

第1章 机械原理实验

1.1 机构认知实验

实验项目性质：演示性 实验计划学时：1

1.1.1 实验目的

- (1) 初步了解“机械原理”课程所研究的各种常用机构的结构、类型、特点及应用实例。
- (2) 增强学生对机构与机器的感性认识。
- (3) 了解机器的运动原理和分析方法,使学生对机器由总体感性认识上升为理性认识。

1.1.2 实验设备

机械结构设计陈列教学柜。

1.1.3 实验方法

在陈列室向学生展示各种常用机构的模型,通过模型的动态展示,增强学生对机构与机器的感性认识。实验教师只作简单介绍,提出问题,供学生思考;学生通过观察,对常用机构的结构、类型、特点有一定的了解,对学习机械原理课程产生一定的兴趣。

1.1.4 实验内容

1. 对机器的认识

通过实物模型和机构的观察,学生可以认识到:机器是由一个机构或几个机构按照一定运动要求组合而成的。所以只要掌握各种机构的运动特性,再去研究任何机器的特性就不困难了。在机械原理中,运动副是以两构件的直接接触形式的可动连接及运动特征来命名的,如高副、低副、转动副、移动副等。

2. 平面四杆机构

平面连杆机构中结构最简单、应用最广泛的是四杆机构。四杆机构分成三大类,即铰链四杆机构、单移动副机构、双移动副机构。

(1) 铰链四杆机构分为曲柄摇杆机构、双曲柄机构、双摇杆机构,即根据两连架杆为曲柄或摇杆来确定。

(2) 单移动副机构是以一个移动副代替铰链四杆机构中的一个转动副演化而成的,可分为曲柄滑块机构、曲柄摇块机构、转动导杆机构及摆动导杆机构等。

(3) 双移动副机构是带有两个移动副的四杆机构,把它们倒置也可得到曲柄移动导杆机构、双滑块机构及双转块机构。

3. 凸轮机构

凸轮机构常用于把主动构件的连续运动转变为从动件严格地按照预定规律的运动。只

要适当设计凸轮廓线,便可以使从动件获得任意的运动规律。由于凸轮机构结构简单、紧凑,因此广泛应用于各种机械、仪器及操纵控制装置中。

凸轮机构主要由三部分组成,即凸轮(有特定的廓线)、从动件(由凸轮廓线控制着)及机架。

凸轮机构的类型较多,学生在参观这部分时应了解各种凸轮的特点和结构,找出其中的共同特点。

4. 齿轮机构

齿轮机构是现代机械中应用最广泛的一种传动机构。齿轮机构具有传动准确、可靠、运转平稳、承载能力大、体积小、效率高等优点,广泛应用于各种机器中。

1) 齿轮的分类

根据轮齿的形状,齿轮分为直齿圆柱齿轮、斜齿圆柱齿轮、圆锥齿轮及蜗轮、蜗杆。根据主、从动轮的两轴线相对位置,齿轮传动分为平行轴传动、相交轴传动、交错轴传动三大类。

(1) 平行轴传动的类型有外、内啮合直齿轮机构,斜齿圆柱齿轮机构,人字齿轮机构,齿轮齿条机构等。

(2) 相交轴传动的类型有圆锥齿轮机构,其轮齿分布在一个截锥体上,两轴线夹角常为 90° 。

(3) 交错轴传动的类型有螺旋齿轮机构、圆柱蜗轮蜗杆机构、弧面蜗轮蜗杆机构等。

在参观这部分时,学生应注意了解各种机构的传动特点、运动状况及应用范围等。

2) 齿轮机构参数

齿轮基本参数有齿数 z 、模数 m 、分度圆压力角 α 、齿顶高系数 h_a^* 、顶隙系数 c^* 等。

参观这部分时,学生需要掌握:什么是渐开线?渐开线是如何形成的?什么是基圆和渐开线发生线?并注意观察基圆、发生线、渐开线三者之间的关系,从而得知渐开线具有什么性质。

然后观察摆线的形成,要了解什么是发生圆?什么是基圆?动点在发生圆上位置发生变化时,能得到什么样轨迹的摆线?

同时还要通过参观,总结出齿数、模数、压力角等参数变化对齿形有何影响。

5. 周转轮系

通过各种类型周转轮系的动态模型演示,学生应该了解什么是定轴轮系?什么是周转轮系?根据自由度不同,周转轮系又分为行星轮系和差动轮系。它们有什么差异和共同点?差动轮系为什么能将一个运动分解为两个运动或将两个运动合成为一个运动?

周转轮系的功用、形式很多,各种类型都有它自己的缺点和优点,在今后的应用中应如何避开缺点、发挥优点等,都是需要学生实验后认真思考和总结的问题。

6. 其他常用机构

其他常用机构有棘轮机构、摩擦式棘轮机构、槽轮机构、不完全齿轮机构、凸轮式间歇运动机构、万向节及非圆齿轮机构等。通过各种机构的动态演示,学生应了解各种机构的运动特点及应用范围。

7. 机构的串、并联

展柜中展示有实际应用的机器设备、仪器仪表的运动机构。从这里可以看出,机器都是由一个或几个机构按照一定的运动要求串、并联组合而成的。所以在学习机械原理课程中一定要掌握好各类基本机构的运动特性,才能更好地去研究任何机构(复杂机构)的特性。

1.2 机构运动简图的测绘与分析

实验项目性质：验证性 实验计划学时：2

1.2.1 实验目的

(1) 学会根据各种机构实物或模型,绘制各种机构运动简图,掌握机构运动简图测绘的基本方法、步骤和注意事项。

(2) 分析和计算机构自由度,进一步理解机构自由度的概念,掌握机构自由度的计算方法。

1.2.2 实验设备和工具

- (1) 各类典型的机械实物(如牛头刨床、插齿机、缝纫机车头等);
- (2) 各类典型的机构模型(如内燃机模型、油泵模型等);
- (3) 钢卷尺、钢板尺、内外卡钳、量角器(根据需要选用);
- (4) 三角板、铅笔、橡皮、草稿纸(自备)。

1.2.3 实验原理和方法

1. 原理与简图符号

从运动学观点来看机构的运动仅与组成机构的构件和运动副的数目、种类以及其之间的相互位置有关,而与构件的复杂外形、断面大小、运动副的构造无关。为了简单明了地表示一个机构的运动情况,可以不考虑那些与运动无关的因素(机构外形,断面尺寸、运动副的结构),而用一些简单的线条和所规定的符号表示构件和运动副^[1](见表 1.2.1),并按一定的比例表示各运动副的相对位置,以表明机构的运动特性。

表 1.2.1 构件和运动副的符号

名 称		符 号	名 称		符 号
低副	回转副		高副	齿轮副	
	移动副			有运动副元素的活动构件	
	螺旋副		构 件	机架	
高副	凸轮副				

2. 绘制方法

在绘制机构运动简图时,必须撇开构件和运动副的具体形状和结构,而抓住构件之间的相对运动性质,从而确定各运动副的类型;然后用运动副的代表符号和简单线条给出示意图

形,将机构的运动情况正确而简明地表示出来。

如图 1.2.1 所示的偏心轮机构,它由 4 个构件组成,即原动构件 1 绕固定轴心 A 连续回转带动构件 2 作复合平面运动,从而推动构件 3 沿固定导轨 4 作往复运动。由此可知,导轨 4 和构件 1、构件 1 和构件 2、构件 2 和构件 3 都作相对转动,回转中心分别在各自的转动轴心 A 、 B 和 C 点上,构件 3 和构件 4 作相对移动,移动轴线为 AC 。然后选择纸面为机构的投影面,选定机构某一瞬时的位置,如选图 1.2.1 所示位置($\theta=60^\circ$),测量各回转副中心之间的距离和移动导轨的相对位置尺寸,即 L_{AB} 、 L_{BC} 、 L_{CA} 和角 θ ,选取长度比例尺,从而定出各运动副的相对位置,即可画出该机构的运动简图,如图 1.2.2 所示。

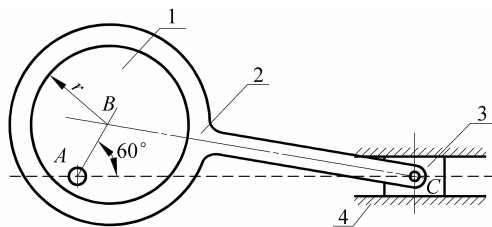


图 1.2.1 偏心轮机构

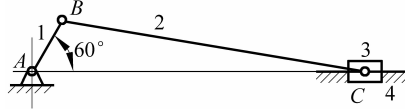


图 1.2.2 偏心轮机构的机构运动简图

1.2.4 测绘方法与步骤

(1) 先了解测绘的机械实物或模型的名称、用途和结构,使被测绘的模型缓慢运动,找出它的机架、原动构件和活动构件数目。

(2) 仔细观察该机构的运动特点,然后从原动构件开始,沿着运动传递路线,根据各相互连接的两构件间直接接触情况(点、线或面接触),以及相对运动的性质(移动或转动等)确定各运动副的类型。

(3) 选定一个能清楚地表示机构各构件瞬时位置的平面,往往是选择机构的运动平面,作为绘制机构运动简图的投影面。

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

(5) 在模型(或实物)上,用尺子尽量精确地测量各运动副的相对位置尺寸(如回转副的中心距,移动副的位置尺寸等),把它们记录下来,并按一定的比例尺画出机构的运动简图,同时将模型的名称记下来。

(6) 用 n 表示活动构件数, P_L 表示低副, P_H 表示高副,通过自由度计算公式 $F=3n-2P_L-P_H$ 计算机构自由度,并验证运动简图的正确性,计算时注意机构是否存在虚约束。

1.2.5 实验要求

(1) 对指定绘制的几种机器或机构模型的机构运动简图,其中至少有一种需要按确定的比例尺绘制,其余的可凭目测,使简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自由度相对照,观察计算结果与实际是否相符。

1.2.6 思考题

- (1) 机构运动简图有何用途？一个正确的机构运动简图能说明哪些问题？
- (2) 绘制运动简图时,如选择机构不同瞬时位置,是否会影响运动简图的正确性？为什么？
- (3) 机构自由度的计算对测绘机构运动简图有何帮助？
- (4) 如何判断机构运动简图的正确与否？

1.3 连杆机构运动参数测试及分析

实验项目性质：验证性 实验计划学时：2

1.3.1 实验目的

- (1) 通过机构运动参数测试,掌握机构运动参数的实验测试方法。
- (2) 通过运动参数测试实验,掌握闭链机构运动的周期性变化规律,了解实际机构中非线性干扰因素对机构性能的影响。
- (3) 通过利用传感器、计算机等先进的实验技术手段进行实验操作,训练掌握现代化的实验测试手段和方法,增强工程实践能力。
- (4) 通过对实验结果与理论数据的比较,分析误差产生的原因,增强工程意识,树立正确的设计理念。

1.3.2 实验装置

实验装置系统框图如图 1.3.1 所示。实验室提供曲柄滑块机构、导杆滑块机构供运动参数测试,机构运动参数测试实验以上述典型运动机构作为被测对象。

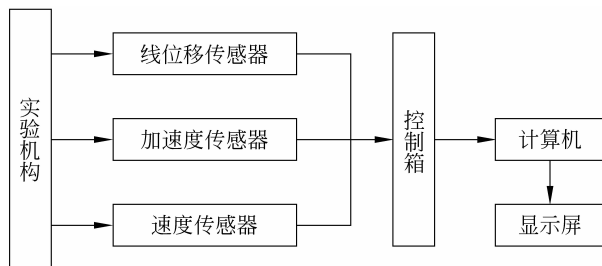


图 1.3.1 实验装置系统框图

1.3.3 实验原理

1. 曲柄滑块机构运动分析

取坐标系原点与曲柄回转中心重合, x 轴平行滑块导轨(见图 1.3.2), 滑块的位移为

$$x_C = L_{AB} \cos \theta + \sqrt{L_{BC}^2 - (L_{AB} \sin \theta - e)^2}$$

求导后可得滑块的速度和加速度。

2. 导杆滑块机构运动分析

取坐标原点与导杆摆动中心重合, x 轴平行滑块导轨(见图 1.3.3)。

B 点的位移为

$$x_B = L_{AB} \cos \theta, \quad y_B = L_{AC} + L_{AB} \sin \theta$$

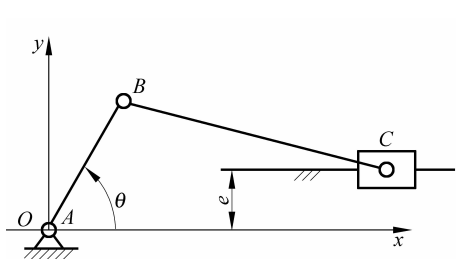


图 1.3.2 曲柄滑块机构

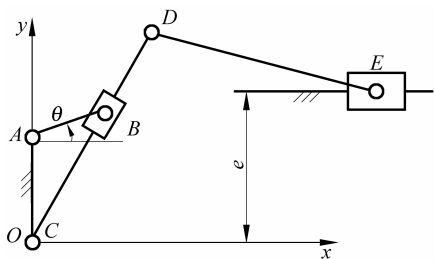


图 1.3.3 导杆滑块机构

D 点的位移为

$$x_D = x_B \frac{L_{CD}}{\sqrt{x_B^2 + y_B^2}}, \quad y_D = y_B \frac{L_{CD}}{\sqrt{x_B^2 + y_B^2}}$$

滑块的位移为

$$x_E = x_D + \sqrt{L_{DE}^2 - (y_D - e)^2}$$

1.3.4 实验准备

曲柄滑块机构：自取机构的几何尺寸，作出滑块在一个运动循环中的位移、速度、加速度曲线。思考各杆长度对运动参数变化规律的影响，设计三个以上实验方案。

导杆滑块机构：取几何尺寸 $AB=0.04\text{ m}$, $AC=0.18\text{ m}$, $CD=0.28\text{ m}$, $DE=0.3\text{ m}$, $e=0.18\text{ m}$ ，作出滑块在一个运动循环中的位移、速度、加速度曲线，并准备与实验结果对照。

1.3.5 实验步骤

1. 曲柄滑块机构运动参数测试^[2]

(1) 启动实验软件，单击“曲柄滑块机构”图标，进入曲柄导杆滑块机构运动测试、设计、仿真软件系统的界面。单击鼠标左键，进入曲柄导杆滑块机构动画演示界面。单击演示界面左下方的“曲柄滑块机构”按钮，进入曲柄滑块机构动画演示界面。

(2) 在曲柄滑块机构动画演示界面左下方单击“曲柄滑块机构”按钮，进入曲柄滑块机构原始参数输入界面。在原始参数输入界面中，单击“滑块机构设计”按钮，弹出设计方法选框。单击所选定的“设计方法一”或“设计方法二”，弹出“设计”对话框，输入相应的设计参数，待计算结果出来后，单击“确定”按钮，计算机自动将计算结果原始参数填写在参数输入界面对应的参数框内（见图 1.3.4）。

(3) 按照设计类型，将实验台测试机构拆装成图 1.3.2 所示的曲柄滑块机构，并根据设计尺寸，调整测试机构中各构件的尺寸长度。

(4) 启动实验台的电动机，待机构运转平稳后，测定电动机的功率，填入参数输入界面的对应参数框内。

(5) 在曲柄滑块机构原始参数输入界面左下方，单击选定的实验内容（曲柄运动仿真、滑块运动仿真、机架振动仿真），进入选定的实验界面。

(6) 在选定的实验内容的界面单击“仿真”按钮，动态显示机构即时位置和动态的速度、加速度曲线图（见图 1.3.5）；单击“实测”按钮，进行数据采集和传输，显示实测的速度、加速度曲线图。

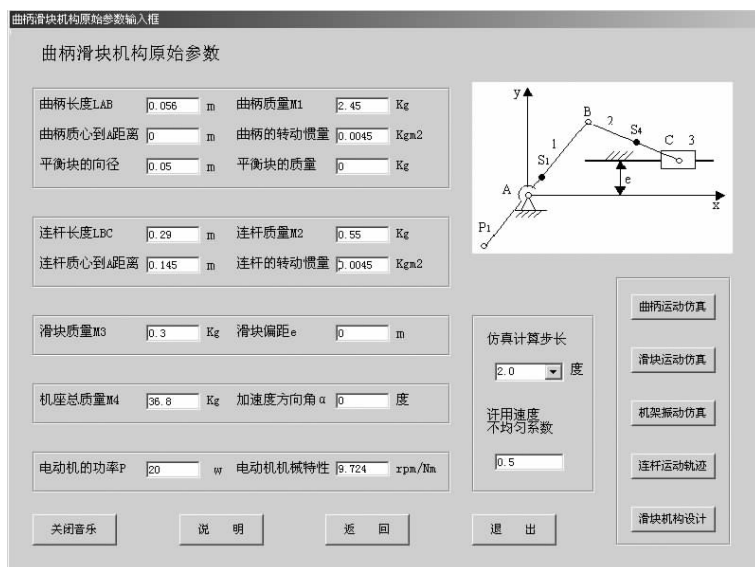


图 1.3.4 曲柄滑块机构原始参数界面

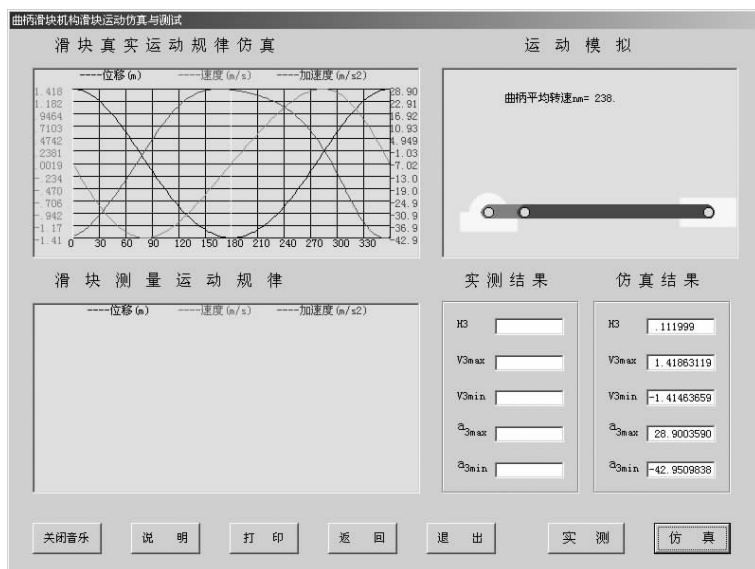


图 1.3.5 曲柄滑块机构中滑块的位移、速度、加速度曲线

(7) 在选定的实验内容的界面单击“返回”按钮,返回曲柄滑块机构原始参数输入界面,修改参数,调整测试机构中各构件的尺寸长度,单击选定的实验内容,观察几何参数的变化对机构运动的影响,填入表 1.3.1 中。

2. 曲柄导杆滑块机构运动参数测试

(1) 单击“曲柄滑块机构”按钮,进入曲柄导杆滑块机构运动测试、设计、仿真软件系统的界面。单击鼠标左键,进入曲柄导杆滑块机构动画演示界面。单击演示界面左下方“导杆滑块机构”按钮,进入曲柄导杆滑块机构原始参数输入界面(见图 1.3.6)。

(2) 在曲柄导杆滑块机构原始参数输入界面中,将设计好的尺寸填写在相应的参数框

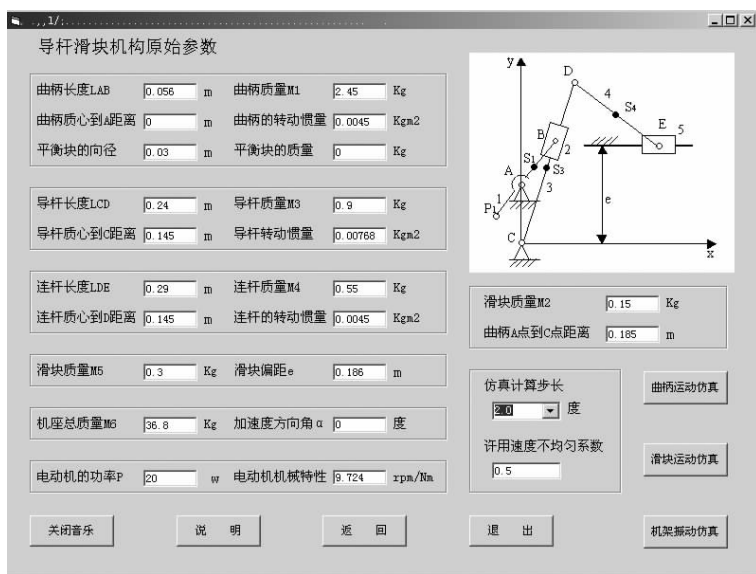


图 1.3.6 导杆滑块机构原始参数界面

内,然后按设计好的尺寸调整曲柄导杆滑块机构各构件尺寸长度。

(3) 启动实验台的电动机,待机构运转平稳后,测定电动机的功率,填入参数输入界面的对应参数框内。

(4) 在曲柄导杆滑块机构原始参数输入界面左下方,单击选定的实验内容(曲柄运动仿真、滑块运动仿真、机架振动仿真),进入选定的实验界面。

(5) 在选定的实验内容的界面单击“仿真”按钮,动态显示机构即时位置和动态的速度、加速度曲线图(见图 1.3.7);单击“实测”按钮,进行数据采集和传输,显示实测的速度、加速度曲线图。

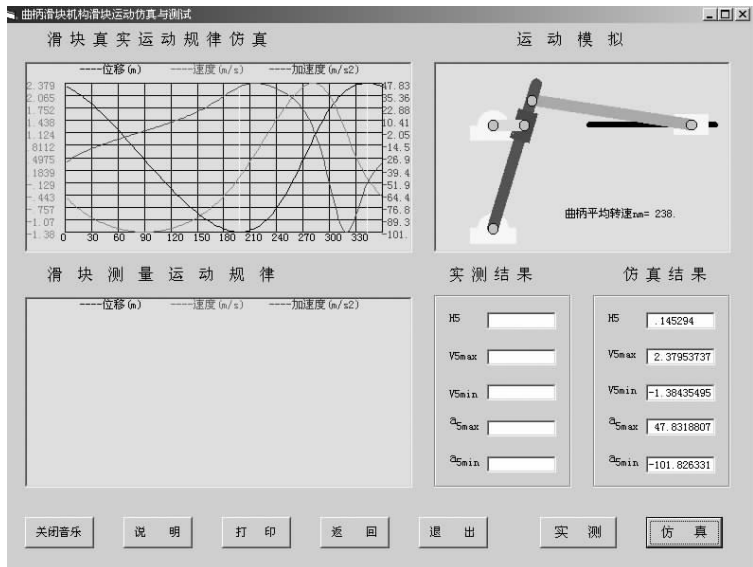


图 1.3.7 导杆滑块机构中滑块的位移、速度、加速度曲线

(6) 在选定的实验内容的界面单击“返回”按钮,返回曲柄导杆滑块机构原始参数输入界面,修改参数,调整测试机构中各构件的尺寸长度,单击选定的实验内容,观察几何参数的变化对机构运动的影响。

(7) 填写实验报告,用 $\uparrow$ 和 $\downarrow$ 表示参数的改变,填入表 1.3.2 中。

(8) 单击“结束”按钮,结束实验,返回 Windows 界面。

1.3.6 实验记录

表 1.3.1 曲柄滑块机构参数和运动变化规律

参数	初值	参数变化	位移变化	最大速度变化	最大加速度变化	备注
L_{AB}						
L_{BC}						
e						

表 1.3.2 导杆滑块机构参数和运动变化规律

参数	初值	参数变化	位移变化	最大速度变化	最大加速度变化	备注
L_{AD}						
L_{CD}						
L_{AC}						
L_{DE}						
e						

1.3.7 思考题

- (1) 在曲柄滑块机构中,位移、速度、加速度的变化分别对哪个几何参数最敏感?
- (2) 在导杆滑块机构中,位移、速度、加速度的变化分别对哪个几何参数最敏感?
- (3) 说明几何参数的变化过程中,位移、速度、加速度曲线的基本形状有无发生根本性的变化?为什么?

1.4 齿轮的范成实验

实验项目性质：验证性 实验计划学时：2

1.4.1 实验目的

- (1) 掌握用范成法切削加工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) 分析和比较标准齿轮和变位齿轮的异同点。

1.4.2 实验设备和工具

- (1) 齿轮范成仪；
- (2) 圆规、三角尺、绘图纸、剪刀、铅笔(学生自备)。

1.4.3 实验原理和方法

范成法是利用一对齿轮互相啮合时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,其中的一轮为刀具,另一轮为轮坯,二者对滚时,好像一对齿轮互相啮合传动一样;同时刀具还沿轮坯的轴向作切削运动,最后在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。为了逐步地再现上述加工过程中刀刃在相对轮坯每个位置形成包络线的详细过程,通常采用范成仪来实现。在实验时,用圆形的图纸做“轮坯”,在不考虑切削和让刀运动的情况下,使仪器中的“齿条刀具”与“轮坯”对滚,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。

现就实验室使用的齿条与齿轮传动的范成仪(见图 1.4.1)说明其工作基本原理。转动盘 1 能绕固定于机架 4 上的轴心 O 转动。在转动盘内侧固联有一个小模数的齿轮,它与拖板 5 上的小齿条 3 相啮合。通过调节螺钉 6,把模数较大的齿条刀具 2 装在拖板上。范成实验时,移动拖板,通过小齿条和齿轮的传动,能使转动盘作回转运动,而固定于转动盘上的

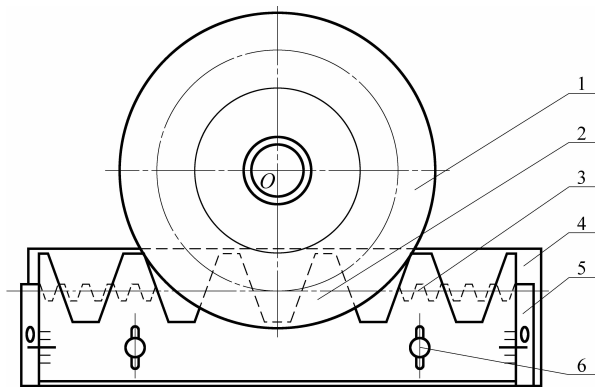


图 1.4.1 齿轮范成仪

1—转动盘; 2—齿条刀具; 3—小齿条; 4—机架; 5—拖板; 6—调节螺钉

轮坯(圆形图纸)也跟着转动。这与被加工齿轮相对于齿条刀具运动相同。

松开调节螺钉 6,可以使“刀具”相对于拖板垂直移动,从而调节“刀具”中线至“轮坯”中心的距离,以便范成出标准齿轮或正负变位齿轮。在拖板与“刀具”两端都有刻度线,以便在“加工”齿轮时调节其变位量。

1.4.4 实验前准备

学生准备实验时,应根据已知的齿条刀具参数和被加工齿轮的分度圆直径,计算被加工齿轮的齿数、最小变位系数;参考最小变位系数,选定范成实验用的正变位系数(本范成仪要求一般不超过 0.7),然后计算变位量,计算标准齿轮的基圆、齿顶圆与齿根圆直径以及变位齿轮顶圆和齿根圆直径(见表 1.4.1)。根据计算数据,将上述 6 个圆画在同一张具有一定厚度的绘图纸上,并用剪刀沿比最大圆直径大 5 mm 的圆周剪成圆形纸片,作为本实验用的“轮坯”。根据所在班级的座号安排,座号为 1~20 号的同学在“轮坯”中心剪掉一个 $\phi 6$ mm 的安装孔,座号为 21 号之后的同学在“轮坯”中心剪掉一个 $\phi 35$ mm 的安装孔(安装孔一定要按照座号规定剪,千万别剪错),在“轮坯”上标出各个圆的名称及数值。

表 1.4.1 齿轮几何参数计算

名 称	符号	计 算 公 式	计 算 结 果	
			标准齿轮	正变位齿轮
齿数	z	$z = \frac{2r}{m}$		
最小变位系数	$x_{\min}$	$x_{\min} = h_a^* \frac{z_{\min} - z}{z_{\min}}$		
变位系数	x	(根据计算出的最小变位系数自选)		
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	$r_f = r - (h_a^* + c^*)m + xm$		

实验室使用范成仪参数如下。

(1) 齿条插刀的已知参数:

模数 $m = 20$ mm; 压力角 $\alpha = 20^\circ$; 齿顶高系数 $h_a^* = 1$; 顶隙系数 $c^* = 0.25$ 。

(2) 被加工齿轮参数:

分度圆半径 $r = 80$ mm。

(3) 范成仪“轮坯”安装孔尺寸:

1~20 号范成仪为 $\phi 6$ mm;

21~50 号范成仪为 $\phi 35$ mm。

1.4.5 实验步骤

(1) 根据“轮坯”安装孔的不同,听从老师指引领取相应的范成仪。

(2) 把“轮坯”安装到仪器的转动盘上,注意必须对准中心。

(3) 调节“刀具”中线,使其与被加工齿轮分度圆相切,此时“刀具”处于切制标准齿轮时的安装位置。

(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;然后用手移动拖板,每次使“刀具”向另一端移动 $2\sim 3\text{ mm}$ 距离时,用铅笔描下刀刃在“轮坯”上的位置,直到形成 $2\sim 3$ 个完整的轮齿齿廓为止。此时应注意观察“轮坯”上的齿廓形成过程。

(5) 按已选定的正变量,再次调整“刀具”中线至“轮坯”中心的距离,用同样的方法可以“加工”出正、负变位齿轮的齿廓。

范成齿廓的毛坯图样如图 1.4.2 所示。

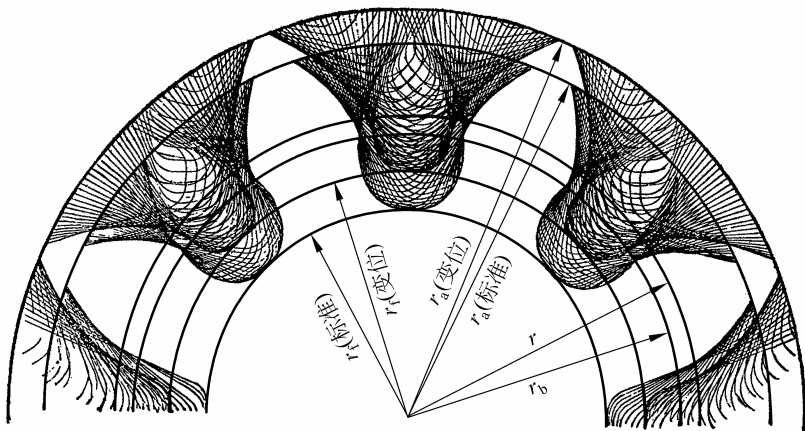


图 1.4.2 范成齿廓的毛坯图样

1.4.6 思考题

(1) 记录得到的标准齿轮齿廓和正变位齿轮齿廓的形状是否相同? 为什么?

(2) 实验中所观察到的根切现象发生在基圆之内还是在基圆之外? 分析是由什么原因引起的? 如何避免根切?

(3) 用同一齿条刀具加工的标准齿轮和正变位齿轮的尺寸参数 m 、 a 、 r 、 r_b 、 h_a 、 h_f 、 h 、 p 、 s 、 e 中哪些变了? 哪些没有变化? 为什么?

(4) 如果是负变位齿轮,那么齿廓形状和主要尺寸参数又会发生哪些变化?

1.5 齿轮参数测量实验

实验项目性质：验证性 实验计划学时：2

1.5.1 实验目的

- (1) 初步掌握用游标卡尺等工具测量渐开线齿轮基本参数的方法。
- (2) 综合应用机制工艺、技术测量等学科知识以巩固所学的渐开线性质及齿轮基本参数和几何尺寸之间的关系。
- (3) 巩固齿轮传动几何尺寸的计算。
- (4) 掌握渐开线标准直齿圆柱齿轮与变位齿轮的判别方法。

1.5.2 实验设备和工具

- (1) 渐开线圆柱齿轮 3 个(其中必须有奇数和偶数的齿轮各 1 个)；
- (2) 游标卡尺及齿厚尺等测量工具；
- (3) 自备计算工具、草稿纸等。

1.5.3 实验原理和内容

渐开线直齿圆柱齿轮的基本参数有齿数 z 、模数 m 、齿顶高系数 h_a^* 、径向间隙系数 c^* 、分度圆压力角 α 和变位系数 x 等。本实验是用游标卡尺等工具来测量,并通过计算来确定齿轮这些基本参数。

- (1) 直接数得一对待测齿轮的齿数 z_1 和 z_2 。
- (2) 测量一对齿轮的齿顶圆直径 d_{a1} 和 d_{a2} 及齿根圆直径 d_{f1} 和 d_{f2} 。

当齿数为偶数时,可用卡尺的卡脚卡对称齿的齿顶及齿根直接测得(见图 1.5.1)。当齿数为奇数时,用上述方法不能直接测量到齿顶圆直径 d_a 和齿根圆直径 d_f ,只能用间接测量法求得 d_a 和 d_f (见图 1.5.2)。先量出定位轴孔直径 D 、孔壁到齿根的距离 H_2 、另一侧孔壁到齿顶的距离 H_1 的尺寸,则 d_a 和 d_f 可用下式求出:

$$d_a = D + 2H_1, \quad d_f = D + 2H_2$$

- (3) 测量公法线长度 W_K 以确定模数 m 、压力角 α 及基圆齿厚 S_b 。

公法线的测量方法(见图 1.5.3)如下:用游标卡尺的量足跨过齿轮的 K 个齿,测得齿

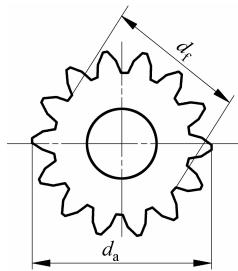


图 1.5.1 偶数齿的测量

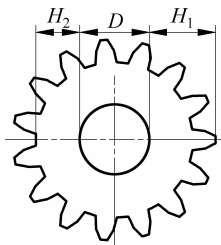


图 1.5.2 奇数齿的测量

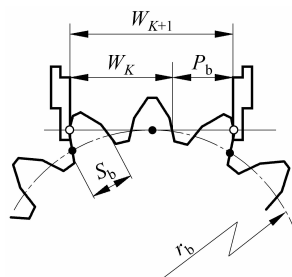


图 1.5.3 公法线长度测量

廓间公法线长度 W_K , 然后再跨 $K+1$ 个齿, 测得齿廓间公法线长度 W_{K+1} 。为了保证卡尺的两个量足与齿廓的渐开线部分相切, 卡尺的两量足所跨的齿数 K 应根据被测齿轮的齿数 z 参照表 1.5.1 选取。

表 1.5.1 跨测齿数

齿数 z	12~18	19~27	28~36	37~45	46~54	55~63	64~72	73~81
跨齿数 K	2	3	4	5	6	7	8	9

由渐开线的性质可知, 齿轮齿廓的公法线长度与其对应的基圆上的圆弧长度相等, 因此有

$$W_K = (K-1)P_b + S_b, \quad W_{K+1} = KP_b + S_b$$

由此可得

$$P_b = W_{K+1} - W_K, \quad S_b = W_{K+1} - KP_b$$

一对相啮合齿轮的基圆齿距是相等的, 所以经测量求得的 P_{b1} 和 P_{b2} 应近似相等。

由求得的 P_b 可算出模数

$$m = \frac{P_b}{\pi \cos \alpha}$$

压力角 α 的标准值一般为 20° 或 15° (不常用), 分别将这两个值代入上式, 计算出与标准值相接近的一组模数和压力角, 即为所求的值。模数的标准值见表 1.5.2, 一对相啮合的齿轮的模数、压力角相等。

表 1.5.2 标准模数系列 (GB/T 1357—2008)

第一系列	0.1, 0.12, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8, 1, 1.25, 1.5, 2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50
第二系列	0.35, 0.7, 0.9, 1.75, 2.25, 2.75, (3.25), 3.5, (3.75), 4.5, 5.5, (6.5), 7, 9, (11), 14, 18, 22, 28, (30), 36, 45

注: 优先选用第一系列, 其次是第二系列, 括号内的模数尽可能不用。

(4) 求分度圆直径 d 和基圆直径 d_b 。

$$d = mz, \quad d_b = d \cos \alpha$$

(5) 求齿顶高 h_a 和齿根高 h_f 。

$$h_a = \frac{d_a - d}{2}, \quad h_f = \frac{d - d_f}{2}$$

如果测得的 h_a 、 h_f 与 $h_a^* m$ 、 $(h_a^* + c^*) m$ 的值非常接近, 可以认为所测齿轮为标准齿轮, 以下(6)、(7)、(9)内容则不再进行, 直接进行第(8)项, 测量计算中心距。

(6) 求分度圆齿厚 S 。由公式

$$S_b = \frac{Sr_b}{r} - 2r_b(\text{inv}\alpha_b - \text{inv}\alpha) = S \cos \alpha + 2r_b \text{inv}\alpha$$

可得

$$S = S_b / \cos \alpha - 2r \text{inv}\alpha \quad (\text{式中 } S_b \text{ 已测出, } 2r = mz)$$

(7) 确定变位系数 x 。变位后,分度圆齿厚 $S=m\left(\frac{\pi}{2}+2x\tan\alpha\right)$,故

$$x = \frac{S/m - \pi/2}{2\tan\alpha}$$

(8) 求无侧隙传动的齿轮中心距。用间接测量法测出实际中心距 $A=(A_1+A_2)/2$ (方法见图 1.5.4)。

由无侧隙啮合方程 $\text{inv}\alpha' = \text{inv}\alpha + \frac{2(x_1+x_2)}{z_1+z_2} \cdot \tan\alpha$, 求出 α' 。

标准齿轮传动计算中心距 $a = \frac{m}{2}(z_1+z_2)$ 。

变位齿轮传动计算中心距 $a' = \frac{m}{2}(z_1+z_2) \cdot \frac{\cos\alpha}{\cos\alpha'}$ 。

(9) 确定齿顶高系数 h_a^* 和径向间隙系数 c^* 。

因为

$$h_f = m(h_a^* + c^* - x) = \frac{mz - d_f}{2}$$

则

$$h_a^* + c^* = x + \frac{mz - d_f}{2m}$$

将所测得的结果和两组标准值($h_a^* = 1, c^* = 0.25$ 和 $h_a^* = 0.8, c^* = 0.3$)代入上式,比较符合等式的一组值即为所求的值。

1.5.4 实验要求

为了消除零件的固有误差和测量误差,每个尺寸应测量 3 次(数据记入实验报告),取其算术平均值作为测量数据,计算出齿轮各参数,见表 1.5.3。

表 1.5.3 齿轮参数

参 数	公 式	齿 轮 编 号		
		1	2	3
齿数 z				
跨齿数 K	$K = \frac{\alpha z}{180^\circ} + 0.5$			
K 齿公法线长度 W_K				
$K+1$ 齿公法线长度 W_{K+1}				
基圆齿距 P_b	$P_b = W_{K+1} - W_K$			
模数 m	$m = \frac{P_b}{\pi \cos\alpha}$			
压力角 α	20°			
基圆齿厚 S_b	$S_b = W_{K+1} - KP_b$			

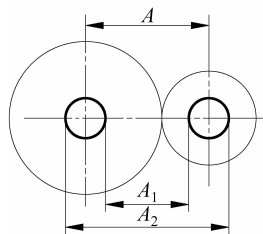


图 1.5.4 中心距的测量

续表

参 数	公 式	齿 轮 编 号		
		1	2	3
分度圆直径 d	$d=mz$			
齿顶圆直径 d_a	$d_a=d+2h_a^* m$			
齿根圆直径 d_f	$d_f=d-2(h_a^* m+c^*)m$			
是否变位	$x>$ 或 $=$ 或 <0			

1.5.5 实验记录

自行编写实验报告,计算出所测齿轮的基本参数。说明你所测量的齿轮属于哪种传动类型。

1.5.6 思考题

- (1) 决定渐开线齿轮轮齿齿廓形状的参数有哪些?
- (2) 测量渐开线齿轮公法线长度是根据渐开线的什么性质?
- (3) 通过测量齿轮的公法线长度可间接得到齿轮的哪些几何尺寸和基本参数?
- (4) 在测量渐开线直齿圆柱齿轮的齿根圆和齿顶圆时,齿数为奇数和偶数时有何不同?

1.6 凸轮廓线检测实验

实验项目性质：验证性 实验计划学时：2

1.6.1 实验目的

- (1) 掌握凸轮廓线检测的原理和方法。
- (2) 巩固和加深凸轮基本理论。
- (3) 比较不同形式从动杆对位移的影响。
- (4) 比较偏距及滚子半径对位移的影响。

1.6.2 实验设备及工具

- (1) 凸轮轮廓线检测实验仪；
- (2) 0~30 mm 的百分表；
- (3) 被检测的凸轮试件以及尖顶、滚子和平底从动杆；
- (4) 自备记录纸和常用文具。

1.6.3 实验原理和方法

凸轮轮廓线的检测方法一般分为两类：一是检测出凸轮廓线的极坐标；二是检测出凸轮廓线所决定的从动杆位移曲线图。图 1.6.1 是凸轮廓线检测仪简图^[3]，可测出直动从动杆盘状凸轮机构的位移。

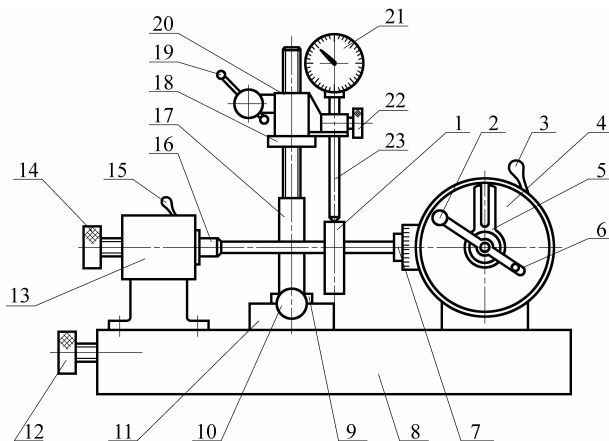


图 1.6.1 凸轮廓线检测仪简图

- 1—凸轮；2—分度手柄；3—固紧手柄；4—分度头；5—定位仪；6—定位销；7—分度头主轴；
8—底座；9—横移座盖；10—横向丝杠；11—横移座；12—纵向丝杠；13—主轴座；
14—丝杠；15, 19—手柄；16—顶针；17—支架；18—螺母；20—升降螺母；
21—百分表；22—锁紧手轮；23—从动杆

1. 检测仪组成

凸轮廓线检测仪由机械分度头、大量程百分表、横移座、纵移座和工作台等主要部分组成,如图 1.6.1 所示。

被测凸轮由 FW-100 机械分度头带动下转动并读取角度。分度头定数为 40,分度手柄转数 $n=40/z$, z 为工件所需的等分数。如利用分度盘上 54 孔的孔盘,分度手柄转过一个孔(相当于 $n=1/54$)则工件的等分数 $z=40 \times 54=2160$,即转过 10° 。

百分表用来指示凸轮极径或从动杆位移,量程为 30 mm,刻度值为 0.01 mm。百分表测杆的端部有平底、尖顶、小滚子 $\phi 20$ mm、大滚子 $\phi 30$ mm 等不同形式的结构。

横向丝杠能调整横移座的位置,改变导路位置,以适应对心和偏心凸轮机构,调整范围为 ± 20 mm。其余丝杠分别调整百分表架高度,以适应不同尺寸(径向,轴向)凸轮的检测。

2. 检测原理

凸轮廓线检测原理一般分为两类:一是检测凸轮廓线极坐标;二是检测出凸轮廓线所决定的从动杆位移曲线。

检测凸轮廓线极坐标图的原理是:无论什么形式从动杆的盘状齿轮,一律按对心尖顶直动从动杆盘状齿轮机构原理进行。通常把极轴取在齿轮廓线上开始有位移点的极径处,用分度头带动凸轮转动并指示极角,用大量程百分表指示极径的变化,再利用已知直径的检测棒、心轴或块规就可得出凸轮廓线的极径值。

检测凸轮机构的位移曲线比较复杂,因为从动件的位移不仅取决于凸轮实际廓线,还与偏心距、从动件结构形状、滚子半径大小有关,只有对心尖顶直动从动件盘状凸轮机构的位移变化量与廓线极径变化量相等、凸轮转角与廓线转角相等、检测位移曲线与检测极坐标图一样,其他形式的凸轮机构,从动杆位移与凸轮廓线极径、凸轮转角和廓线极角、检测位移曲线与检测极坐标图等完全不同。上述这些就是凸轮廓线检测基本原理。

3. 实验内容

- (1) 用小滚子测头按对心直动从动杆盘状凸轮机构原理测从动件位移。
- (2) 用尖顶测头按对心直动从动杆盘状凸轮机构原理测凸轮极坐标图。
- (3) 用小滚子测头按偏置直动从动杆盘状凸轮机构原理测从动杆位移,偏距 $e=5$ mm。
- (4) 用大滚子测头按对心直动从动杆盘状凸轮机构原理测从动杆位移。
- (5) 用平底测头按对心直动从动杆盘状凸轮机构原理测从动杆位移。

为了计算和绘图方便,测头(从动杆)在起始位置时百分表读数置零。从动杆起始位置是测头与凸轮实际基圆段端点接触时的位置,此时从动杆处于最低位置。将测头对心安装,借助尺寸已知的标准圆盘、心轴或块规可以测得极径及基圆半径的尺寸。

1.6.4 实验步骤

(1) 松开手柄 15,转动丝杠 14,使顶针 16 伸缩,将被检测凸轮 1 安装在分度头主轴 7 与顶针 16 上,然后进行校正,使凸轮轴线与分度头主轴线重合。

(2) 将百分表 21 装夹在支架 17 的升降螺母 20 的侧孔内,锁紧手轮 22。然后转动纵向丝杠 12,使支架 17 左右移动,从而使从动杆 23(即百分表测量杆)移动到凸轮的正上方,松开手柄 19,慢慢转动螺母 18,使从动杆 23 接触凸轮廓面,并锁紧手柄 19。然后再转动横向丝杠 10,使支架 17 前后移动,按实验要求调节从动杆 23 的偏距 e (其数值可从横向座左侧

面的标尺上读出),并调整好从动杆与凸轮的相对位置。

(3) 松开分度头的固紧手柄 3,拉起定位销 6,慢慢正反转动手柄 2,使凸轮 1 随分度头主轴 7 转动。找正测量凸轮廓线的升程开始位置(凸轮上有标记),插下定位销 6,转动百分表 21 的刻度盘使其指针置于 0,并对应记录凸轮转角 $\phi=0^\circ$,从动杆位移 $S=0$ 。

(4) 凸轮的分度采用简单分度法,分度头 4 内的蜗轮蜗杆传动比为 $1:40$,设凸轮所需的等分数为 z ,如果利用分度盘上的 54 孔圈来分度,则可以计算出凸轮每转过 10° (即 36 等分)时手柄 2 所转过的孔数为 60 孔(一圈加 6 个孔)。具体做法是:由定位销 6 开始,逆时针数 60 个孔,并将定位仪 5 拨到第 60 个孔,然后拉起定位销 6,逆时针方向转动分度手柄 2,定位销 6 随同转动插入第 60 个孔中,然后从百分表 21 读出从动杆的位移量(百分表每小格刻度值为 0.01 mm)。并对应记录 ϕ 与 S 值。如此重复,直到凸轮转回到起始位置,就可测得 36 对 ϕ 与 S 的对应值。

(5) 根据实验内容(1)~(5),重复实验步骤(1)~(4),则先后测得其余三组凸轮机构的 ϕ 与 S 值,并将实验数据填入表 1.6.1 中。

表 1.6.1 凸轮检测测量数据

$\phi/^\circ$	S/mm				
	从动件位移 (小滚子,对心)	从动件位移 (尖顶,对心)	从动件位移 (小滚子,偏置)	从动件位移 (大滚子,对心)	从动件位移 (平底,对心)
0					
10					
20					
30					
40					
50					
60					
70					
80					
90					
100					
110					
120					
130					
140					