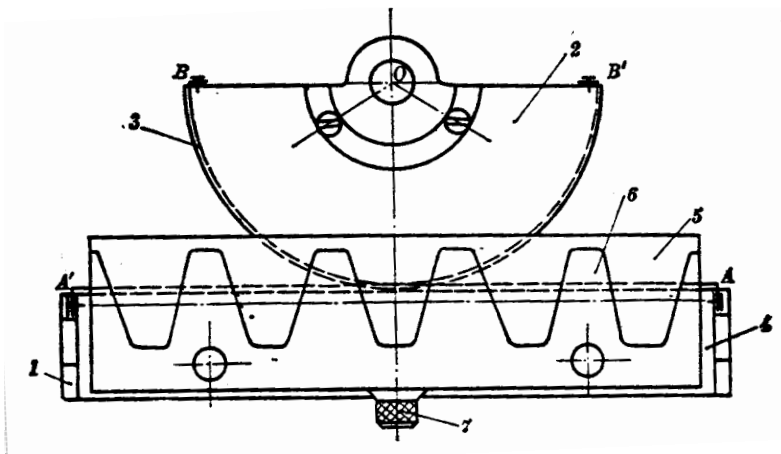


图 3.1 齿轮范成仪

在拖板 4 上还装有带齿条刀具 6 的小拖板 5，转动螺旋 7 可使其相对于拖板 4 垂直移动，从而可调节齿条刀具中线至轮坯中心的距离。

在齿轮范成仪中，已知的齿条刀具参数为：压力角 α ；齿顶高系数 h_a^* ；径向间隙系数

c^* ；模数 m ；被加工齿轮的分度圆直径 $d(=mz)$ 。

3.4 实验步骤和要求

1. 根据已知的刀具参数和被加工齿轮分度圆直径，计算被加工齿轮的基圆、不发生根切的最小变位系数与最小变位量、标准齿轮的齿顶圆与齿根圆直径以及变位齿轮的齿顶圆与齿根圆直径。然后根据计算数据将上述六个圆画在同一张纸上，并沿最大圆的圆周剪成圆形纸片，作为本实验用的“轮坯”。

2. 把“轮坯”安装到范成仪的圆盘上，必须注意对准中心。

3. 调节齿条刀具中线，使其与被加工齿轮分度圆相切。刀具处于切制标准齿轮时的安装位置上。

4. “切制”齿廓时，先把刀具移向一端，使刀具的齿廓退出轮坯中标准齿轮的齿顶圆；然后每当刀具向另一端移动 2~3mm 距离时，描下刀刃在图纸轮坯上的位置，直到形成两个完整的轮齿齿廓曲线为止。此时应注意轮坯上齿廓的形成过程。

5. 观察根切现象（用标准渐开线齿廓检验所绘得的渐开线齿廓或观察刀具的刀顶线是否超过被加工齿轮的极限点）。

6. 重新调整刀具，使刀具中线远离轮坯中心，移动距离为避免根切的最小变位量，再“切制”齿廓。此时也就是刀具刀顶线与变位齿轮的根圆相切。按照上述的操作过程，同样可以“切制”得到两个完整的正变位齿轮的齿廓曲线。为便于比较，此齿廓可用另一种颜色的笔画出。

3.5 思考题与实验报告

1. 思考题

（1）实验得到的标准齿轮齿廓与正变位齿轮齿廓（如图 3.2 所示）形状是否相同？为什么？

（2）通过实验，你所观察到的根切现象发生在基圆之内还是基圆之外？是什么原因引起的？如何避免根切？

（3）比较用同一齿条刀具加工出的标准齿轮和正变位齿轮的以下参数尺寸： m 、 α 、 r 、 r_b 、 h_a 、 h_f 、 h 、 p 、 s 、 s_a ，其中哪些变了？哪些没有变？为什么？

（4）通过实验对范成齿廓和变位齿廓的创意有何体会？

2. 实验报告基本内容

（1）填写完成下表内容

实验 3：渐开线直齿圆柱齿轮范成实验报告

学生姓名		学 号		组 别	
实验日期		成 绩		指导教师	
原始数据	齿条：模数 $m =$ mm；压力角 $\alpha =$ ； 齿顶高系数 $h_a^* =$ ； 径向间隙系数 $c^* =$ 。			被加工齿轮： 分度圆半径 $r =$ mm。	

齿轮几何尺寸计算

名 称	符 号	计算公式	计算结果	
			标准齿轮	变位齿轮
齿数	z	$z = 2r / m$		
最小变位系数	x_{\min}	$x = h_a^* \frac{z_{\min} - z}{z_{\min}}$		
基圆半径	r_b	$r_b = r \cos \alpha$		
齿顶圆半径	r_a	$r_a = r + h_a^* m + xm$		
齿根圆半径	r_f	$r_f = r - (h_a^* + c^*)m + xm$		
齿顶高				
齿根高				
分度圆齿厚				
分度圆齿间距				

(2) 思考题讨论

(3) 实验心得和建议

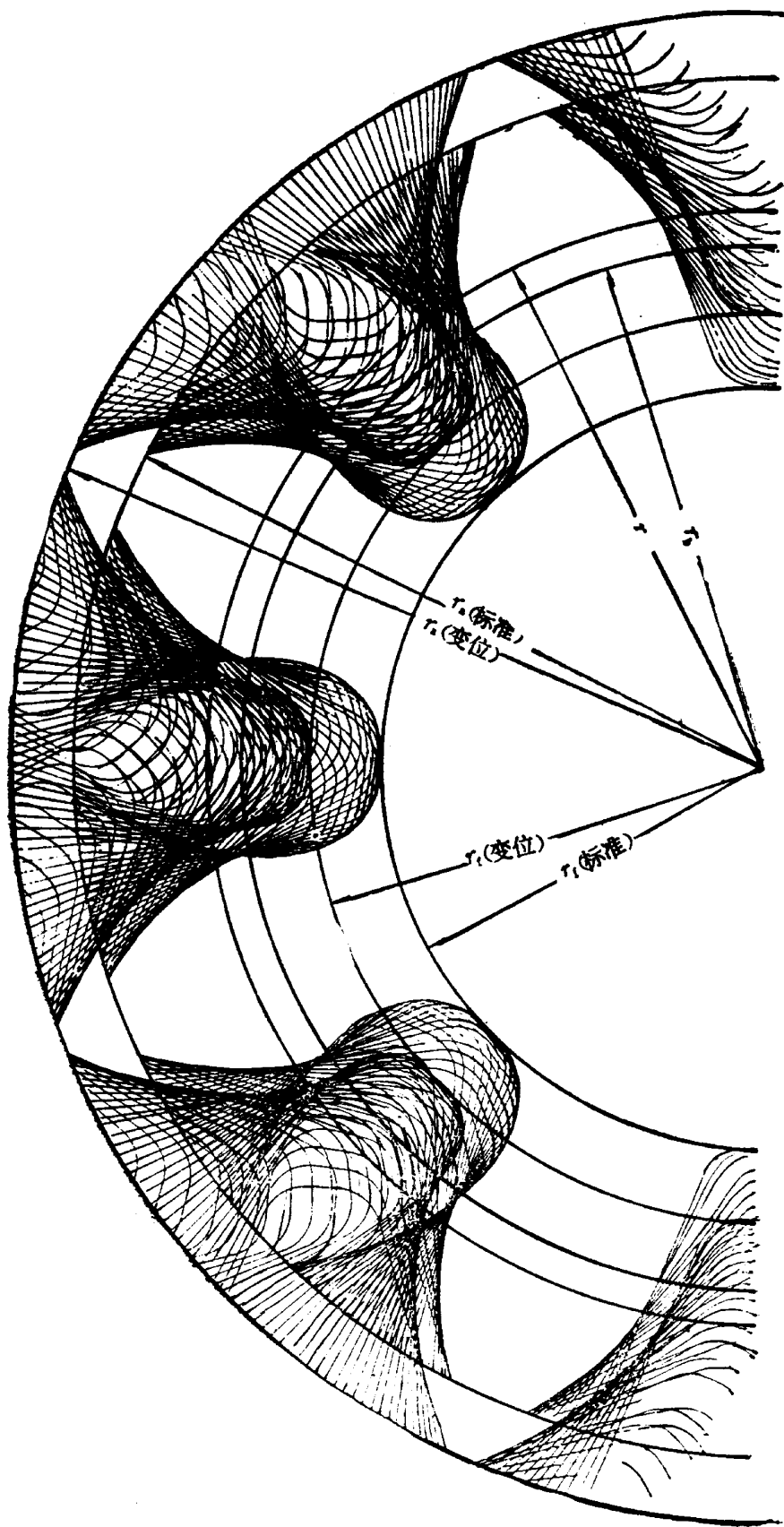


图 3.2 标准齿轮齿廓和正变位齿轮齿廓

实验4 渐开线直齿圆柱齿轮几何参数测定与分析实验

4.1 实验目的

1. 掌握运用游标卡尺测定渐开线直齿圆柱齿轮基本参数的方法；
2. 通过测量和计算，熟练掌握齿轮各参数之间的相互关系和渐开线性质。

4.2 实验设备和工具

1. 一对齿轮（齿数为奇数和偶数的各一个）；
2. 游标卡尺（游标读数值不大于 0.05mm）；
3. 渐开线函数表、计算工具（学生自备）。

4.3 实验原理和方法

单个渐开线直齿圆柱齿轮的基本参数有：齿数 z 、模数 m 、压力角 α 、齿顶高系数 h_a^* 、顶隙系数 c^* 、变位系数 x ；一对渐开线直齿圆柱齿轮啮合的基本参数有：啮合角 α' 、中心距 a 。

本实验用游标卡尺来测量轮齿，并通过计算得出一对直齿圆柱齿轮的基本参数。其原理如下：

1. 确定齿轮的模数和压力角

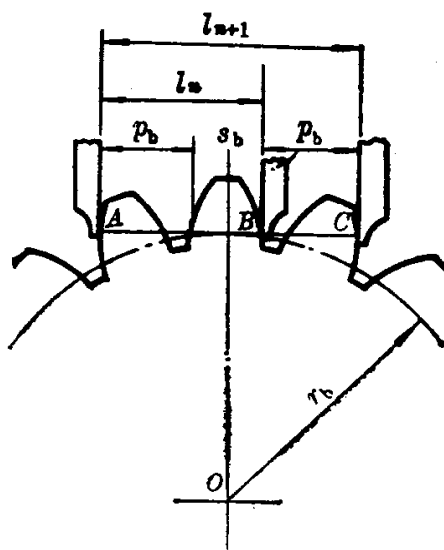


图 4.1 齿轮公法线长度的测量

标准直齿圆柱齿轮公法线长度的计算如下：如图 4.1 所示，若卡尺跨 n 个齿，其公法线长度为

$$l_n = (n-1)p_b + s_b$$

同理，若卡尺跨 $n+1$ 个齿，其公法线长度则应为

$$l_{n+1} = np_b + s_b$$

所以
$$l_{n+1} - l_n = p_b \quad (4.1)$$

又因 $p_b = p \cos \alpha = \pi m \cos \alpha$

所以
$$m = \frac{p_b}{\pi \cos \alpha} \quad (4.2)$$

式中 p_b 为齿轮基圆齿距，它由测量得到的公法线长度 l_n 和 l_{n+1} 代入式(4.1)求得。 α 可能是 15° ，也可能是 20° ，故分别用 15° 和 20° 代入式(4.2)算出模数，取模数最接近标准值的一组 m 和 α ，即为所求齿轮的模数和压力角。

为了使卡尺的两个卡脚能保证与齿廓的渐开线部分相切，所需的跨齿数 n 按下式计算

$$n = \frac{\alpha}{180} z + 0.5 \quad (4.3)$$

或直接由表 4.1 查出。

表 4.1 跨齿数

z	12~18	19~27	28~36	37~45	46~54	55~63	64~72
n	2	3	4	5	6	7	8

2. 确定齿轮的变位系数

根据齿轮的齿厚公式

$$s_b = s \cos \alpha + 2r_b \operatorname{inv} \alpha = m(\pi/2 + 2x \operatorname{tg} \alpha) \cos \alpha + 2r_b \operatorname{inv} \alpha$$

得
$$x = \frac{\frac{s_b}{m \cos \alpha} - \frac{\pi}{2} - z \operatorname{inv} \alpha}{2 \operatorname{tg} \alpha} \quad (4.4)$$

式中 s_b 可由以上公法线长度公式求得，即

$$s_b = l_{n+1} - np_b \quad (4.5)$$

将式(4.5)代入式(4.4)即可求出变位系数 x 。

3. 确定齿轮的齿顶高系数和顶隙系数

根据齿轮齿根高的计算公式

$$h_f = \frac{mz - d_f}{2} \quad (4.6)$$

又
$$h_f = m(h_a^* + c^* - x) \quad (4.6a)$$

式(4.6)中齿根圆直径 d_f 可用游标卡尺测定，因此可求出齿根高 h_f 。在式(4.6a)中仅 h_a^* 和 c^* 未知，由于不同齿制的 h_a^* 和 c^* 均为已知标准值，故分别用正常齿制 $h_a^* = 1$ 、 $c^* = 0.25$ 和短齿制 $h_a^* = 0.8$ 、 $c^* = 0.3$ 两组标准值代入，符合式(4.6a)的一组即为所求的值。

4. 确定一对互相啮合的齿轮的啮合角和中心距

一对互相啮合的齿轮,用上述方法分别确定其模数 m 、压力角 α 和变位系数 x_1 、 x_2 后,可用下式计算啮合角 α' 和中心距 a' :

$$\operatorname{inv} \alpha' = \frac{2(x_1 + x_2)}{z_1 + z_2} \operatorname{tg} \alpha + \operatorname{inv} \alpha \quad (4.7)$$

$$a' = \frac{m}{2} (z_1 + z_2) \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha'} \quad (4.8)$$

实验时,可用游标卡尺直接测定这对齿轮的中心距 a' ,测定方法如图4.2所示。首先使该对齿轮作无齿侧间隙啮合,然后分别测量齿轮的孔径 d_{k1} 、 d_{k2} 及尺寸 b ,由此得

$$a' = b + (d_{k1} + d_{k2}) / 2 \quad (4.9)$$

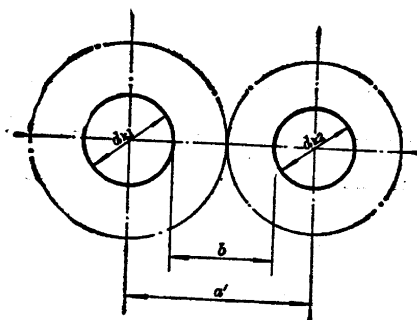


图 4.2 中心距的测量

4.4 实验步骤和要求

1. 数出齿轮的齿数 z 。
2. 由式(4.3)计算或查表确定跨齿数 n 。
3. 测量公法线长度 l_n 和 l_{n+1} 及齿根圆直径 d_f 、中心距 a' ,读数精度至0.01mm。注意,每个尺寸应测量三次,记入实验报告附表,取其平均值作为测量结果。
4. 逐个计算齿轮的参数,记入实验报告附表。最后将计算的中心距与实测中心距进行比较。

4.5 思考题与实验报告

1. 思考题

- (1) 通过两个齿轮的参数测定,试判别该对齿轮能否互相啮合。如能,则进一步判别其传动类型是什么?
- (2) 在测量齿根圆直径 d_f 时,对齿数为偶数和奇数的齿轮在测量方法上有何不同?
- (3) 公法线长度的测量是根据渐开线的什么性质?
- (4) 如何分析跨齿数 n 的计算公式(4.3)?

2. 实验报告基本内容

(1) 填写完成下表内容

实验 4：渐开线直齿圆柱齿轮几何参数测定与分析实验报告

学生姓名				学 号				组 别			
实验日期				成 绩				指导教师			
齿轮编号											
测 量 数 据	齿数 z										
	跨齿数 n										
	测量次数	1	2	3	平均值	1	2	3	平均值		
	n 齿公法线长度 l_n										
	$n+1$ 齿公法线长度 l_{n+1}										
	孔径 d_k										
	尺寸 b										
	中心距 a'										
计 算 数 据	基圆齿距 p_b										
	模数 m										
	压力角 α										
	齿顶高系数 h_a^*										
	顶隙系数 c^*										
	基圆齿厚 s_b										
	分度圆直径 d										
	变位系数 x										
	啮合角 α'										
	中心距 a										
	中心距相对误差										

(2) 思考题讨论

(3) 实验心得和建议

实验 5 回转件动平衡实验

5.1 实验目的

1. 巩固和验证刚性回转件动平衡理论和方法；
2. 掌握动平衡实验台的工作原理和操作方法；
3. 掌握平衡精度的基本概念；
4. 了解动平衡测量仪的工作原理。

5.2 实验设备和工具

1. 通用电测回转件动平衡机；
2. 试件（在校正平面上具有校正孔的转子）；
3. 平衡质量（与校正孔相应的螺钉、螺母和垫圈）；
4. 活动扳手。

5.3 实验原理和方法

质量分布不在同一回转面的回转构件，其不平衡都可以认为是在两个任选回转面内，由矢量半径分别为 r_0' 和 r_0'' 的两个不平衡质量 m_0' 和 m_0'' 产生。因此，只需针对 m_0' 和 m_0'' 进行平衡就可以达到回转构件平衡的目的。本实验就是使用电测回转件动平衡机，分别测定所选平衡校正面内相应的不平衡质径积 $m_0' r_0'$ 和 $m_0'' r_0''$ 的大小和相位，并加以校正，最后达到所要求的动平衡。

通用电测回转件动平衡机适用面广，能对各种不同机械结构的回转件进行动平衡测量，同时也能用于现场动平衡。其工作原理如下：

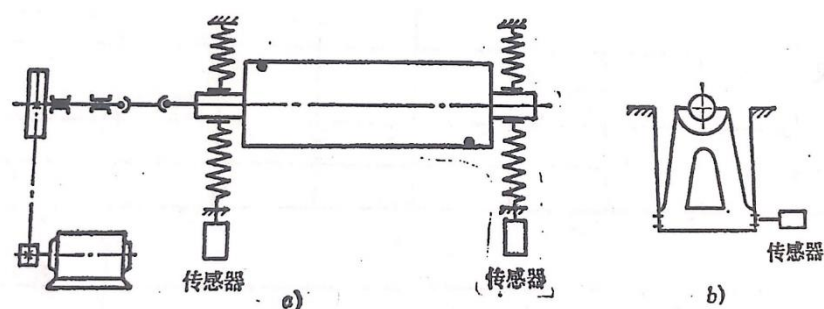


图 5.1 通用电测回转件动平衡机的结构组成

如图 5.1 所示，动平衡机主要由机架、试件架、驱动机构和测量系统四部分组成。试件架通过一对弹性构件悬挂（或支撑）在机架上，能在垂直于试件转动轴线的水平方向自由摆动。实验时试件的两个轴颈安放在试件架上的两个滚动轴承上，通过联轴器、传动带由电机驱动做自由转动。此时试件的不平衡质径积所产生的离心惯性力就迫使试件架往复摆动。传感器（磁电式）直接安装在试件架上，当试件架往复摆动时，传感器就输出一周期性信号，此信号送入测量系统进行测量。

动平衡机的电路结构框图如图 5.2 所示。由磁电式速度传感器获得的振动信号经放大、

积分后转换成振动位移信号，再经跟踪滤波器滤波后，去掉干扰信号，取出振动信号。经放大、检波后输出给模拟表头指示出振幅。振动信号经放大整形后输入到单片机的一个接口，而基准信号通过整形电路后输入到单片机的另一个接口，单片机通过比较基准信号与振动信号之间的相位差，来确定不平衡所在的相位，然后通过软件送出不平衡量的相位值，用数码管显示出来。

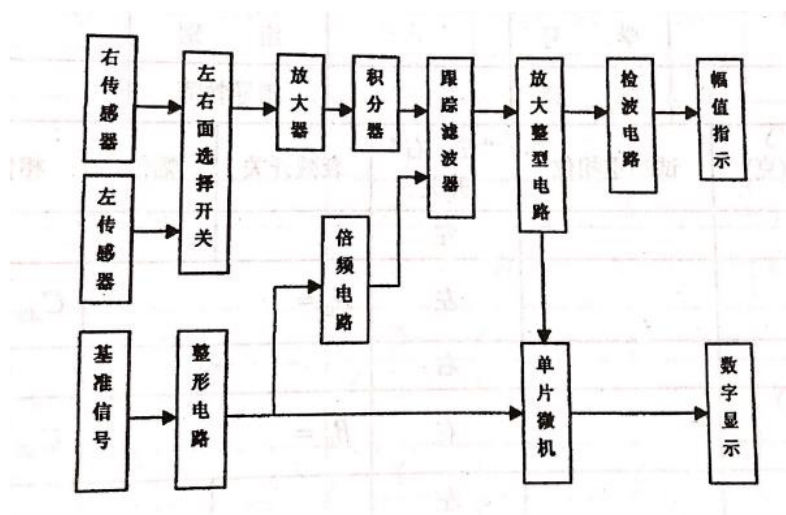


图 5.2 动平衡机的电路结构框图

5.4 实验原理和方法

1. 左右输入信号插入插孔，接上基准信号，“转速、相位”开关放在相位一边，共测量三次，第一次不加重，第二次加左面，第三次加右面。

2. 启动电机，“左、右”开关放在左，记录下左面振幅和相位值；“左、右”开关放在右，记录下右面振幅和相位值；关闭电机。

3. 左面加一已知重量，记录下重量和安装相位角；启动电机，启动电机，“左、右”开关放在左，记录下左面振幅和相位值；“左、右”开关放在右，记录下右面振幅和相位值；关闭电机。

4. 把左面所夹试重拿下，右面加一已知重量，记录下重量和安装相位角；启动电机，启动电机，“左、右”开关放在左，记录下左面振幅和相位值；“左、右”开关放在右，记录下右面振幅和相位值；关闭电机。

记录下计算机解算软件所需要的数据，填入实验报告中的记录表格即可。表中各栏为计算机软件所需要数据，当运行解算软件时，计算机给出所需符号及数据格式，让你填入。当数据添加完毕后，加重量位置的不平衡量大小 G_1 （左）、 G_2 （右）及相位 C_1 （左）、 C_2 （右）数据会自动解算出来。

5.5 思考题与实验报告

1. 思考题

（1）哪些类型的试件需要进行动平衡试验？试验的理论依据是什么？试件经动平衡后

是否还需要进行静平衡？

(2) 指出影响动平衡精度的一些因素。

2. 实验报告基本内容

实验 5：回转件动平衡实验报告

回转件平衡加重前的实验数据

学生姓名			学号		组别		
实验日期			成绩		指导教师		
	试加重 (克)	试加重相位	“左、右” 开关	衰减开关	幅值	相位（度）	
第一次			左				
			左	$A_0=$			$C_{A0}=$
第一次			右				
			右	$B_0=$			$C_{B0}=$
第二次			左				
	$P_1=$ 克	$C_{P1}=$	左	$A_1=$			$C_{A1}=$
第二次			右				
	$P_1=$ 克	$C_{P1}=$	右	$B_1=$			$C_{B1}=$
第三次			左				
	$P_2=$ 克	$C_{P2}=$	左	$A_2=$			$C_{A2}=$
第三次			右				
	$P_2=$ 克	$C_{P2}=$	右	$B_2=$			$C_{B2}=$
结果			左	$G_1=$			$C_1=$
			右	$G_2=$			$C_2=$

回转件平衡加重后的实验数据

学生姓名		学号		组别		
实验日期		成绩		指导教师		
	试加重 (克)	试加重相位	“左、右” 开关	衰减开关	幅值	相位 (度)
第一次			左			
			左	$A_0=$		$C_{A0}=$
第一次			右			
			右	$B_0=$		$C_{B0}=$
第二次			左			
	$P_I=$ 克	$C_{PI}=$	左	$A_I=$		$C_{AI}=$
第二次			右			
	$P_I=$ 克	$C_{PI}=$	右	$B_I=$		$C_{BI}=$
第三次			左			
	$P_2=$ 克	$C_{P2}=$	左	$A_2=$		$C_{A2}=$
第三次			右			
	$P_2=$ 克	$C_{P2}=$	右	$B_2=$		$C_{B2}=$
结果			左	$G_I=$		$C_I=$
			右	$G_2=$		$C_2=$

(2) 思考题讨论

(3) 实验心得和建议

实验6 轴系结构设计与分析实验

6.1 实验目的

1. 熟悉并掌握轴、轴上零件的结构形状及功用、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、安装及调整方法，以及润滑和密封方法。

6.2 实验设备和工具

1. 轴系结构设计与分析实验箱；
2. 测量与绘图工具：300 毫米钢板尺、游标卡尺、内外卡钳、铅笔、三角板等。

6.3 实验内容和要求

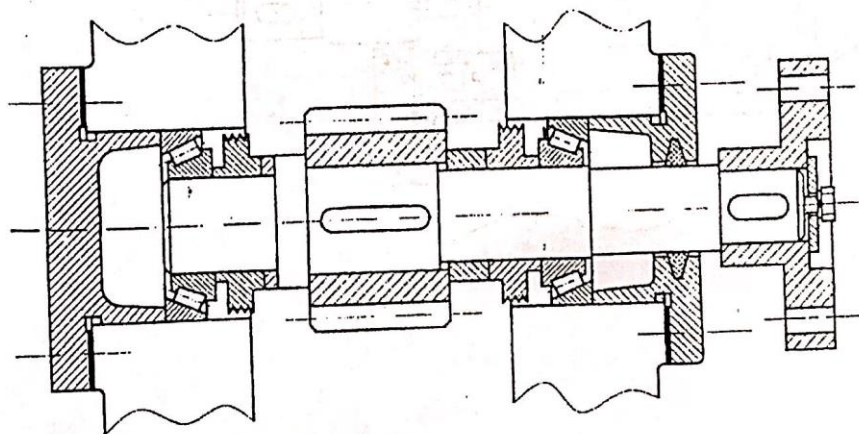
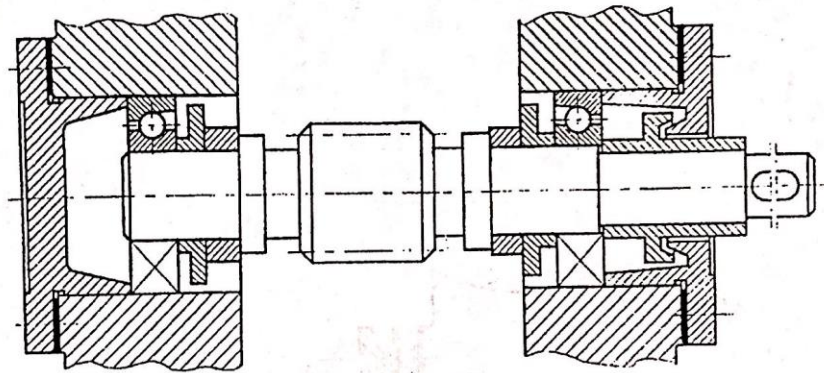
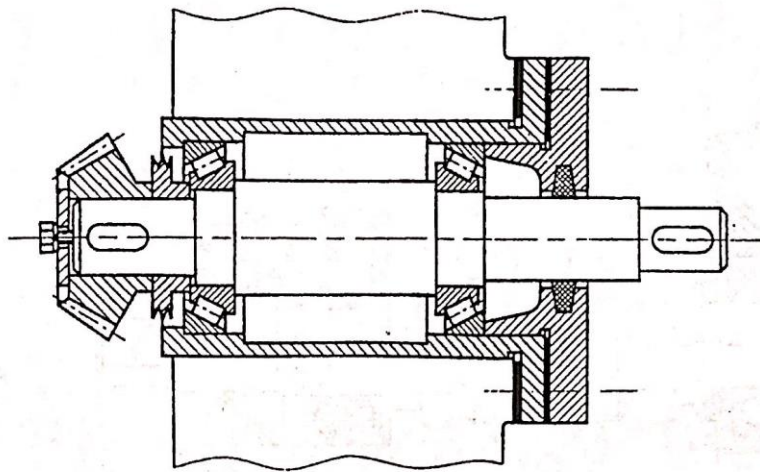
1. 根据要求确定实验内容（圆柱齿轮轴系、小圆锥齿轮轴系或蜗杆轴系分析）。
2. 分析并测绘轴系部件，画出轴系装配图。

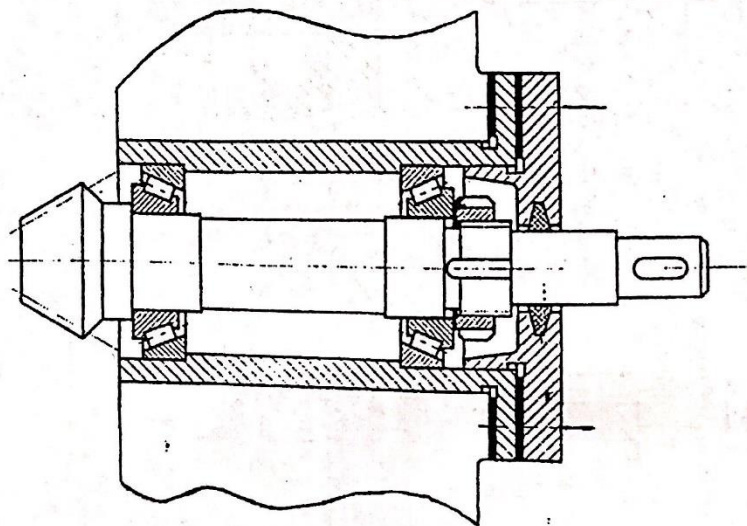
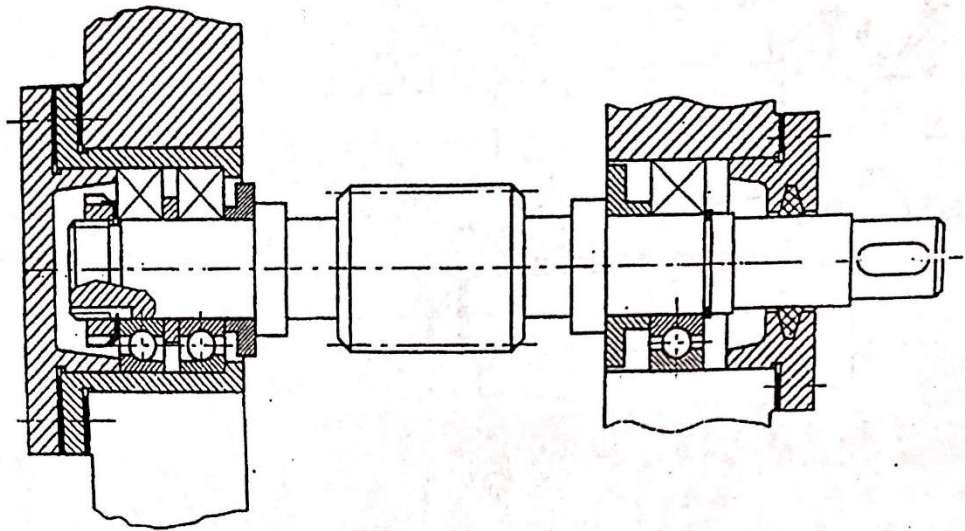
6.4 实验步骤

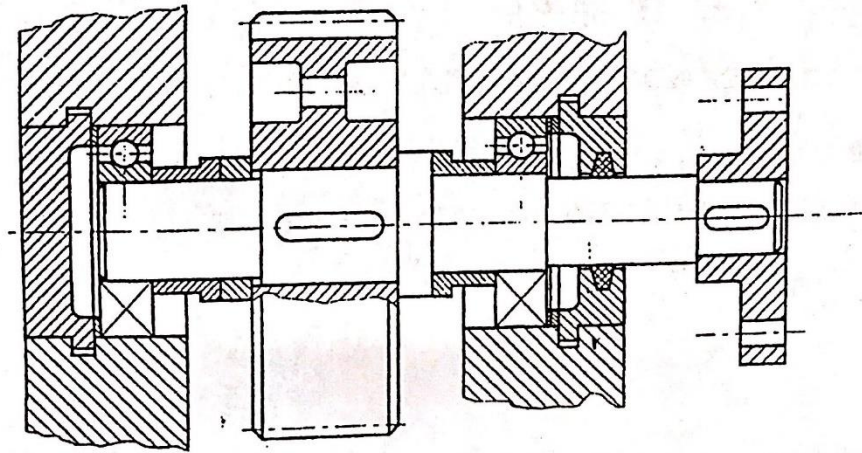
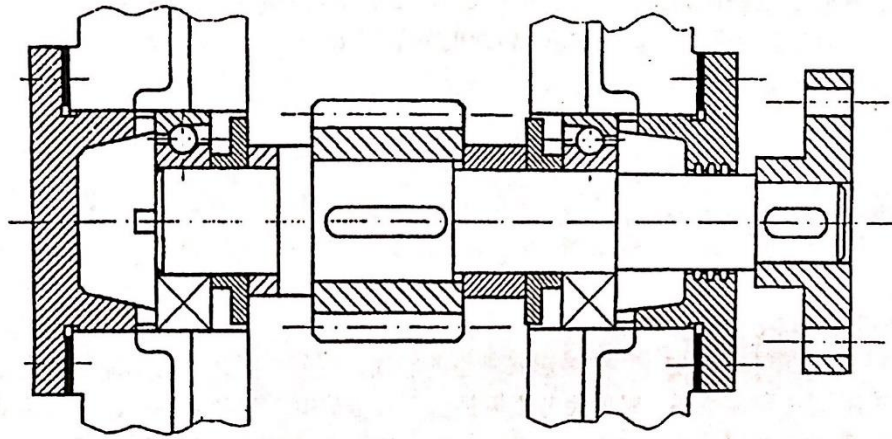
1. 明确实验内容，复习轴的结构设计及轴承组合设计等内容；
2. 观察与分析轴承的结构特点；
3. 绘制轴系装配图或结构草图；
4. 测量轴系主要装配尺寸（如轴承跨距）和零件主要结构尺寸（支座不用测量）；
5. 将装配后的轴系部件回复原状，整理实验箱。

实验6：轴系结构设计与分析实验报告

学生姓名		学号		组别						
同组者		实验日期		成绩						
实验内容	轴系类型									
	模型编号									
实验结果										
<p>1. 按比例画出轴系装配图（另附）</p> <p>要求标注下列尺寸</p> <p>（1）支承跨距；</p> <p>（2）轴和轴上零件周向固定位置尺寸；</p> <p>（3）零件在轴上轴向固定位置尺寸；</p> <p>（4）轴上零件的定位尺寸。</p> <p>2. 简要说明轴上零件定位固定、滚动轴承安装、调整、润滑与密封等问题。</p>										







实验7 带传动特性实验

7.1 实验目的

1. 了解、观察带传动中的弹性滑动现象、打滑现象以及它们与带传动的载荷之间的关系；
2. 测定弹性滑动率与所传递的载荷和带传动效率之间的关系，绘制带传动的弹性滑动率曲线和效率曲线；
3. 了解带传动实验台的结构、设计原理，掌握扭矩、转速的测量方法。

7.2 实验设备和工具

1. 皮带传动实验台；
2. 计算工具（学生自备）。

7.3 实验原理和方法

1. 带传动的弹性滑动和传动效率

带传动是靠摩擦力作用而工作的，其主要的失效形式是带的磨损、疲劳损坏和打滑。带的磨损是由于带与带轮之间的相对滑动引起的，是不可避免的；带的疲劳损坏是由于带传动中交变应力引起，与带传动的载荷大小、运行时间、工作状况、带轮直径等有关，它也是不可避免的；带的打滑是由于载荷超过带的传动能力而产生，是可以避免的。

由于带在传动的运动过程中，紧边和松边拉力的不同，使得带在紧边的弹性变形大于松边的弹性变形。在带绕过带轮时，由于摩擦力的存在，在主动轮上出现轮的线速度大于带的线速度，在从动轮上出现轮的线速度小于带的线速度的现象，这种现象称为带的弹性滑动。

弹性滑动是带传动主、从动轮产生速度差的主要原因，是带传动效率降低以及带磨损的主要原因，也是带传动的主要特点。

弹性滑动通常以弹性滑动率来衡量，其定义为

$$\varepsilon = \frac{v_1 - v_2}{v_1} = \frac{n_1 D_1 - n_2 D_2}{n_1 D_1}$$

这里 v_1 、 v_2 分别为主、从动轮的线速度； n_1 、 n_2 分别为主、从动轮的转速； D_1 、 D_2 分别为主、从动轮的直径。

一般带传动的弹性滑动率为（1-2）%。

带的传动效率是指从动轮输出功率 P_2 与主动轮输出功率 P_1 的比值，即

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{M_2 n_2}{M_1 n_1}$$

式中， M_1 、 M_2 分别为主、从动轮的转矩。

2. 实验原理

由于弹性滑动率 ε 之值与打滑现象的出现以及带传动的效率 η 都与带传递的载荷的大小有密切关系，本实验台用灯泡做负载。实验台由主机和测量系统两大部分组成，如图 7.1 所示。

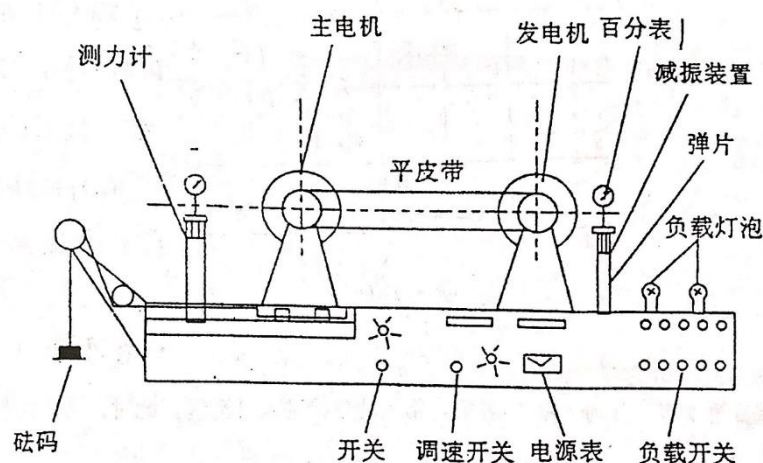


图 7.1 皮带传动实验台

主机是一个装有平皮带的传动装置。主电机是直流电动机，装在滑座上，可沿滑座滑动。电机轴上装有主动轮，通过平皮带的陪你过从动轮，从动轮装在自流发电机的轴上。在直流发电机的输出电路上，并联了八个灯泡，每个 40 瓦，作为带传动的加载装置。砝码通过钢丝绳、定滑轮拉紧滑座，从而使带轮张紧，并保证一定的初拉力。开启灯泡，以改变发电机的负载电阻，随着开启灯泡的增多，发电机的负载增大，带的受力增大，两边的拉力差也增大，带的弹性滑动逐步增加。当带传递的载荷刚好达到所能传递的最大有效圆周力时，带开始打滑，当负载继续增加时，则完全打滑。

测量系统由电转速测定装置和电机的测扭矩装置两部分组成。带轮转动时，主动轮和从动轮的转速可在数码管上直接读出。主动轮的扭矩 T_1 和从动轮的扭矩 T_2 均通过电机外壳来测定，即分别通过固定在定子外壳上的测力计所得的力矩来平衡。即：

$$\text{主动轮的扭矩 } T_1 = Q_1 K_1 L_1 \quad (\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$\text{从动轮的扭矩 } T_2 = Q_2 K_2 L_2 \quad (\text{N} \cdot \text{mm})$$

式中 Q_1, Q_2 —测力计上百分比的读数

K_1, K_2 —测力计标定值， $K_1=0.22, K_2=0.22$

L_1, L_2 —测力计的力臂， $L_1=L_2=120\text{mm}$ 。

$$\text{带传动的效率 } \eta = \frac{N_2}{N_1} = \frac{T_2 n_2}{T_1 n_1}$$

我们只要测得不同负载下主动轮的转速 n_1 和从动轮的转速 n_2 以及主动轮的扭矩 T_1 和从动轮的扭矩 T_2 ，就可以算出在不同的拉力 F 下的弹性滑动率 ε ，以及效率 η 之值。画出弹性滑动率曲线和效率曲线，如 7.2 所示。

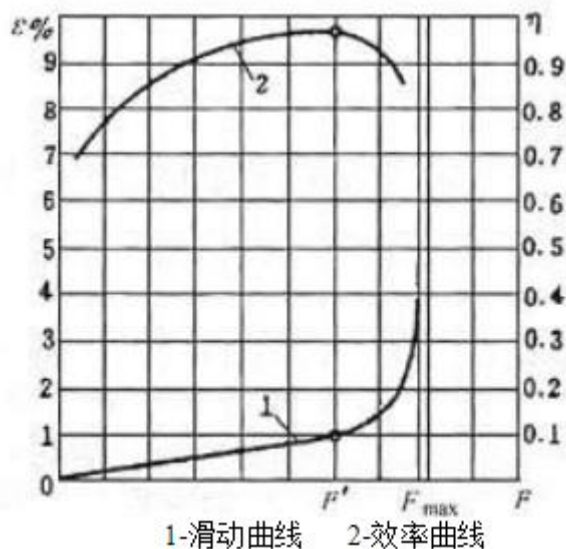


图 7.2 带传动的滑动率曲线和效率曲线

7.4 实验步骤和要求

1. 接通电源，实验台的指示灯亮，检查测力计的测力杆是否处于平衡状态，若不平衡，则调整到平衡；
2. 加砝码 3KG，使带具有初始张紧力；
3. 慢慢沿顺时针方向旋转调速旋钮，使电机从开始运转逐渐加速到 $n_1=1100$ 转/分左右，记录 n_2 ， Q_1 ， Q_2 一组数据；
4. 打开一个灯泡（即加载），记录 n_1 ， n_2 ， Q_1 和 Q_2 一组数据，注意此时 n_1 和 n_2 间的差值，即观察带的弹性滑动现象；
5. 逐渐增加负载，重复第 4 步，直至 $\varepsilon \geq 3\%$ 左右，带传动开始进入打滑区。此时，若继续打开灯泡，则 n_1 和 n_2 之间的差值迅速增大；
6. 改变带传动初始张力的大小，重复步骤 3、4、5，记录相关数据；
7. 计算相关参数，绘制弹性滑动率曲线和效率曲线，完成实验报告。
8. 实验台相关参数：

带轮直径 $D_1=D_2=120\text{mm}$

测力杆长度 $L_1=L_2=120\text{mm}$

百分表精度 0.01mm，测量范围 0-10mm

发电机负载 0、40W、80W、120W、160、200W、240W、280W、320W 九档可

调。

7.5 思考题与实验报告

1. 思考题

(1) 带传动的效率与哪些因素有关？为什么？

(2) 带的滑动率与哪些因素有关？为什么？

2. 实验数据

实验 7：带传动特性实验报告

带初始张紧力： Kg

序号	n_1	n_2	Q_1	Q_2	T_1	T_2	P_1	P_2	ε	η
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										

(2) 思考题讨论

(3) 实验心得和建议

实验8 螺栓组联接综合实验

8.1 实验目的

1. 测试螺栓组联接在翻转力矩作用下各螺栓所受的载荷；
2. 通过实验，加强对螺栓组联接受力分析的认识；
3. 初步掌握电阻应变仪的工作原理和使用方法。

8.2 实验设备及工具

1. 多功能螺栓组联接综合实验台；
2. 静态电阻应变仪；
3. 其它仪器工具：螺丝刀、扳手。

8.3 实验台结构及工作原理

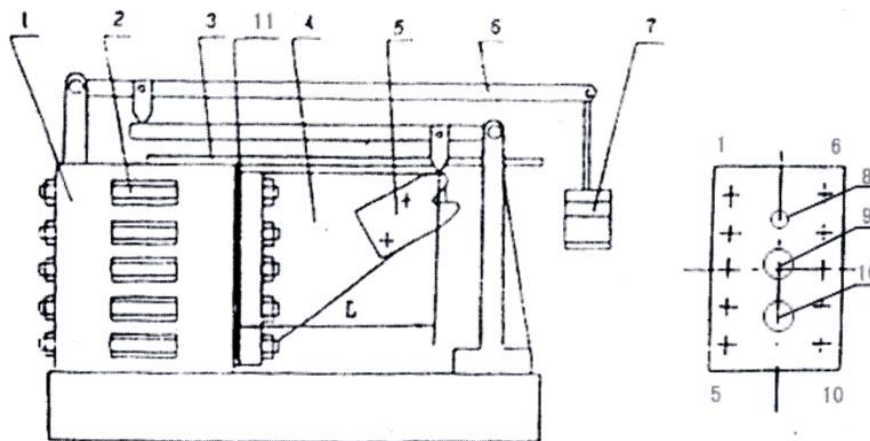


图 8.1 多功能螺栓组联接实验台结构

1. 机座 2. 测试螺栓 3. 测试梁 4. 托架 5. 测试齿块 6. 杠杆系统 7. 砝码
8. 齿板接线柱 9. 螺栓 1—5 接线柱 10. 螺栓 6—10 接线柱 11. 垫片

多功能螺栓组联接实验台结构如图 8.1 所示，被联接件机座 1 和托架 4 被双排共 10 个螺栓 2 联接，联接面间加入垫片 11(硬橡胶板)，砝码 7 的重力通过双级杠杆加载系统 6(1:75)增力作用到托架 4 上，托架受到翻转力矩的作用，螺栓组联接受横向载荷和倾覆力矩联合作用，各个螺栓所受轴向力不同，它们的轴向变形也就不同。在各个螺栓上贴有电阻应变片，可在螺栓中段测试部位的任一侧贴一片，或在对称的两侧各贴一片，如图 8.2 所示。各个螺栓的受力可通过贴在其上的电阻应变片的变形，用电阻应变仪测得。

实验台主要技术参数：

1. 联接螺栓中段直径 $\Phi 6.5\text{mm}$ ，两端螺纹 M10，螺栓材料 40Gr，其弹性模量 $E=206\text{GPa}$ ；
2. 加载杠杆比：1:75；
3. 托架悬臂长 $L=214\text{mm}$ ；
4. 砝码：共 3 块（两块 1Kg，一块 0.5Kg）

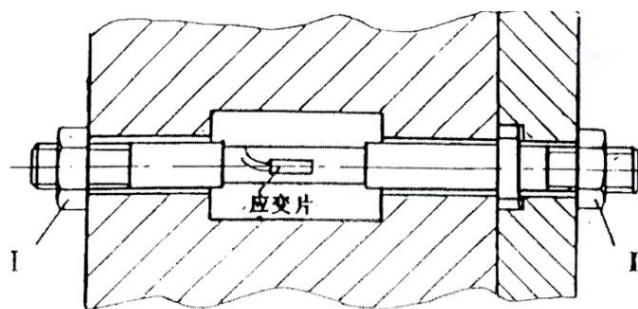


图 8.2 螺栓安装及贴片图

静态电阻应变仪的工作原理如图 8.3 所示，主要由：测量桥、桥压、滤波器、A/D 转换器、MCU、键盘、显示屏组成。测量方法：由 DC2.5V 高精度稳定桥压供电，通过高精度放大器，把测量桥桥臂压差(μV 信号)放大，后经过数字滤波器，滤去杂波信号，通过 24 位 A/D 模数转换送入 MCU(即 CPU)处理，调零点方式采用计算机内部自动调零。送显示屏显示测量数据，同时配有 RS232 通讯口，可以与计算机通讯。

$$\nabla U_{BD} = \frac{E}{4K} \varepsilon$$

式中： ∇U_{BD} ——工作片平衡电压差；

E ——电阻应变系数；

ε ——应变值。

当工作电阻片由于螺栓受力变形，长度变化 ∇L 时，其电阻也要变化 ∇R ，并且 $\frac{\nabla R}{R}$ 正比于 $\frac{\nabla L}{L}$ ， ∇R 使测量桥失去平衡。通过应变仪测量出 ∇U_{BD} 的变化，测量出螺栓的应变值。电阻应变仪的工作原理如图 8-3 所示，主要有测量桥、读数桥、毫安表等。工作电阻应变片和补偿电阻应变片分别接入电阻应变仪测量桥的一个臂，当工作电阻片由于螺栓受力变形，长度变化 ∇l 时，其电阻值也要变化 ∇R ，并且 $\frac{\nabla R}{R}$ ，正比于 $\frac{\nabla l}{l}$ ； ∇R 使测量桥失去平衡，使毫安表恢复零点，读出读数桥的调节量，及为被测螺栓的应变值。

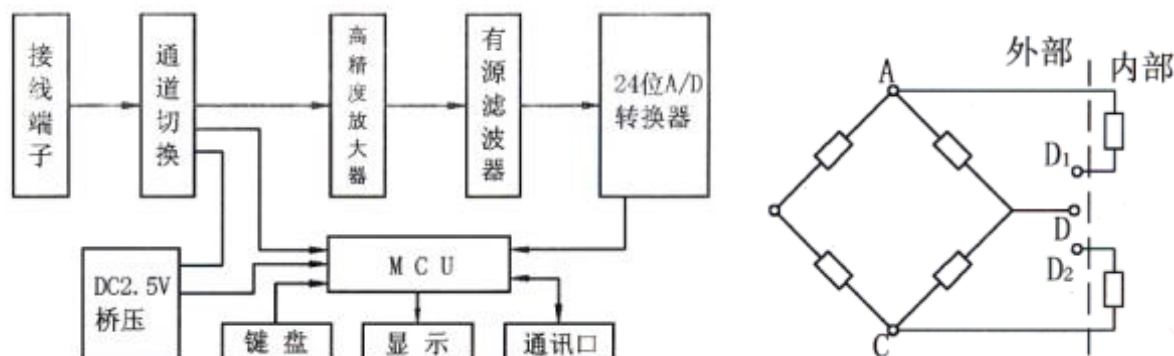


图 8.3 静态应变仪系统组成

多功能螺栓组联接实验台的托架 4 上还安装有一测试齿块 5，它是用来做齿根应力测试实验的；机座 1 上还固定有一测试梁 3(等强度悬臂梁)，它是用来做梁的应力测试实验的。测试齿块 5 与测试梁 2 与本实验无关，在做本实验前应将测试齿块 5 固定螺钉拧松。

8.4 实验方法与步骤

1. 实验方法:

(1) 仪器连线

用导线从实验台的接线柱上把各螺栓的应变片引出端及补偿片的连线联接到电阻应变仪上。采用半桥测量的方法:如每个螺栓上只贴一个应变片,其连线如图 8.4 所示;如每个螺栓上对称两侧各贴两个应变片,其连线如图 8.5 所示。后者可消除螺栓偏心受力的影响。

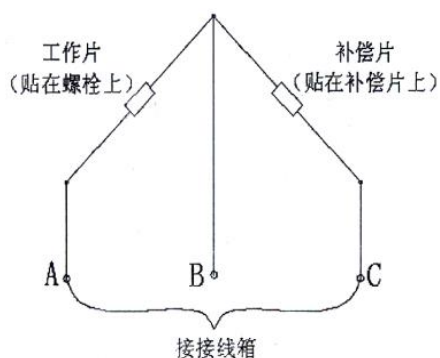


图 8.4 单片测量连线图

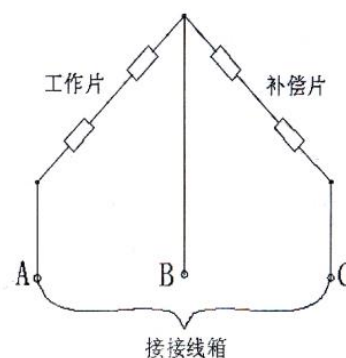


图 8.5 双片测量连线图

(2) 螺栓初预紧

抬起杠杆加载系统,使加载系统的自重加到螺栓组联接件上。先将图 8.2 中所示的左端各螺母 I 用手(不能用扳手)尽力拧紧,然后在把右端的各螺母也用手尽力拧紧。(如果在实验前螺栓已经受力,则应将其拧松后再做初预紧。)

(3) 应变测量点预调平衡

以各螺栓初预紧后的状态为初始状态,先将杠杆加载系统安装好,使加载砝码的重力通过杠杆放大,加到托架上;然后再进行各螺栓应变测量的“调零”(预调平衡),即把应变仪上各测量点的应变量都调到“零”读数。预调平衡砝码加载前,应松开测试齿块(即使载荷直接加在托架上,测试齿块不受力);加载后,加载杠杆一般呈向向右倾斜状态。

(4) 螺栓预紧

实现预调平衡之后,再用扳手拧各螺栓右端螺母 II 来加预紧力。为防止预紧时螺栓测试端受到扭矩作用产生扭转变形,在螺栓的右端设有一段“U”形断面,它嵌入托架接合面处的矩形槽中,以平衡拧紧力矩。在预紧过程中,为防止各螺栓预紧变形的相互影响,各螺栓应先后交叉并重复预紧(可按 1、10、5、6、7、4、2、9、8、3 依次进行),使各螺栓均预紧到相同的设定应变量(即应变仪显示值为 280—320LLs)。为此,要反复调整预紧 3-4 次或更多。在预紧过程中,用应变仪来监测。螺栓预紧后,加载杠杆一般会呈右端上翘状态。

(5) 加载实验

完成螺栓预紧后,在杠杆加载系统上依次增加砝码,实现逐步加载。加载后,记录各螺栓的应变值(据此计算各螺栓的总拉力)。注意:加载后,任一螺栓的总应变值(预紧应变+工作应变)不应超过允许的最大应变值($\epsilon_{\max} \leq 800\mu\epsilon$),以免螺栓超载损坏。

2.实验步骤:

- (1) 检查各螺栓处于卸载状态;
- (2) 将各螺栓的电阻应变片接到应变仪预调箱上;
- (3) 在不加载的情况下,先用手拧紧螺栓组左端各螺母,再用手拧紧右端螺母,实现螺栓初预紧;
- (4) 在加载的情况下,把应变仪上各个测量点的应变值都调到“零”,实现预调平衡;
- (5) 用扳手交叉并重复拧紧螺栓组右端各螺母,使各螺栓均预紧到相同的设定预应变值 (应变仪显示值为 $280\sim 320\mu\epsilon$);
- (6) 依次增加砝码,实现逐步加载到 2.5KG,记录各螺栓的应变值;
- (7) 测试完毕,逐步卸载,并去除预紧;
- (8) 整理数据,绘制螺栓位置与应变关系图,计算各螺栓的工作载荷,填写实验报告。

8.5 实验数据处理与分析

1. 螺栓组联接实测工作载荷图

根据实测记录的各螺栓的应变值,计算各螺栓所受的总拉力 F_{2i} :

$$F_{2i} = E\varepsilon_i A$$

式中: E ——弹性模 (GPa) 量;

A ——螺栓测试段的截面积 (m^2);

ε_i ——第 i 个螺栓在倾覆力矩作用下的拉伸变量。

根据 F_{2i} 绘制出螺栓组联接实测工作载荷图

2. 螺栓组联接理论计算受力图

当加载工作时,螺栓组将承受横向力 Q 和倾覆力矩 M 的作用,即:

$$Q = 75G + G_0 \quad \text{N}$$

$$M = QL \quad \text{N.m}$$

式中: G ——加载砝码的重力 (N)

G_0 ——杠杆系统自重折算的载荷 (700N)

L ——力臂长 (214mm)

在倾覆力矩作用下各螺栓所受的工作载荷 F_i :

$$F_i = \frac{M}{\sum_{i=1}^Z L_i} = F_{\max} \frac{L_i}{L_{\max}}$$
$$F_{\max} = \frac{ML_{\max}}{\sum_{i=1}^Z L_i^2}$$

式中: Z ——螺栓个数;

F_{\max} ——螺栓中的最大工作载荷;

L_i ——螺栓轴线到底板翻转轴线的距离。

8.6 思考题与实验报告

1. 思考题

- (1) 螺栓组联接理论计算与实测的工作载荷间存在误差的原因是什么？
- (2) 实验台上的螺栓组联接可能的失效形式有哪些？

2. 实验报告基本内容

(1) 螺栓组静态特性实验相关数据计算

螺栓号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
零点应变										
预紧应变										
第一组 $\mu\varepsilon$										
第二组 $\mu\varepsilon$										
第三组 $\mu\varepsilon$										
平均值 $\mu\varepsilon$										
负荷应变										
应力/1000 δ										
预紧拉力 F1										
实验拉力 F2										
负荷拉力 ΔF										

(2) 实验应力分布图

实验受力图 1 (F2)
实验受力图 2 (ΔF)
理论受力图

(2) 思考题讨论

(3) 实验心得和建议

实验9 液体动压轴承特性实验

9.1 实验目的

1. 测出并绘制动压轴承油膜压力的周向分布曲线及轴向分布曲线，以验证其理论分布规律，并考察影响油膜压力分布的因素；
2. 计算实测“端泄”对轴承轴向压力分布的影响系数 K 值，同时看是否符合油膜压力沿轴向抛物线分布的规律；
3. 测定并绘制液体动压轴承摩擦特性曲线，并考察影响摩擦系数的因素。

9.2 实验设备和工具

1. 液体动压轴承实验台；
2. 计算工具（学生自备）。

9.3 实验原理和方法

1. 液体动压轴承润滑原理

液体动压轴承是利用轴颈本身在回转时产生的泵油作用，将润滑油带入摩擦表面之间，建立起压力油膜，将两个摩擦表面分离开来，形成液体摩擦，从而避免两个摩擦表面的直接接触和磨损。液体摩擦的特性决定于所使用的润滑油的黏度，而与两个摩擦表面的材料无关。液体润滑是一种比较理想的润滑状态。

根据雷诺方程可知油压的变化与润滑油的黏度、表面润滑速度及油膜厚度的变化有关。全部油膜压力的合力就是油膜的承载能力。在正常工作情况下，此承载力与外载荷相平衡。承载能力随黏度的增加而增加，并与轴颈的滑动速度成正比。轴承的压力分布如图 9.1 所示，在 $h > h_0$ 段，油压将随 x 的增加而增大；而在 $h < h_0$ 段，油压将随 x 的增加而减小。表明油膜呈收敛形油楔，而这正是油膜能够支撑外载荷的条件。

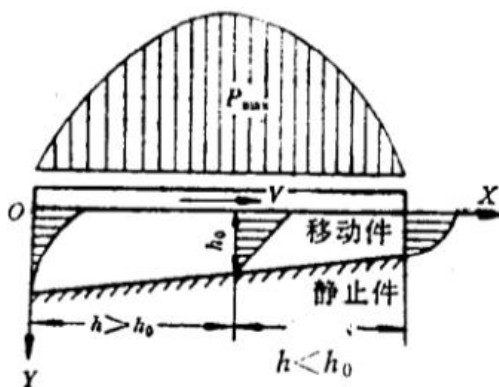


图 9.1 轴承的压力分布图

对于有限宽的轴承，由于端泄的原因使轴承两端的压力为零，这将对轴承的承载能力有很大的影响。端泄对轴承轴向压力的分布的影响系数 K 可由下式求得

$$K = \frac{F}{p_m l d}$$

式中：\$F\$ 为承载量 (N)；\$p_m\$ 为轴承中间截面上的平均压力 (MPa)；\$l\$ 为轴承的有效长度 (mm)；\$d\$ 为轴承的直径 (mm)。

此外，轴承特性值 \$\lambda\$ 也是华东轴承的重要参数之一，由下式给出

$$\lambda = \eta n / P$$

式中：\$\eta\$ 为润滑油的动力黏度 (Pa·S)，其值可由有关线图查的，亦可用黏度计实测；\$n\$ 为轴的转速 (r/min)；\$P\$ 为轴承比压 (N/mm²)，\$P = F/dB\$，\$F\$ 为轴上的载荷，\$d\$ 为轴的直径，\$B\$ 为轴瓦的宽度，本实验中 \$B=125\$ (mm)，\$d=70\$ (mm)。

\$\lambda\$ 值与摩擦系数 \$f\$ 有关，如图 9.2 所示。\$\lambda_0\$ 为临界值 (最小许用值)。当 \$\lambda > \lambda_0\$ 时，轴承处于液体润滑状态。为了安全，常取 \$\lambda = (2-3) \lambda_0\$。

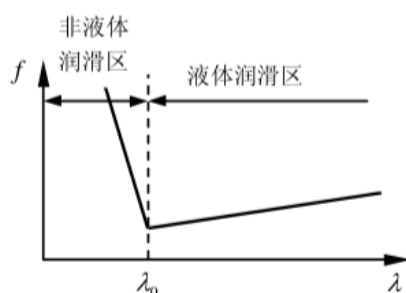
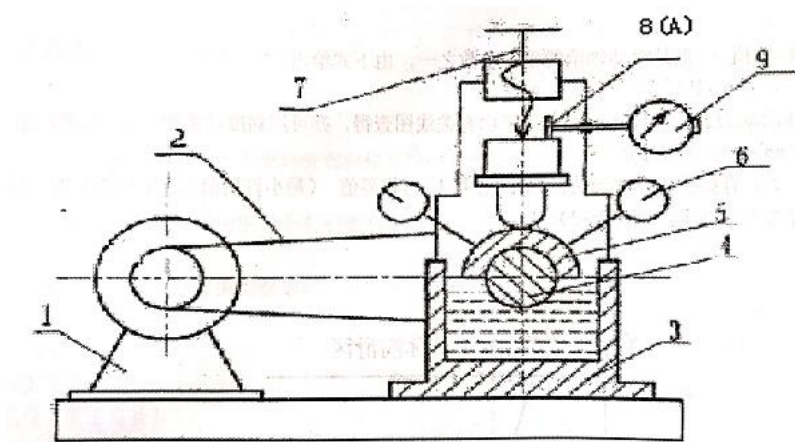


图 9.2 轴承特性 \$\lambda\$ 与摩擦系数 \$f\$ 的关系

2. 实验台原理

实验台构造如图 9.3 所示。实验台的传动装置由直流电动机 1 通过皮带轮 2 驱动轴沿顺时针方向转动，由吴记调速器实现轴 4 的无极调速，轴的转速由数码管直接读出。

轴与轴瓦间的油膜压力测量装置是在轴瓦的一个径向平面内，沿圆周方向有 7 个小孔，每个小孔沿圆周相隔 \$20^\circ\$，每个小孔联结一个压力表，用来测量该径向平面内相应点的油膜压力，由此可画出轴承径向油膜压力分布曲线。沿轴瓦的一个轴向剖面装有两个压力表，用来观察、测量有限长滑动轴承沿轴向的油膜压力情况。



1-直流电机 2-V 带传动 3-箱体 4-轴 5-轴瓦
6-压力传感器 7-加载装置 8-测力杆 9-摩擦力传感器

图 9.3 实验台构造

摩擦系数 f 的测量装置：径向滑动轴承的摩擦系数 f 随轴承的特性系数 λ 改变而改变，如图 9.4 所示。

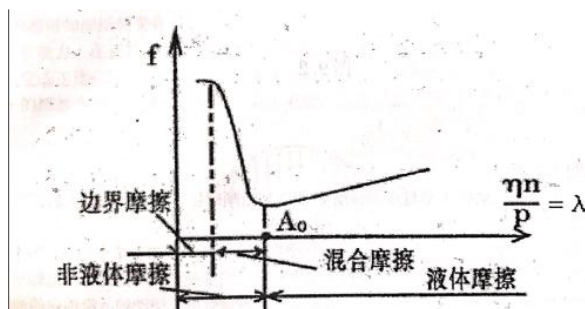


图 9.4 摩擦系数 f 轴承的特性系数 λ 的关系

在边界摩擦时，摩擦系数 f 随 λ 的增加而变化很小；进入混合摩擦后， λ 的改变引起摩擦系数 f 的急剧变化；在刚形成液体摩擦时， f 达到最小值；此后，随 λ 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 的值可通过测量轴承的摩擦力矩而得到。轴转动时，轴对轴瓦产生周向摩擦力 F ，其摩擦力矩为 $F \cdot d/2$ ，它供轴瓦翻转，其翻转力矩通过固定在弹簧片上的百分表，测出弹簧片的变形，并经过计算就可得到摩擦系数 f 的值。

根据力矩平衡条件得： $Fd/2=LQ$

式中： L 为测力杆的长度，本试验台中 $L=120\text{mm}$ ； Q 为作用在 A 处的反力。

设作用在轴上的外载荷为 W ，则

$$f = \frac{F}{W} = \frac{2LQ}{Wd}$$

而 $Q=K\Delta$ ， K 为测力计的刚度系数， $K=0.13$ ， Δ 为百分表读数。

9.4 实验步骤和要求

1. 准备工作

在弹簧片 8 的端部安装百分表（测力计），使其触头具有一定的压力值。

2. 绘制径向油膜压力分布曲线

（1）启动电机，将轴的转速调整到一定值（可取 350 转/分），注意观察从轴开始运转至 350 转/分左右时灯泡的变化情况，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（约 700N）。

（3）待各压力表的压力值稳定后，由左至右依次记录各压力表的压力值。其中，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，第四只和第八只压力表的读数用于作油膜轴向压力分布图。

（4）根据测出的各压力表的压力值，按一定比例绘制出油压分布曲线和承载曲线，如图 9.5 所示，图上方各射线 11'-77' 的长短表示各向压力的大小；图下方表示从各向压力求得平均压力 P_m 值。

求平均压力的方式是：将 1-7 到各点位置投影到一水平线上。记为 1''-7''，将 11'-77' 的长度分别移到此水平线垂直方向上，即图中的 1'1''-7'7''，将 1'-7' 依次练成光滑曲线。曲线与水平线围成的面积（用坐标纸数小方格的方法）除以 00 线长，即得 p_m 。

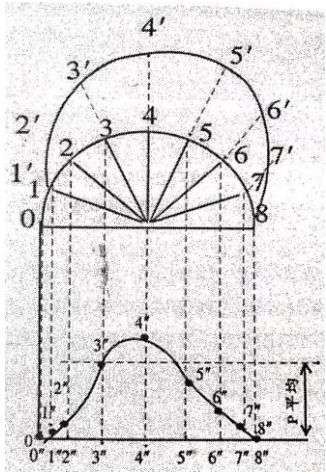


图 9.5 油压分布曲线和承载曲线

(5) 计算端泄对油膜压力轴向分布的影响系数 K 。

3. 摩擦特性曲线的测定

(1) 调节转速至 350 转/分左右。

(2) 用加载装置加载（约 700N）。

(3) 将转速从 350 转/分左右依次下调至 300、250、200、150、100、50 转/分左右，每一转速下均在测力计（百分表）上读出相应的读数，记录在表格中。

(4) 找出临界点，记录临界点的转速和相应的测力计的值。

(5) 计算出各种转速下的轴承特性值 λ 和摩擦系数 f ，并绘制轴承的摩擦特性曲线，即 $f-\lambda$ 曲线。

9.5 实验数据和思考题

1. 思考题

- (1) 为什么油膜压力分布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) 那些因素会引起摩擦系数的测定误差？

2. 实验报告基本内容

(1) 油膜压力分布状况及油膜压力轴向分布影响系数 K 的测定

加载 载荷 W (N)	转速 n (r/min)	压力表读数 (Mpa)								K=W/pmbd
		1	2	3	4	5	6	7	8	

(2) 油膜压力沿周向分布曲线及油膜压力沿轴向分布曲线

(3) 摩擦曲线曲线的测定

转速 n (r/min)	测力计值 Δ (格)	$K \cdot \Delta$ (N)	摩擦系数 f	特性值 λ
350				
300				
250				
200				
150				
100				
50				
临界转速 ()				

(4) 摩擦特性曲线

(5) 思考题讨论

(6) 实验心得和建议

实验 10 “慧鱼”机构创意搭接实验

10.1 实验目的

1. 加深对机构与机械传动方案设计的认识，熟悉“慧鱼”创意模型的基本模块和单元及其搭接方法；
2. 培养工程实践动手能力；
3. 培养系统设计及传感器应用的能力。

10.2 实验设备和工具

“慧鱼”创意模型若干。

10.3 实验步骤及要求

1. 根据“慧鱼”厂家提供的设计图纸，任选其中一种机构进行搭接；
2. 根据设计图纸，首先选出所搭接机构所有的零件及数量，按图搭接；
3. 根据设计图纸，按图步骤一步一步完成机构的搭接；
4. 根据设计图纸，按图完成传感器和电机的接线；
5. 确认接线无误后，接上电源进行机电联调；
6. 首先排除机械故障，然后调试测控单元，直到整个机构达到设计要求；
7. 整理上述设计与计算过程，形成设计说明书，说明书包括：名称、工作原理、结构图、传动图、传感器工作原理、控制电路图。

实验 11 机构运动方案搭接实验

11.1 实验目的

1. 加深学生对平面机构的组成原理、结构组成的认识,了解平面机构组成及运动特点;
2. 培养学生的机构综合设计能力,创新能力和实践动手能力。

11.2 实验设备和工具

1. ZBS-C 机构运动创新设计方案实验台;
2. 组装、拆卸工具:一字起子、十字起子、扳手、内六角扳手、钢板尺;
3. 实验须自备笔和纸。

11.3 实验原理、方法与步骤

1. 实验原理

任何平面机构都是由若干个基本杆组(阿苏尔杆组)依次联接到原动件和机架上而构成的。

2. 实验方法与步骤

- (1) 熟悉平面机构组成原理;
- (2) 熟悉本实验中的实验设备,各零部件功用和安装、拆卸工具;
- (3) 自拟平面机构运动方案,形成拼接实验内容;
- (4) 将自拟的平面机构运动方案正确拆分成基本杆组;
- (5) 正确拼接各基本杆组;
- (6) 将基本杆组按运动规律顺序联接到原动件和机架上。

11.4 实验原理、方法与步骤

1. 杆组的概念

机构具有确定运动的条件是其原动件的数目应等于其具有的自由度的数目。因此,机构可以拆分成机架、原动件和自由度为零的构件组。而自由度为零的构件组,还可以拆分成更简单的自由度为零的构件组,我们将最后不能再拆的最简单的自由度为零的构件组称为基本杆组(或阿苏尔杆组),简称杆组。

由杆组定义,组成平面机构的基本杆组应满足条件:

$$F=3n-2P_L-P_H=0$$

式中: n 为杆组中的构件数; P_L 为杆组中的低副数; P_H 为杆组中的高副数。由于构件数和运动副数目均应为整数,故当取不同数值时, n 、 P_L 、 P_H 可得各类基本杆组。

(1) 高副杆组

$$n=P_L=P_H=1$$

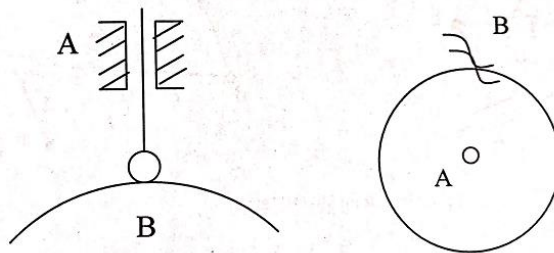


图 11.1 高副杆组

(2) 低副杆组

当 $P_H=0$ 时，杆组中的运动副全部为低副，称为低副杆组。由于有 $F=3n-2P_L=0$ ，故 $n=2P_L/3$ ，故 n 应是 2 的倍数， P_L 应是 3 的倍数，即 $n=2、4、6……$ ， $P_L=3、6、9……$ 。当 $n=2$ ， $P_L=3$ 时，基本杆组称为 II 级杆组。II 级杆组是应用最多的基本杆组，绝大多数的机构均由 II 级杆组组成，II 级杆组可以有下图所示的五种不同类型：

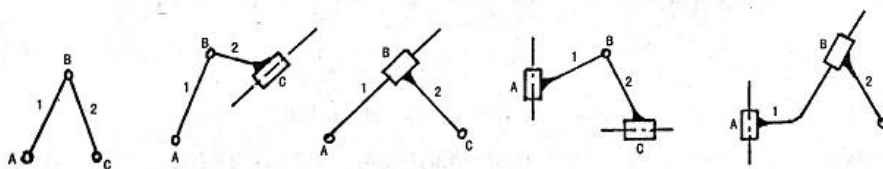


图 11.2 平面低副 II 级杆组

$n=4$ ， $P_L=6$ 时的基本杆组称为 III 级杆组。常见的 III 级杆组如图 11.3 所示。

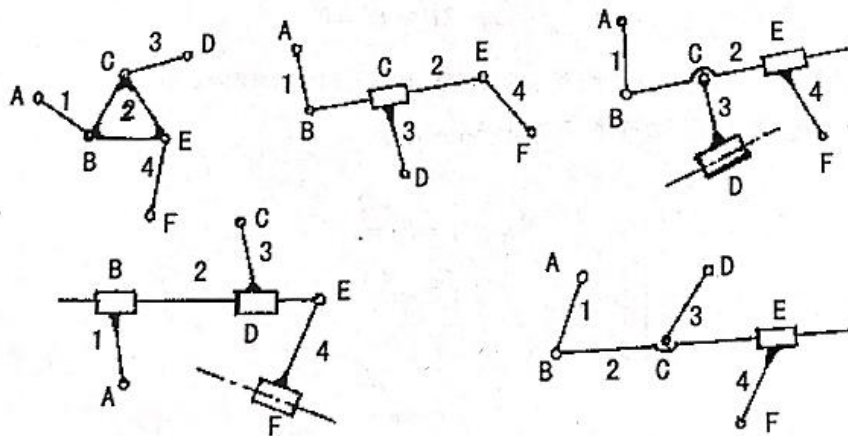


图 11.3 平面低副 III 级杆组

由上述分析可知，任何平面机构均可以用零自由度的杆组依次连接到机架和原动件上的方法而形成。因此，上述机构的组成原理是机构创新设计拼接的基本原理。

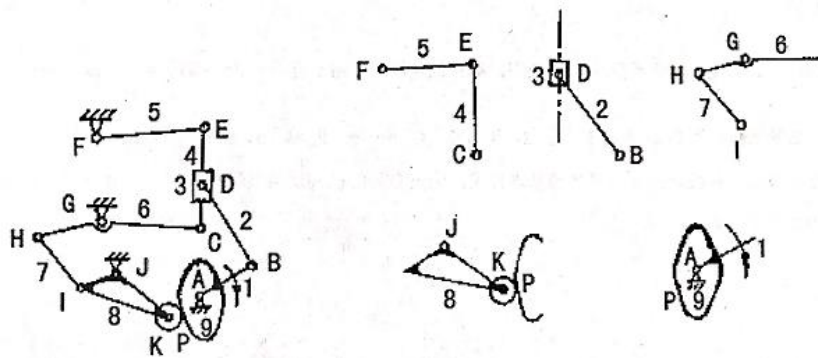


图 11.4 杆组拆分例图（锯木机机构）

如图 11.4 所示，先去掉 k 处的局部自由度，计算机构的自由度： $F=3n-2P_L-P_H=3\times 8-2\times 11-1=1$ ，并设凸轮（与杆件 1 固连）为原动件；按下述拆分原则，先拆分处由杆件 4、5、2、3、6、7 组成的三个 II 级杆组，再拆分出由杆件 8 组成的单构件高副杆组，最后剩下的是原动件 1 和机架 9，则该机构为 II 级机构。

2. 杆组的正确拆分

杆组正确拆分应参照如下步骤：

- (1) 正确计算机构的自由度（注意去掉机构中的虚约束和局部自由度），并确定原动件。
- (2) 从远离原动件的构件开始拆杆组。先试拆 II 级杆组，若拆不出 II 级杆组，再试拆 III 级杆组，即杆组的拆分应从低级别杆组拆分开始，依次向高级杆组拆分。正确拆分的判别标准：每拆分出一个杆组后，留下的部分仍应是一个与原机构具有相同自由度的机构，直至全部杆组拆出只剩下原动件和机架为止。
- (3) 确定机构的级别（由拆分出的最高级别杆组而定，如最高级别为 II 级杆组，则此机构为 II 级机构）。注：同一机构所取的原动件不同，有可能成为不同级别的机构，但当机构的原动件确定后，杆组的拆法是唯一的，即该机构的级别一定。

若机构中含有高副，为研究方便起见，可根据一定的条件将机构中的高副以低副来代替，然后再进行杆组拆分。

3. 杆组的正确拼装

根据事先拟定的机构运动简图，利用机构运动创新设计方案实验台提供的零件按机构运动的传递顺序进行拼装，拼装时，通常先从原动件开始，按运动传递规律进行拼装。拼装时，应保证各构件均在相互平行的平面内运动，这样可避免各运动构件之间的干涉，同时保证各构件运动平面与轴的轴线垂直。拼装应以机架铅垂面为参考平面，由里向外拼装。

注意：为避免连杆之间运动平面相互紧贴而摩擦力过大或发生运动干涉，在装配时应相应装入层面限位套。

11.5 实验内容

1. 机构运动创新设计实验，其运动方案可由学生构思平面机构运动简图进行创新构思

并完成方案的拼接，达到开发学生创造性思维的目的。

2. 实验也可选用工程机械中应用的各种平面机构，根据机构运动简图，进行拼接实验。

3. 该实验台提供的配件可完成不少于 40 种机构运动方案的拼接实验，实验时每台架可由 1-3 名学生一组，完成不少于 2 种/每组的不同机构运动方案的拼接设计实验。

11.6 实验报告基本内容

1. 绘制实际拼接机构的机构运动简图，计算自由度，并在简图中标注实测得到的机构运动学尺寸；

2. 画出实际拼接机构的杆组拆分简图，并简要说明杆组拆分理由；

3. 根据你所拆分的杆组，按不同方式拼接杆组，可能组合的机构运动方案有哪些？要求用机构运动简图表示出来，并简要说明各机构的运动传递情况，就运动学性能进行方案的比较。

实验 12 机械传动方案效率测定实验

12.1 实验目的

1. 掌握转速、转矩、传动功率、传动效率等机械传动性能参数测试的基本原理和方法；
2. 通过实验，了解各种单机机械传动装置的特点，对各种单机机械传动装置的传动功率大小范围有定量的了解；
3. 通过实验，了解带传动中的弹性滑动现象、打滑现象及其与带传动工作能力之间的关系；
4. 通过实验，了解链传动的动态特性（多边形效应）及其对链传动的影响；
5. 了解 ZJS50 系列综合设计型机械设计实验装置的基本构造及其工作原理。

12.2 实验设备和工具

该实验装置是一种模块化、多功能、开放式的具有工程背景的教学与科研兼用的新型机械设计综合实验装置，其主要由动力模块（库）、传动模块（库）、支承联接及调节模块（库）、加载模块（库）、测试模块（库）、工具模块（库）及控制与数据处理模块（库）等组成，通过对各模块（库）的选择及装配搭接，实验“带传动”、“链传动”、“齿轮传动”、“蜗杆传动”等典型的单级机械传动装置性能测试及其他新型传动装置等的基本型实验，更可进行多级组合机械传动装置性能测试等的基本实验，形成如“带—齿轮传动”、“齿轮—链传动”、“带—链传动”、“带—齿轮—链传动”等多种组合传动系统的性能比较、布置优化等综合设计型实验及分析、研究相关参数变化对机械传动系统基本特性的影响、机械传动系统方案平键等研究创新型实验。

实验装置的基本组成如下：

1. 动力模块（库）

（1）Y90L-4 电动机：额定功率 1.5KW；同步转速 1500r/min；额定电压下，最大转矩与额定转矩之比 2.3；

（2）MM420-150/3 变频器：用于控制三相交流电机的速度；输入电压 380-480±10%；功率范围 1.5KW；输入频率 47-63HZ；输出频率 0-650HZ；功率因数 0.98；控制方法：线性 V/f 控制，带磁通电流控制（FCC）的线性 V/f 控制，平方 V/f 控制，多点 V/f 控制。

2. 传动模块（库）

（1）V 带传动：带及带轮，Z 型带，带轮基准直径 $d_{a1}=d_{a2}=106\text{mm}$ ；

（2）链传动：链及链轮，链号 08B，链节距 $p=12.70\text{mm}$ ，链轮齿数 $Z_1=Z_2=21$ ；

（3）JSQ-XC-120 齿轮减速器（斜齿）：减速比 1:1.5，齿数 $Z_1=38$ 、 $Z_2=57$ ，螺旋角 $\beta=8^\circ 16' 38''$ ，中心距 $a=120\text{mm}$ ，法面模数 $m_n=2.5$ ；

（4）NRV063 蜗杆减速器：蜗杆类型 ZA，轴向模数 $m=3.250$ ，蜗杆头数 $Z_1=4$ ，蜗轮齿数 $Z_2=30$ ，减速比 1:7.5，中心距 $a=63\text{mm}$ ；松开弹簧卡圈可改变输出轴的方向。

3. 支承联接及调节模块（库）

基础工作平台、标准导轨、专用导轨、电机-小传感器垫块-01、电机-小传感器垫块-02、小传感器垫块、电机-大传感器垫块-01、电机-大传感器垫块-02、蜗杆垫块-01、蜗杆垫块-02、磁粉制动器垫块、专用轴承座、新型联轴器、带轮及链轮快速张紧装置以及各种规格的联接件（键、螺钉、螺栓、垫片、螺母等）等。

4. 加载模块（库）

（1）CZ-5 型磁粉制动（加载）器：额定转矩 50Nm，激磁电流 0.8A，允许滑差功率 4KW；

（2）WLY-1A 稳流电源：输入电压 AC220V \pm 10%，50/60HZ；输出电流 0-1A；稳流精度 1%。

5. 测试模块（库）

（1）实验数据测试及处理软件：实验教学用专用软件；

（2）ZJ0D 型转矩转速传感器：额定转矩 20Nm；转速范围 0-10000r/min；转矩测量精度 0.1-0.2 级；转速测量精度 \pm 1r/min；

（3）NJ1D 型转矩转速传感器：额定转矩 50Nm；转速范围 0-6000r/min；转矩测量精度 0.1-0.2 级；转速测量精度 \pm 1r/min；

（4）JX-1A 机械效率仪：转矩测量范围 0-99999Nm；转速测量范围 0-30000r/min。

6. 工具模块（库）

配套齐全的装拆调节工具。

7. 控制与数据处理模块（库）

实验装置的控制模块、数据采集、处理模块（除传感器外）及加载模块等集中配置于一个分置式实验控制柜内。通过对被测实验传动装置的动力、数据采集、处理及加载等控制，将传感器采集的实验测试数据通过 A/D 转换器以 RS232 的方式传送到测试模块，有测控模块计算机系统的专用实验教学软件进行实验数据分析及处理，实验结果可直接在计算机屏幕上显示，或由打印机打印输出实验结果，完成实验。

实验装置的基本构造框图如图 12.1 所示。

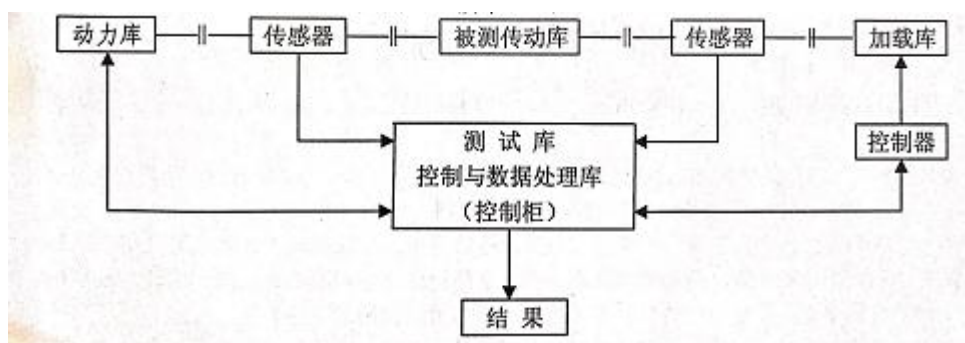


图 12.1 实验装置的基本构造框图

12.3 实验原理和方法

效率 η 表示能量的利用程度，在机械传动中，输入功率 P_i 应等于输出功率 P_o 与损耗功率 P_f 之和，即

$$P_i = P_o + P_f$$

则传动效率 η 定义为：

$$\eta = \frac{P_o}{P_i}$$

由力学知识可知，轴传递的功率可由轴的角速度和作用于轴上的力矩求得

$$P = M\omega = \frac{2\pi n}{60 \times 1000} M = \frac{\pi n}{30000} M$$

式中： P —轴传递的功率，KW； M —作用于轴上的力矩，Nm； ω —轴的角速度，rad/s； n —轴的转速，r/min。则传动效率 η 可改写为

$$\eta = \frac{M_o n_o}{M_i n_i}$$

由此可见，若能利用仪器测出机械传动装置的输入转矩和转速以及输出转矩和转速，就可以计算出转动装置的传动效率 η 。在本实验中，采用转矩转速传感器来测量输入转矩和转速以及输出转矩和转速。

12.4 实验内容及步骤

1. 实验内容

本实验主要是啮合传动性能参数测定实验，包括：绘制齿轮传动的效率曲线、绘制蜗杆传动的效率曲线、观察链传动的动态特性（多边形效应）并绘制链传动的效率曲线。

2. 实验操作步骤

（1）观察相关实验台的各部分结构，再检查实验台上各设备、电路及各测试仪器间的信号线是否连接可靠。

（2）用手转动被测传动装置，检查是否转动灵活及有无阻滞现象。

（3）运行 `experimentmachine.exe` 进入综合设计型机械设计实验装置实验教学测试软件系统，其主菜单为：[实验管理]、[变量设置]、[实验报告]、[系统设置]、[帮助]、[退出]。

（4）点击菜单[实验管理]，选择[新建实验]项，进入“实验记录基本信息”。

（5）设置实验参数，实验参数包括实验类型选择（带传动、齿轮传动、链传动、蜗杆传动、多级传动）和相应实验参数设置。其中最大输入功率、最高输入转速是用于计算转矩（或工作拉力）的量程。在调速实验中，最高输入转速也是第一条效率曲线的转速默认值。建议实验时第一条曲线在此最高转速下测试。点击[确定]按钮进入横、纵坐标与量程选择。

（6）点击菜单[系统设置]，点击[参数]子菜单，进入“参数选择”，点击“扭矩零点编辑”，此时软件弹出采样通道数值表格，把表格中的所有数值清零，关闭此窗口。

（7）实验数据测试前，用对测试设备进行调零（在负载不便脱开时，启动传感器顶部的小电动机，并使其转向与实验时传感器输出轴的转向相反），首先，在确认整个实验台安

全的情况下打开主电机开关，此时机器运转，观察测量仪表面板上 n_1 和 n_2 窗口的数值。打开输入轴传感器小电机开关，要求 n_1 窗口数值增加，如果 n_1 窗口数值减小则关闭电机，反方向再打开电机，知道 n_1 窗口数值增加为止。打开输出轴传感器小电机开关，要求 n_2 窗口数值增加，如果 n_2 窗口数值减小则关闭电机，反方向再打开电机，知道 n_2 窗口数值增加为止。此时传感器顶部的小电动机转向与实验时传感器输出轴的转向相反，关闭主电动机，保留俩传感器电机打开。点击菜单[系统设置]，点击[调零]，调整效率仪的零点，M1、M2、P1、P2 窗口数值显示为零或近似为零。仪器调零结束，关闭两传感器电机。

(8) 启动主电机进行实验数据测试。实验测量应从空载开始，无论进行何种实验，均应先启动电机，后施加载荷，严禁先加载后开机。点击“开始采样”开关，同时施加实验载荷，应平稳旋动 WLY-1A 稳流电源的激磁旋钮，采样数值开始一组一组的出现在窗口中，同时传动效率曲线也在窗口形成，当载荷加到一定量时点击“关闭采样”开关，并迅速逆时针方向转动稳流电源的激磁旋钮到底，关闭载荷。点击“保存”开关，实验数据进行保存，关闭主电机。点击“实验报告”开关，在最后一页找到自己所做的实验数据。

(9) 在实验过程中，如遇电机及其他设备等转速突然下降或者出现不正常噪音、振动和温升时，必须卸载或紧急停车，以防电机突然转速过高，烧坏电机、设备及其它意外事故的发生。实验结束后，一定要先去掉载荷（逆时针方向转动稳流电源的激磁旋钮到底），在关闭主机。

(10) 实验结束，关闭控制柜主电源及各测试设备电源。

12.5 思考题

1. 啮合传动装置的效率与哪些因素有关？为什么？
2. 啮合传动中各种传动类型有什么特点？其应用范围如何？
3. 通过本实验，对比实验 7，讨论摩擦传动与啮合传动的主要特性如何？

实验 13 平面机构组合测试分析实验

13.1 实验目的

1. 加深学生对平面机构的组成原理及运动特点的了解；
2. 培养学生的机构综合设计能力，创新能力和实践动手能力；
3. 使学生了解组装的机构的运动特性，提高机构运动分析能力；
4. 掌握机构运动特性测试方法。

13.2 实验设备和工具

ZNH-B 平面机构创意组合分析测试实验台

13.3 实验原理、方法与步骤

1. 实验原理

根据平面机构的组成原理：任何平面机构都可以由若干个基本杆组依次联接到原动件和机架上而构成，故可通过实验规定的机构类型，选定实验的机构，并拼装该机构；在机构适当位置装上测试元器件，测出构件每时每刻的线位移或角位移，通过对时间求导，得到该构件相应的速度和加速度，完成参数测试。

2. 实验方法与步骤

- (1) 掌握平面机构的组成原理；
- (2) 熟悉本实验中的实验设备，各零部件功用，安装、拆卸工具和测试器件；
- (3) 选定平面机构运动方案，形成拼接实验内容；
- (4) 正确拼接平面机构，将各基本杆组按运动传递规律顺序拼接到原动件和机架上；
- (5) 正确安装测试元器件；
- (6) 完成实验测试内容。

3. ZNH-B 平面机构创意组合分析测试软件使用说明

(1) 在实验系统总界面中点击“选择实验”，在下拉菜单里面选中实验台搭接的机构名称；

(2) 点击“机构演示”，在下拉菜单中选中“演示当前实验”，屏幕会出现搭接机构的动画演示；

(3) 点击“参数设置”，在下拉菜单中选中“实验参数”，屏幕会出现实验参数设置图，根据实物机构测量尺寸填入图中，点击存盘；

(4) 打开步进电机控制开关，慢慢旋转调速旋钮，让机构运动，调整转速至机构合适运动状态，点击屏幕“开始”，这时软件开始采集参数，点击“记录”开关，每点击一次，记录下一个采样数据，至少记录下两个周期的采样数据；

(5) 记录三组运动数据，画出理论曲线与实际曲线并分析误差产生的原因。

实验 14 典型机械机构认识实验

14.1 实验目的

1. 通过对陈列柜中各种机构和机械的认知，加深对各种机械的特性了解；
2. 在对各种机构和机械的特性了解的基础上，总结归纳。

14.2 实验设备和工具

1. 机械原理陈列柜；
2. 机械设计零件陈列柜。

14.3 思考题

1. 铰链四杆机构可以分为哪三种基本型式；
2. 画出摇块机构的机构运动简图；
3. 凸轮机构一般由哪几部分组成；
4. 凸轮机构一般适用于哪些场合；
5. 带传动的类型；
6. 鄂式碎石机是什么机构的应用，插床又是什么机构的应用；
7. 齿轮传动的基本类型有哪些；
8. 画出蜗轮蜗杆的机构运动简图；
9. 齿轮传动的优点有哪些。

实验 15 创意组合机械系统搭接综合实验

15.1 实验目的

1. 在掌握两轴直线齿轮（减速器）的安装基础上，掌握曲柄摇杆机构的安装、调整技能，并对系统的运行设备进行安装；
2. 在掌握两轴链轮的安装基础上，掌握曲柄摇杆机构的安装、调整技能，并对系统的运行设备进行安装；
3. 在曲柄摇杆机构中，由于连接副的结构设计问题，三个可动杆件不在一个平面内，这引起了转动的副轴线方向的压力分配不均，同时有垂直于轴线的转矩的存在，这些增加了系统对间隙、摩擦的敏感性，是实验中值得注意的一个方面

15.2 实验设备和工具

1. 齿轮与曲柄摇杆（滑块）机构实验台
2. 链轮与曲柄摇杆（滑块）机构实验台

15.3 实验报告

1. 详细叙述实验过程，包括安装、调试及测量过程。
2. 画出实验系统的结构图及曲柄摇杆的机构简图并标注尺寸。
3. 写出摇杆转速的理论计算过程。
4. 将测量的实际值与理论值相比较，并分析产生误差的原因。

实验 16 轮系搭接实验

16.1 实验目的

通过各类轮系的搭接，可使学生对轮系的结构、分类、应用，轮系的传动比计算有一个全面的理解与掌握。

16.2 实验设备和工具

LJXD 轮系创意搭接综合试验台

16.3 实验步骤和要求

1. 根据实验台提供的“轮系结构明细表”，自行选择两种结构进行搭接；
2. 根据选定的两种结构，在搭接图“图样”中找出相应的两种搭接图纸；
3. 根据搭接图纸上的代号，再参考“搭接明细表”，在零件箱中找出相对应的零件进行搭接。

16.4 实验报告要求

1. 画出两种搭接轮系的简图及尺寸，计算传动比；
2. 分析两种轮系的特点。