



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 机械原理与机械设计实验指导

JIXIE YUANLI YU JIXIE SHEJI SHIYAN ZHIDAO

朱聘和 王庆九 汪久根 洪玉芳 朱新杰 编



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS  
浙江大学出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 机械原理与机械设计实验指导

朱聘和 王庆九 汪久根 洪玉芳 朱新杰 编



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS  
浙江大学出版社

## 内容简介

机械设计实验教学是机械类专业人才培养的重要环节,本实验指导教材是基于浙江大学国家级机械工程实验教学示范中心的实验教学体系,并在总结和借鉴多年实验教学经验和实验指导资料的基础上而编写的。

教材内容主要涉及“机械原理”、“机械设计”、“机械设计基础”这三门机械基础课,同时也加入了部分综合与创新类实验。本教材是本科生实验教学的实验指导书,适用于机械类及近机类相关专业的学生。

## 图书在版编目(CIP)数据

机械原理与机械设计实验指导 / 朱聘和等编. — 杭州: 浙江大学出版社, 2010. 6  
ISBN 978-7-308-07605-0

I. ①机… II. ①朱… 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. ①TH111-33②TH122-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 095157 号

## 机械原理与机械设计实验指导

朱聘和 王庆九 汪久根 洪玉芳 朱新杰 编

---

责任编辑 张 真  
封面设计 刘依群  
出版发行 浙江大学出版社  
(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)  
(网址: <http://www.zjupress.com>)  
排 版 杭州好友排版工作室  
印 刷 杭州杭新印务有限公司  
开 本 787mm×1092mm 1/16  
印 张 8.5  
字 数 207 千  
版 次 2010 年 6 月第 1 版 2010 年 6 月第 1 次印刷  
印 数 0001—2054  
书 号 ISBN 978-7-308-07605-0  
定 价 20.00 元

---

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话(0571)88925591

# 前 言

机械设计类课程在机械类、近机类专业人才培养过程中占有十分重要的地位。与此类课程有关的实验教学对理论知识的理解、实验手段与方法的掌握及创新意识的培养有着不可替代的作用。

本教材的内容主要针对“机械原理”、“机械设计”、“机械设计基础”课程实验教学需要,结合浙江大学国家级机械工程实验教学示范中心的实验教学体系而编写。

本教材在内容和编写上有如下特点:

1. 在实验导论章节中讲述了实验中常用的基本知识,希望学生能对实验过程、机械量的获取、实验数据处理等有个初步的了解。

2. 对每个实验的背景理论知识作了介绍,以便学生更深一步了解实验的目的,更好地把握实验过程。

3. 每个实验都提供了参考文献与思考题,便于学生进一步学习。

参加本书编写的有:朱聘和(第一章及第三章 3-5 节)、王庆九(第二章 2-1~2-7 节及第四章 4-1 节)、洪玉芳(第三章 3-1、3-4、3-6、3-7 节及第四章 4-3 节)、汪久根(第三章 3-2、3-3 节及第四章 4-4 节)、朱新杰(第四章 4-2、4-5 节)。全书由朱聘和统稿。

本教材在钱向勇主编的《机械原理与机械设计实验指导书》的基础上,结合实验教学改革重新编写。编写过程中参考了其他同类教材、资料及文献,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中缺点和错误难免,敬请读者指正。

编 者

2009 年 10 月

# 目 录

第一章 实验导论	1
第二章 机械几何参数与运动参数类实验	8
§ 2-1 机构运动简图测绘分析实验	8
§ 2-2 渐开线齿轮几何参数测定实验	11
§ 2-3 渐开线齿轮范成原理实验	14
§ 2-4 机构组合运动参数测定实验	17
§ 2-5 回转件动平衡实验	21
§ 2-6 凸轮廓线检测实验	27
§ 2-7 机组运转及飞轮调节实验	30
第三章 机械工作能力与结构类实验	37
§ 3-1 带传动性能实验	37
§ 3-2 链与万向节传动性能实验	42
§ 3-3 封闭功率流式齿轮传动效率实验	47
§ 3-4 液体动压径向滑动轴承实验	56
§ 3-5 滚动轴承载荷分布实验	63
§ 3-6 轴系结构分析设计实验	70
§ 3-7 减速器装拆及结构分析实验	76
第四章 综合与创新型实验	81
§ 4-1 机构组合创新设计平台实验	81
§ 4-2 慧鱼机器人创新设计实验	89
§ 4-3 机械传动综合设计实验	103
§ 4-4 机械零件材料的摩擦、磨损与润滑实验	111
§ 4-5 机械手运动控制实验	122

# 第一章 实验导论

机械工程是国家建设发展的支柱学科,“机械设计”、“机械原理”是重要的机械基础理论课程,针对近机类和部分非机类专业开设的“机械设计基础”课程也被认为是重要的技术基础课。这些课程既有系统的理论知识体系,又有很强的工程应用背景。与这些课程关联的实验教学对学生更好地理解理论知识、提高实验技能、培养创新意识等都有重要的意义。随着对实验教学的日益重视,实验教学不再认为是理论学习的附属,而是与理论学习同等重要的实践能力的培养环节,对工科学生来说尤为如此。

## 一、如何进行实验

科学发展的历史表明,许多伟大发现、发明的产生大都来自实验室。据统计,全世界诺贝尔奖获得者 72% 都是在实验中做出贡献而获此殊荣的。理论知识需要通过实践检验,而实验往往又能产生新的理论。在机械基础类实验中,我们可以把实验分为三个层次:即第一层次的基本实验,这是每个学生必做的,通常为了验证理论知识;第二层次的综合实验,难度比基本实验略有提高,目的是提高学生的动手能力和解决问题的能力,可以是必做或选做;第三层次的设计和创新实验,目的是进一步提高学生的综合能力,鼓励学生大胆创新,勇于探索,培养初步开展科学研究的能力。这部分实验可以用选修课的形式或课外科技活动的形式来进行。

一个合格的现代科技人才,不仅要掌握一定的知识,更重要的是具有科学的思维方法,具备不断地获取新知识和对未知问题进行研究的能力。因此,在实验过程中,我们不仅要按照实验步骤完成实验,同时也要思考为什么要采用这样的实验装置和实验方法,有没有比这更好的实验方法,实验装置是否可以设计的更合理些等问题。特别是实验中的一些现象或数据与理论有差异时,应大胆地提出自己的观点与指导教师探讨。

由于实验的学时十分有限,往往一个实验必须在较短的时间内完成。所以要求学生提前预习实验内容,在做实验前应初步了解本次实验的设备仪器、实验的目的及相关的理论知识,以便取得更好的实验效果。

实验中应爱护仪器设备,注意人身安全,按照实验指导书的要求进行实验。实验完毕要对实验设备卸载,关闭电源,恢复原来的状态。

## 二、实验数据的测量和记录

在机械工程基础实验中,对各种机械量的检测是十分重要的。所谓机械量是指几何学量(长度、位置、尺寸、深度、角度等)、运动学量(位移、转角、速度、加速度等)、力学量(质量、转动惯量、压力、力矩等)的总称。现代机械基础实验中比较多的采用传感器把机械量转化为电量,通过转换电路输出至显示与记录设备。



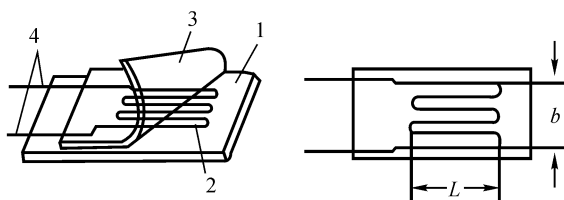
传感器按照工作原理分类可分为机械式、电阻应变式、电感式、电容式、光学式等。如果按照被测量的分类可分为位移传感器、速度传感器、加速度传感器、力传感器、温度传感器等。按输出信号分类可分为模拟式和数字式。

下面简单了解一下在机械设计基础实验中常见机械量的测量方法。

### (一)力的测试

在机械中,力是广泛存在的,如机器的载荷、牵引力、摩擦力、压力等。力的国际单位为牛顿(N)。在实验中如果机器的加载采用砝码,力的测量可以直接计算砝码的质量,测量精度取决于砝码分级密度和砝码等级。但在大多数的情况下,力的测量使用传感器。

比较常用的电阻应变式传感器是利用电阻应变效应,即金属电阻丝随机械变形(伸长或缩短)其电阻值发生变化这种现象。通常把电阻丝绕成栅状并制成应变片(图 1-1),通过黏合剂粘贴到被测件表面上,随被测件一起变形。当应变片敏感栅的电阻发生变化,产生正比于被测力的电压或电流信号,测定电压或电流就可通过换算确定力的大小。这是目前应用很广的测力方法。



1—基片 2—直径为 0.025mm 左右的高电阻率的合金电阻丝 3—覆盖层  
4—引线,用以和外接导线连接 L—敏感栅长度 b—敏感栅的宽度

图 1-1

如果把电阻应变片与弹性元件等组合成一个元器件,就成为电阻应变式测力传感器,把传感器安装在所需位置即可直接进行力的测量。

由于能测弹性敏感元件的应变或位移的传感元件很多,因此测力的传感器种类繁多,应用较为普遍的有电阻式、压电式、压磁式、谐振式、电容式等。

### (二)位移、速度和加速度的测量

位移、速度和加速度是描述物体运动的重要参数。物体运动的方向主要分为直线移动和转动(角位移)。相应的速度和加速度也分别称为线速度、线加速度和角速度、角加速度。

#### 1. 位移测量

位移测量的传感器分别针对线位移和角位移的测量有多种类型,也可以通过一些运动形式转换机构来实现线位移和角位移之间的转换,例如齿轮齿条传动、螺旋传动等。

由两个平行极板组成的变极距式电容传感器(图 1-2),将机械位移量转换为电容量变化。当极距  $\delta$  有一微小变化时,将引起电容量的变化。因此,只要测出电容变化量,便

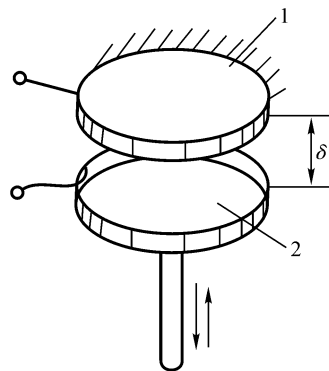


图 1-2

可测得极板间距的变化量,即动极板的位移量。

由于这种传感器的电容量与极板间距离的变化关系呈非线性,在实际应用中,为了提高传感器的线性度和灵敏度,常常采用差动式:电容传感器有三个极板,其中两端的两个极板固定不动,中间极板可以产生移动。

利用电磁感应原理,把被测位移量转换为电感量变化的传感器称电感式位移传感器。按照转换原理不同,可分为自感式和互感式两大类。其中变隙式电感位移传感器属自感式。变隙式电感位移传感器由线圈 1、衔铁 3、铁心 2 等部分组成(图 1-3),在铁心与衔铁间有一气隙  $\delta$ 。衔铁随被测物体产生位移时,会引起磁路变化,作为传感器线圈的励磁电源,当传感器线圈的电感量发生变化时,流过线圈的电流也发生相应的变化。在实际应用中,可以通过测电流的幅值来测量位移量的大小。

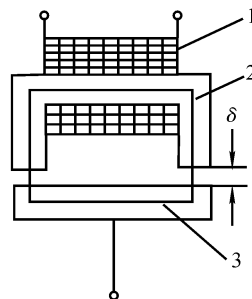


图 1-3

通常用于线位移的传感器通过把旋转运动转换为直线移动的机构,就可以用来测量角位移。

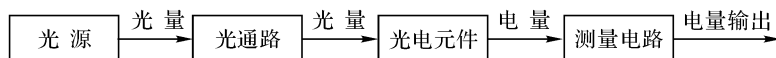
## 2. 速度测量

运动较平稳的物体的线速度,可以用平均速度测量法,即预先测出物体移动的距离  $\Delta S$  和物体通过这段距离的时间  $\Delta t$ ,两者的比值即为平均速度。为了得到较精确的时间间隔  $\Delta t$ ,可采用适当的区载装置,即在距离的始末两端安装可由移动物体触发产生电脉冲的“靶”,记录始末两端“靶”所产生电脉冲的时间差就可得到  $\Delta t$ 。

在机械中更多的是转速的测量,用于测量转速的方法主要有转速表、光电法、磁电法等。

转速表的测量杆直接与被测转轴的端面接触并随轴一起转动,可在表上直接显示转速。转速表的工作原理有机械式、磁电式及激光式等。

使用光电法测量转速时,光电式转速传感器一般由四部分组成:

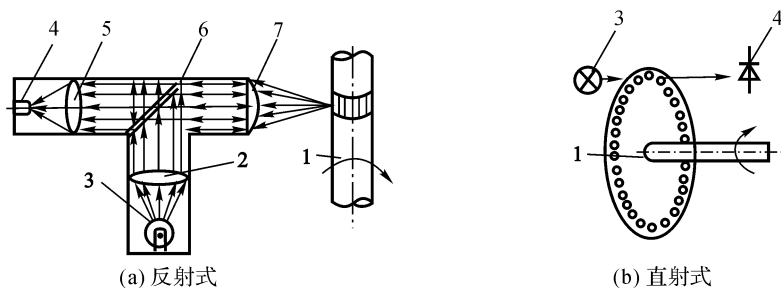


### (1) 直射式光电转速传感器

直射式光电转速传感器由开孔圆盘、光源、光敏元件等组成(图 1-4(b))。光源发出的光通过圆盘的孔照射到光敏元件上,光敏元件将光信号转换为电信号输出。圆盘与被测轴相连接,因此,被测轴转速由光敏元件输出的电信号可测得。

### (2) 反射式光电转速传感器

反射式光电转速传感器由光源、透镜及膜片等组成(图 1-4(a))。膜片既能使发射的红外光射向转动的物体,又能使从转动物体反射回来的红外光穿过膜片射向光电元件。测量转速时,在被测物体上粘贴一小块红外反射纸,这种反射纸是一种涂有玻璃微珠的反射膜,具有定向反射作用。当被测物体旋转时,红外接收管内接收到反射光的强弱变化而产生相应变化的电信号,该信号经电路处理和计数,得到被测物体的转速。



1—转轴 2—透镜 3—光源 4—光电元件 5—聚焦透镜 6—膜片 7—聚光镜  
图 1-4 光电式转速计

### (3) 光电编码器

光学码盘式传感器是用光电方法把被测角位移转换成以数字代码形式表示的电信号的转换部件。如图 1-5 所示,由光源 1 发出的光线经柱面镜 2 变成一束平行光或会聚光,照射到码盘 3 上。码盘由光学玻璃制成,其上刻有许多同心码道,每位码道上部有按一定规律排列着的若干透光和不透光部分,即亮区和暗区。通过亮区的光线经狭缝 4 后,形成一束很窄的光束照射在光电元件 5 上。光电元件的排列与码道一一对应。当有光照射时,对应于亮区和暗区的光电元件输出的信号相反,光电元件的各种信号组合,反映出按一定规律编码的数字量,代表了码盘轴的转角大小。

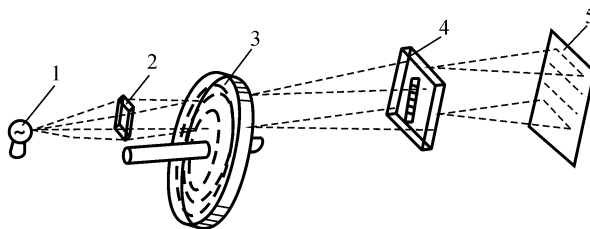


图 1-5 光学码盘式传感器工作原理

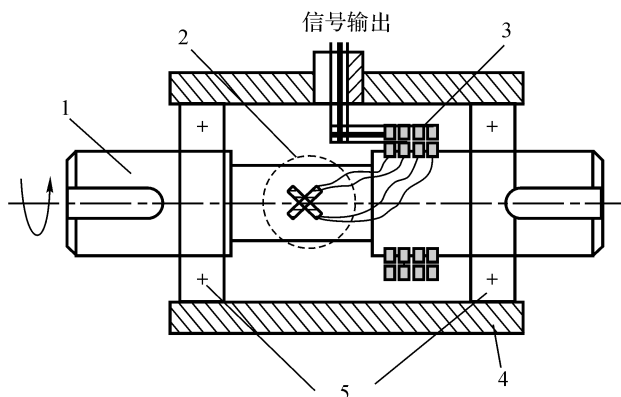
## 3. 加速度测量

加速度是运动参数,所以,加速度传感器首先都要经过质量弹簧的惯性系统,将加速度转换为力,力作用在弹性元件上,然后再经过测力传感器来间接度量被测的加速度。加速度传感器也有多种形式,常用的有压阻式、压电式、电容式等。

### (三) 转矩测量

转矩是机械系统中各种旋转机械动力传递的基本载荷形式。在机械传动效率、功率测量中也要对转矩进行测量,比如把转矩乘以角速度就可得出功率。

典型的转矩传感器如图 1-6 所示,弹性转轴的两端为转矩的输入输出端,弹性转轴在转矩的作用下产生扭转变形,粘贴在弹性转轴上的应变片产生相应的应变电信号,通过信号的处理可得到转矩值。



1—弹性转轴 2—应变片 3—电刷 4—外壳 5—轴承

图 1-6 应变式转矩传感器示意图

#### (四)数据记录装置

一个测量用传感器获得所需信号,又经中间变换器将信号进一步加工放大后,必须通过记录或显示仪器,才能供直接观察分析,或将其保存下来,事后供后续仪器对所测信号进行分析、处理。

显示仪器有用于模拟量显示的各种指针式仪表。数字显示器件主要有数码管、发光二极管、液晶显示器等。

记录仪器用来记录一物理量随时间变化的函数关系,也可记录两物理量之间的函数关系。除了常用的射线示波器以外,还常用两大类记录仪器,即显性记录及隐性记录仪器。经显性记录后(立即或经适当后续处理后),在记录介质(如纸带、感光带等)上可观察到所测信号的变化情况。这类记录仪器有各种书写式记录仪、光线示波器、打印机等。隐式记录是在记录后不能在记录介质上直接观察到记录波形或数据,需通过其他仪器设备才能显示出来,比如各种磁记录设备。

而当前最常用的是计算机辅助数据采集和分析系统。由于计算机对数据的储存、读取、分析与处理都非常方便,因此,计算机正在逐渐取代其他的记录设备。

### 三、实验数据的处理

测量过程中获取的实验数据往往会存在各种误差,原因有:测量设备本身缺陷、外部环境变化、被测对象工作不稳定、人为疏忽等,造成对同一数据多次测量结果的离散性。为得到合理的测量结果,有必要对实验数据进行适当的处理。

#### (一)算术平均值

设对某量一系列测量值为  $x_1, x_2, \dots, x_n$

把明显异常值去掉后,则剩下的  $n'$  个测量值的算术平均值为

$$\bar{x} = \frac{1}{n'} \sum_{i=1}^{n'} x_i$$

测量次数  $n$  越多,其算术平均值越接近真值。



## (二) 数据变量关系的处理

在实验中常常要获得变量之间的关系,比如转速与摩擦因数、载荷与传动效率,以得出反映两个变量之间近似函数关系的曲线,这在工程上称拟合。对于典型的曲线方程可拟合成近似直线方程,也可分段拟合为若干段直线方程。

若有一系列数据:

$$x_1, x_2, \dots, x_n$$

$$y_1, y_2, \dots, y_n$$

如果这些数据基本上呈线性关系,即  $y=f(x)$  是直线方程,可用一个线性方程来表示:

$$y = \omega + a x$$

只要确定方程中的两个常量  $\omega$  和  $a$ ,就能得到相应的直线方程。确定  $\omega$  和  $a$  的方法通常有如下数种。

### 1. 端值法

把系列测量数据的起点  $(x_1, y_1)$  和终点  $(x_n, y_n)$  代入上述方程得:

$$\begin{cases} y_1 = \omega + a x_1 \\ y_n = \omega + a x_n \end{cases}$$

解方程组,求出  $\omega$ 、 $a$ 。

这实际上是用两个端点连成的直线来代表测量值之间的函数关系。

### 2. 平均法

把全部数据逐组代入线性方程,得  $n$  个方程:

$$\begin{cases} y_1 = \omega + a x_1 \\ y_2 = \omega + a x_2 \\ \dots \\ y_n = \omega + a x_n \end{cases}$$

把方程组平均分成二组,每组数据相加求平均值:

$$\begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^k y_i}{k} = \omega + a \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{k} \\ \frac{\sum_{i=k+1}^n y_i}{k} = \omega + a \frac{\sum_{i=k+1}^n x_i}{k} \end{cases}$$

式中  $k$  是一组中的方程数。简化后得:

$$\begin{cases} y^{k1} = \omega + a x^{k1} \\ y^{k2} = \omega + a x^{k2} \end{cases}$$

联解方程组可得  $\omega$ 、 $a$  值。

### 3. 最小二乘法

对测量数据的最小二乘法线性拟合,在几何图形上可以这样理解:把测量数据标在平面直角坐标图上,用最小二乘法拟合一条直线来近似表示变量之间的函数关系;在坐标图上我们把实际测量数据与拟合直线之间在坐标轴  $Y$  方向上的误差称为残差,用  $u_i$  表示。那么用最小二乘法拟合的直线所产生的残差平方和较之其他拟合方法将是最小的。

对线性方程  $y = \omega + ax$ , 根据所有测量数据的残差平方和  $u$  最小的原则可得:

$$u = \sum [y_i - (\omega + ax_i)]^2 \rightarrow \min$$

对上式中  $\omega$ 、 $a$  求偏导数, 并令其等于零, 可解出  $\omega$  与  $a$ , 代入上式即可求出用最小二乘法拟合的线性方程与实测数据之间的残差平方和。

再将  $\omega$  与  $a$  代入方程  $y = \omega + ax$ , 可求出用最小二乘法拟合的线性方程。

#### 四、实验报告的撰写

每个实验都会要求撰写实验报告, 一般的实验报告应包括实验的名称、目的、原理、装置及数据处理和结果分析等。

实验报告要语言简洁, 一般采用第三人称语气。在报告中对结果的分析要用数据表示, 避免空洞的描述。实验数据往往采用图形、曲线、表格来描述变量之间的关系。如果实验数据比较准确, 能反映客观的变化规律, 也可以用统计学方法归纳出变量之间的关系, 得出相应的经验公式。

实验报告中使用的名词、符号及公式应符合规定, 一般应与所使用教材中的一致。

#### 五、实验技术和实验能力

实验技术是在不断发展和进步的。比如, 由于计算机技术的发展, 目前许多实验都采用计算机进行数据采集、处理和存储, 大大提高了实验的精度和效率。

过去机械类实验由于其对设备的依存性很大, 设备的柔性和通用性低, 实验受到很大的局限性, 使很多实验难以进行。现在我们可以通过计算机来模拟、仿真, 开展虚拟实验。虚拟实验具有可变性、可视性、经济性等优点, 并且计算机软件越来越丰富, 实验的仿真效果也会越来越好。随着科学技术的不断进步, 实验的原理、方法和手段也在不断地进步和发展。

目前, 我们所参与的实验大多数是在现成实验台上进行的。如果真正进行科学研究实验, 一般没有现成的实验装置, 必须对实验原理、实验方案、实验设备、实验步骤、实验数据采集及实验结果分析和处理等进行科学、周密的整体构思、规划和确定, 这就是实验设计问题。因此, 我们在目前虽然并没有实质性的科研实验, 但是如果你在现在的基础实验阶段就注意实验设计问题, 将会获得事半功倍的学习效果。

工程技术人员必须具备很强的动手能力和创新能力, 实验正是培养这些能力的重要手段。希望同学们认真对待每一次实验, 通过实验不仅使自己的理论知识得到巩固和提高, 而且能使自己的工程意识和实践能力产生一次飞跃。

#### 六、供进一步探讨的参考文献

- [1] 陈秀宁. 现代机械工程基础实验教程. 北京: 高等教育出版社, 2002 年
- [2] 濮良贵等. 机械设计(第八版). 北京: 高等教育出版社, 2006 年
- [3] 刘莹, 邵天敏. 机械基础实验技术. 北京: 清华大学出版社, 2006 年
- [4] 赵庆海. 测试技术与工程应用. 北京: 化学工业出版社, 2005 年
- [5] 朱文坚等. 机械基础实验教程. 北京: 科学出版社, 2005 年

# 第二章 机械几何参数与运动参数类实验

## § 2-1 机构运动简图测绘分析实验

### 一、实验问题的提出

机构的结构分析是机构运动、动力分析及机构设计与创新的基础。机构结构分析实验对于了解机构的组成原理,进行机构的结构分类,正确判断机构运动的可动性与确定性,以及合理地进行机构设计与创新有着重要的作用。在对现有机械进行分析或设计新机械时,都需要按比例绘制机构运动简图,以使用图解法对机构进行运动和动力分析。工程上还广泛应用不按严格比例绘制的机构示意图,用以定性地表达各构件之间的运动和力的传递关系。

机构运动简图测绘分析实验是机构结构分析的基础实验。

### 二、实验目的

- 1.通过对若干机械模型的测绘,掌握机构运动简图的测绘方法;
- 2.掌握机构自由度的计算方法,理解机构自由度的概念;
- 3.加深对机构组成及其结构分析的理解。

### 三、实验原理

由于机构的运动只与构件数目、运动副数目及其类型、相对位置有关,因此绘制机构运动简图时,可以不考虑构件的形状和运动副的具体构造,而用国家标准(GB 4460/T—1984)规定的运动副、机构构件符号代表实际的运动副与构件,再选择适当的长度比例尺表示各运动副的相对位置,可简明地表达一部复杂机器的机构运动特征与传动原理,还可用图解法求证机构上各点的力、运动轨迹、位移、速度和加速度。

表 2-1-1 常用机构构件、运动副符号

	两运动构件形成的运动副		两构件之一为机架所形成的运动副	
移动副				
转动副				
构件	活动构件		固定构件	
凸轮及其他机构	凸轮机构	棘轮机构	带传动	
齿轮机构	外齿轮	内齿轮	圆锥齿轮	蜗杆蜗轮

#### 四、实验设备和工具

1. 典型实物机械及模型若干: 缝纫机等实物机械、牛头刨等各类机械模型、各种泵类机械模型、各种组合机构模型、机械原理教学陈列柜;
2. 自备机械原理教科书、铅笔、三角尺、圆规、橡皮、草稿纸等。

#### 五、实验步骤

##### 1. 分析机构的特征及数目

首先缓慢地转动模型手柄,使机构运动,仔细观察机构运动情况。从原动件开始,分清各个运动单元,确定组成机构的构件特征和构件数目。



## 2. 判断各构件之间的运动副类别

从原动件开始,根据相互连接的两构件间的接触情况和相对运动的特点,依次判断各相连构件之间运动副种类,从而确定各运动副的种类及连接顺序。

## 3. 绘制机构示意图

正确选择投影面和原动件的位置,按传递运动的路线,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,在草稿纸上绘制机构示意图。

## 4. 绘制机构运动简图

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,箭头表示机构的主动构件。选择适当的比例尺  $\mu$ ,绘制出机构运动简图。

$$\mu = \text{构件的实际长度(m 或 mm)} / \text{图上的长度(mm)}$$

## 5. 计算自由度

计算自由度  $F: F = 3n - 2P_L - P_H$ ,抄入所绘机构的编号、名称、绘图比例等,判断原动件数是否与自由度数相等,分析机构运动的确定性,完成整个机构的绘图。

## 六、注意事项

1. 不增减构件数目;
2. 不改变运动副性质。

例:将偏心轮复原为曲柄杆件,见图 2-1-1。

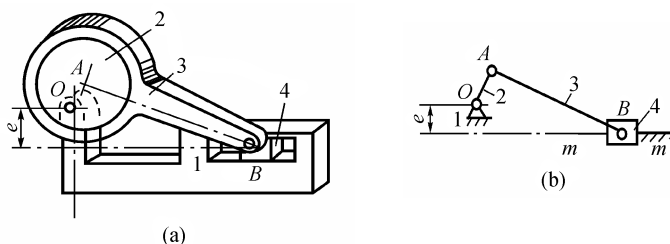


图 2-1-1 偏心轮复原为曲柄杆件

## 七、实验结果及思考题

### 1. 完成机构运动简图绘制和计算机构自由度

	编号	机构名称	机构运动简图	机构自由度计算
1				
2				
3				
4				
5				

2.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?

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创意新的机构运动简图?

## 八、供进一步探讨的参考文献

[1] 孙桓,陈作模,葛文杰.机械原理(第七版).北京:高等教育出版社,2006

[2] 陈秀宁.现代机械工程基础实验教程.北京:高等教育出版社,2002

## § 2-2 渐开线齿轮几何参数测定实验

### 一、实验问题的提出

齿轮机构用于传递空间任意两轴之间的运动和动力,是现代机械中应用最广泛的一种传动机构。齿轮机构的实际工作性能不仅与齿轮基本参数的设计有关,还取决于齿轮的加工质量。经机械加工及必要的热处理、表面处理,齿廓曲线是否符合设计要求必须通过测量,且对测得的数据进行分析处理后才能评定。另外,在反求工程中,齿轮的几何参数的检测也有其实际的意义。

利用直接测量、间接测量、公式计算、结合国家标准等方法,可获得待测齿轮的几何参数。

### 二、实验目的

- 1.掌握渐开线直齿圆柱齿轮基本参数测定的方法;
- 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。

### 三、实验原理

单个渐开线直齿圆柱齿轮基本参数有:齿数  $z$ 、模数  $m$ 、压力角  $\alpha$ 、齿顶高系数  $ha^*$ 、顶隙系数  $c^*$ 、变位系数  $x$ ;一对渐开线直齿圆柱齿轮的基本参数还有:啮合角  $\alpha'$ 、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,具体方法如下。

#### 1. 确定齿轮的模数和压力角

参照图 2-2-1,用游标卡尺跨测  $n$  个齿,齿间的法向距离(如图中  $A$ 、 $C$  两点间的距离)称为公法线长度。根据渐开线的基本性质可知,所跨齿廓之间公法线长度  $L$  等于所对应的基圆上的弧线长。用游标卡尺的两个卡脚卡测  $n$  个齿,测得距离  $L_n$ ,然后再卡测  $n-1$  个齿,测得距离  $L_{n-1}$ 。

为了使游标卡尺的两个卡脚与齿廓的渐开线部分相切,应根据被测齿轮的齿数  $z$  参照表 2-2-1 决定  $n$  值,如按表测定变位齿轮时发现卡尺卡脚在齿廓顶部(或根部)接触时,应减

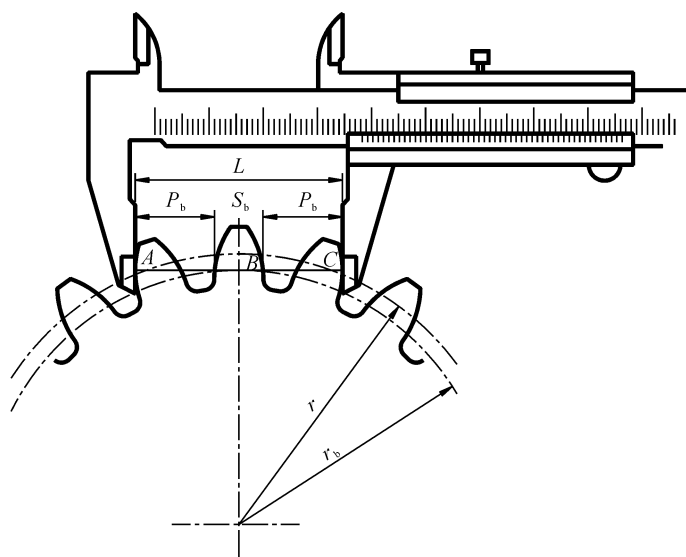


图 2-2-1 齿轮公法线长度测量示意图

少(或增加)跨齿数。也可以通过公式  $n = \frac{\alpha}{180}z + 0.5$  来确定  $n$  的值。

表 2-2-1 跨测齿数值 ( $\alpha=20^\circ$ )

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

由公式  $P_b = L_{n+1} - L_n$  及  $P_b = \pi m \cos \alpha$ ,  $m = \frac{P_b}{\pi \cos \alpha}$ , 压力角  $\alpha$  用  $15^\circ$ 、 $20^\circ$  试算可得到最接近标准值的组  $m$  和  $\alpha$ 。

## 2. 确定齿轮的变位系数。

根据齿厚公式知:  $S_b = m \cos \alpha (\pi/2 + 2x \tan \alpha + z \operatorname{inv} \alpha)$

得变位系数为:  $x = (S_b / m \cos \alpha - \pi/2 - z \operatorname{inv} \alpha) / 2 \tan \alpha$

式中  $S_b$  可由公法线长度求得, 即:  $S_b = L_{n+1} - n P_b$

## 3. 确定齿轮的齿顶高系数和顶隙系数

根据齿根圆计算公式:  $d_f = (z - 2h_a^* - 2c^* + 2x)m$  得:  $h_a^* + c^* = z/2 + x - d_f/2m$

将国家标准 ( $h_a^* = 1$ ;  $c^* = 0.25$  或  $h_a^* = 0.8$ ;  $c^* = 0.3$ ) 分别代入公式试算, 取最接近的一组标准值。

## 4. 确定啮合角和中心距

外啮合传动, 顶隙系数为标准值时, 计算两轮的标准中心距:  $a = m(z_1 + z_2)/2$ ; 用游标卡尺测量实际中心距  $a'$ , 用公式  $\cos \alpha' = \frac{a}{a'} \cos \alpha$  确定啮合角。

5. 计算齿轮啮合传动时的齿顶高变动系数  $\Delta y$  和中心距变动系数  $y$   
中心距变动系数: