

普通高等教育“十三五”规划教材

机械原理与 机械设计实验 **指导书**

○ 赵骋飞 主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十三五”规划教材

机械原理与机械设计实验指导书

主 编 赵骋飞
副主编 王瑞芳 平学成
参 编 刘 卉 吕洪玉 张林静
曹立文 周聪玲 王 芳

机械工业出版社

本书是为了适应高等院校机械类课程教学改革与人才培养的需要,在现有机械原理、机械设计、机械设计基础、机械工程基础实验的基础上,结合相关专业教学,经过多年的改革和实践,针对实验教学体系的要求编写而成的。

本书分为三章。第1章为机械原理实验,包括机械原理认知实验,机械运动简图测绘实验,机构运动方案创新设计实验,渐开线齿轮范成原理实验,齿轮参数测定实验,刚性转子的动平衡实验。第2章为机械设计实验,包括机械设计认知实验,带传动实验,齿轮传动效率实验,液体动压滑动轴承实验,轴系结构设计实验,减速器拆装实验以及机械设计大作业——螺旋起重器设计。第3章为机械创新设计实验,包括慧鱼创意组合设计、分析实验,便携式机械系统创意组合设计、分析实验。此外,本书还配套实验报告,方便学生与教师之间实验报告的提交与批改。

本书适合作为普通高等教育工科院校机械原理与机械设计实验课程的教材,也可供高职、大专等层次教学参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理与机械设计实验指导书/赵聘飞主编. —北京:机械工业出版社, 2019.9

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-111-62740-1

I. ①机… II. ①赵… III. ①机械原理-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(2019)第091585号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:余 皞 责任编辑:余 皞

责任校对:佟瑞鑫 封面设计:张 静

责任印制:郜 敏

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2019年7月第1版第1次印刷

184mm×260mm·8.25印张·195千字

标准书号:ISBN 978-7-111-62740-1

定价:23.80元

电话服务

客服电话:010-88361066

010-88379833

010-68326294

封底无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

金书网:www.golden-book.com

机工教育服务网:www.cmpedu.com

前 言

本书是为了适应高等院校机械类课程教学改革与人才培养的需要,在现有机械原理、机械设计、机械设计基础、机械工程基础实验的基础上,结合相关专业教学,经过多年的改革和实践,针对实验教学体系的要求编写而成的。

本书分为三章。第1章为机械原理实验,包括机械原理认知实验,机械运动简图测绘实验,机构运动方案创新设计实验,渐开线齿轮范成原理实验,齿轮参数测定实验,刚性转子的动平衡实验。第2章为机械设计实验,包括机械设计认知实验,带传动实验,齿轮传动效率实验,液体动压滑动轴承实验,轴系结构设计实验,减速器拆装实验以及机械设计大作业——螺旋起重器设计。第3章为机械创新设计实验,包括慧鱼创意组合设计、分析实验,便携式机械系统创意组合设计、分析实验。此外,本书还配套实验报告,方便学生与教师之间实验报告的提交与批改。

通过实验教学环节,力求提高学生独立思考问题、分析问题和解决问题的能力,培养学生的测试技能、创新意识和创新能力。本书中的各个实验都是相对独立、结构完整的项目,读者可根据需要选择合适的实验项目进行实验。

参加本书编写的有:赵骋飞、王瑞芳、平学成、刘卉、吕洪玉、张林静、曹立文、周聪玲、王芳。由赵骋飞任主编,王瑞芳、平学成任副主编。

本书是在天津科技大学机械工程学院机械基础实验教学体系与内容改革研究和实践的基础上编写的,其中的实验项目、内容和方法以天津科技大学机械工程学院机械基础教学实验中心现有的软硬件条件为基础,适合普通高等院校机械基础实验教学的要求,各同类学校使用时可根据具体条件做适当调整。

由于编者水平有限,本书中难免存在不妥之处,恳请广大读者提出宝贵意见。同时,对在本书编写过程中提供各种指导和帮助的同行人表示衷心感谢。

编 者

目 录

前言	
第 1 章 机械原理实验	1
1.1 机械原理认知实验	1
1.2 机构运动简图测绘实验	7
1.3 机构运动方案创新设计实验	10
1.4 渐开线齿轮范成原理实验	24
1.5 齿轮参数测定实验	26
1.6 刚性转子的动平衡实验	28
第 2 章 机械设计实验	36
2.1 机械设计认知实验	36
2.2 带传动实验	46
2.3 齿轮传动效率实验	53
2.4 液体动压滑动轴承实验	58
2.5 轴系结构设计实验	65
2.6 减速器拆装实验	71
2.7 机械设计大作业——螺旋起重器设计	74
第 3 章 机械创新设计实验	80
3.1 慧鱼创意组合设计、分析实验	80
3.2 便携式机械系统创意组合设计、分析实验	93
实验报告册	1
1.1 机械原理认知实验报告	3
1.2 机构运动简图实验报告	4
1.3 机构运动方案创新设计实验报告	5
1.4 齿轮范成原理实验报告	6
1.5 齿轮参数测定实验报告	7
1.6 刚性转子动平衡实验报告	9
2.1 机械设计认知实验报告	10
2.2 带传动实验报告	11
2.3 齿轮传动效率实验报告	12
2.4 液体动压滑动轴承实验报告	13
2.5 轴系结构设计实验报告	15
2.6 减速器拆装实验报告	16

第1章

机械原理实验

1.1 机械原理认知实验

一、实验目的

本实验是为了加强对机械和机器的认识，配合“机械原理”课程的讲授，设置了八个展柜，较全面地介绍了机械原理的一些基本知识。通过此认知实验，对机械原理方面的知识有概略的了解。

二、各实验柜内容简介

第一柜 简要介绍了三种机器及各种运动副

(1) 单缸气油机模型 单缸气油机能把燃气的热能通过曲柄滑块机构转换成曲柄转动的机械能。为了增加输出功率和运转平稳性，采用了四组曲柄滑块机构配合工作。由齿轮机构控制各气缸的点火时间，由凸轮机构控制进气阀和排气阀的开与关。

(2) 蒸汽机模型 蒸汽机采用曲柄滑块机构将蒸汽的热能转换为曲柄转动的机械能。由连杆机构来控制进气和排气的方向，以实现正反转。

(3) 家用缝纫机 家用缝纫机采用多种机构相互配合实现缝纫动作。针的上下运动由曲柄滑块机构来实现，提线动作由圆柱凸轮机构来实现，送布运动由几组凸轮机构相互配合来实现。

三部机器有一个共同特点：机器都是几个机构按照一定的运动要求互相配合组成的。

(4) 运动副 运动副是构件之间的活动连接。运动副是以其运动特征和它的外形来命名的，如球面副、螺旋副、曲面副、移动副、转动副等。

第二柜 平面四杆机构

平面连杆机构是被广泛应用的机构之一，而基本的是平面四杆机构。根据含转动副的数目，平面四杆机构分为三大类。

1. 铰链四杆机构

四个运动副均为转动副，它有三种运动形式。

(1) 曲柄摇杆机构 以最短杆相邻的杆作为机架，最短杆能相对机架回转 360° ，故为曲柄。曲柄做等速转动时，另一连架杆做变速摆动，称为摇杆。摇杆向右摆动慢，向左摆动快，这种现象称为“急回特性”。

(2) 双曲柄机构 取最短杆为机架, 与机架相连的两杆均为曲柄。当一个曲柄等速转动时, 另一个曲柄在右半周内转动慢, 在左半周内转动快。这种现象称为“急回特性”。

(3) 双摇杆机构 以最短杆的相对杆作为机架, 与机架相连的两杆均不能做整周回转只能来回摆动。

2. 带有一个移动副的四杆机构

其是以一个移动副代替铰链四杆机构中的一个转动副演变得到的(简称单移动副机构)。

(1) 曲柄滑块机构 (以最短杆相邻的杆为机架) 曲柄滑块机构是应用最多的一种单移动副机构, 可以将转动变为往复移动, 或将往复移动转变为转动。曲柄匀速转动时, 滑块的速度是非匀速的。把这个机构倒置, 可得到多种不同运动形式的单移动机构。

(2) 曲柄摇块机构 曲柄摇块机构以蓝色杆(最短杆的相邻杆)为机架, 红杆为曲柄, 黑杆绕固定点做摆动, 也有急回特性。

(3) 转动导杆机构 转动导杆机构以红杆(最短杆)为机架, 其他两杆均为曲柄, 黑杆因其运动形式称为导杆。

(4) 移动导杆机构 移动导杆机构以滑块为机架, 此机构没有曲柄。

3. 带有两个移动副的四杆机构

(简称双移动副机构) 把它们倒置可得三种形式的四连杆机构。

(1) 曲柄移动导杆机构(正弦机构) 黑色导杆做简谐移动, 常用于仪器仪表中。

(2) 双滑块机构 在机构连杆上的一点的轨迹是一个椭圆, 所以称为画椭圆机构。机构上除滑块与连杆相连的两铰链和连杆中的轨迹为圆以外, 其余所有点的轨迹均为椭圆。

(3) 双转块机构 (十字滑块机构) 如以一转块做等速回转的原动件, 则从动转块也做等速回转, 且转向相同。当两个平行传动轴间的距离很小时, 可采用这种机构。此机构通常作为联轴器应用。

第三柜 机构运动简图及画法和平面连杆机构的应用

机构运动简图是工程上常用的一种图形表示方式, 它用规定的符号和线条来清晰地、简明地表达出机构的运动情况。本柜共陈列了三个机器模型, 应注意看懂其工作原理和运动情况, 以及机器由几个构件组成、是什么形式的运动副。

平面连杆机构的应用: 第一类应用是实现给定的运动规律, 第二类是实现给定的轨迹。

1. 实现给定的运动规律

有 4 个示例。

(1) 飞剪 这里采用了曲柄摇杆机构。它利用连杆上一点的轨迹和摇杆上一点的轨迹相配合来完成剪切工作, 使剪切区域内上下两个刀刃的运动在水平方向的分速度相等, 且又等于钢板的运行速度。

(2) 压包机 冲头在完成一次压包冲程后在最上端位置有一段停歇时间, 以便进行上下料工作。

(3) 铸造造型机翻转机构 它是一个双摇杆机构。当砂箱在震动台上造型震实后, 利用机构的连杆将砂箱由下面经 180° 的翻转搬运到上面位置, 然后取模, 完成一次造型工艺。机构实现了两个给定的不同位置。

(4) 电影摄影升降机 此处采用了平行四边形机构。工作台设在连杆上, 从而保证了

工作台在升降过程中始终保持水平位置。

2. 实现给定的轨迹

有一个示例。

港口起重机采用了一个双摇杆机构。在连杆上的某一点有一段近似直线的轨迹，起重机的吊钩就是利用这一直线轨迹，使重物水平移动，避免因不必要的提升重物而做功。

第四柜 凸轮机构

凸轮机构常用于将主动构件的连续运动转变为从动构件的往复运动。只要适当地设计凸轮廓线，便可以使从动件获得任意的运动规律。凸轮机构结构简单而紧凑，广泛地应用于各种机械、仪器和操纵控制装置。

1. 凸轮机构的组成

(1) 凸轮 凸轮有特定的廓线。

(2) 从动件 从动件由凸轮廓线控制着按预期的运动规律做往复移动或摆动。常见的结构有尖顶、滚子、平底和曲面四种形式。

(3) 锁合装置 为了使凸轮与从动件在运动过程中，始终保持接触而采用的装置。常见的有①力锁合，利用重力、弹簧力或其他外力使从动件与凸轮始终保持接触；②结构锁合，利用凸轮和从动件的高副几何形状，使从动件与凸轮始终保持接触。

2. 常见的平面凸轮机构

(1) 盘形凸轮机构 外形似盘形，结构简单、设计容易、制造方便，应用很广。

(2) 移动凸轮机构 凸轮做直线往复移动，可把它看成转轴在无穷远处的盘形凸轮，应用也很广。

(3) 槽形凸轮机构 从动件端部嵌在凸轮的沟槽中保证从动件的运动。其锁合方式最简单，缺点是增大了凸轮机构的尺寸及不能采用平底从动件。

(4) 带有交叉曲线槽的槽形凸轮 凸轮旋转两周，从动件完成一个运动循环。

(5) 等宽凸轮机构 凸轮的宽度始终等于平底从动件的宽度，凸轮与平底始终保持接触。

(6) 等径凸轮机构 在任何位置时从动件两滚子中心的距离之和等于一个定值。

(7) 主回凸轮机构 主回凸轮机构采用两个固结在一起的盘状凸轮控制一个从动件。主凸轮控制从动件工作行程，回凸轮控制从动件的回程。

3. 常见的空间凸轮机构

一般根据它们的外形命名，有球面凸轮、双曲面凸轮、圆锥体凸轮、圆柱凸轮。如球面凸轮，是圆弧回转体，它的母线是一条圆弧，一般都采用摆动从动件，从动件的摆动中心就是母线圆弧的中心。圆柱凸轮在设计和制造方面都比其他空间凸轮简单，应用得最多。空间凸轮机构的共同特点是，凸轮和从动件的运动平面不是互相平行的，当采用移动从动件时，移动从动件沿凸轮机械母线方向运动。

第五柜 齿轮机构

齿轮机构是一种常用的传动装置，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，在各种设备中被广泛地采用。根据主动轮与从动轮两轴的相对位置，可将齿轮传动分为平行轴传动，相交轴传动和交错轴传动三大类。

1. 传递两平行轴之间运动和动力的齿轮机构

(1) 外啮合直齿圆柱齿轮机构 外啮合直齿圆柱齿轮机构是齿轮机构中最简单、最基本的一种类型,在学习上一般以它为研究重点,从中找出齿轮传动的基本规律,并以此为指导去研究其他类型的齿轮机构。

(2) 内啮合直齿圆柱齿轮机构 主、从动齿轮之间转向相同,在同样传动比情况下,所占空间位置小。

(3) 齿轮齿条机构 主要用在将转动变为直线移动或者将移动变为转动的场合。

(4) 斜齿圆柱齿轮机构 它的轮齿沿螺旋线方向排列在圆柱体上。螺旋线方向有左旋和右旋之分。斜齿圆柱齿轮的传动特点是传动平稳,承载能力高,噪声小。但轮齿倾斜会产生轴向力,使轴承受受到附加的轴向推力。

(5) 人字圆柱齿轮机构 可将它看成是具有左右两排对称形状的斜齿轮组成。因轮齿左右两侧完全对称,所以两个轴向力可互相抵消。人字齿轮传动常用于冶金、矿山等设备中的大功率传动。

2. 传递两相交轴之间运动和动力的齿轮机构

锥齿轮机构的轮齿分布在一个锥体上,两轴线的夹角 θ 可任意选择,一般常采用的是 90° 夹角。因轴线相交,两轴孔相对位置加工难达到高精度,而且一齿轮是悬臂安装,故锥齿轮的承载能力和工作速度都较圆柱齿轮低。

(1) 直齿锥齿轮机构 制造容易,应用广泛。

(2) 曲线齿锥齿轮机构 曲线齿锥齿轮机构比直齿锥齿轮传动平稳,噪声小,承载能力大,可用于高速重载的传动。

3. 传递相错轴运动和动力的齿轮机构

(1) 螺旋齿轮机构 螺旋齿轮机构由螺旋角不同的两个斜齿轮配对组成,理论上两齿面为点接触,所以轮齿易磨损、效率低。故不宜用于大功率和高速的传动。

(2) 螺旋齿轮齿条机构 其特点与螺旋齿轮机构相似。

(3) 蜗轮蜗杆机构 两轴的夹角为 90° 。特点是传动平稳、噪声小、传动比大,一般单级传动比为 $8\sim 100$,因而结构紧凑。

(4) 弧面蜗轮蜗杆机构 弧面蜗杆外形是圆弧回转体,蜗轮与蜗杆的接触齿数较多,降低了齿面的接触应力,其承载能力为普通圆柱蜗轮蜗杆传动的 $1.4\sim 4$ 倍。弧面蜗轮蜗杆机构制造复杂,装配条件要求较高。

第六柜 齿轮机构参数

本柜要注意观察渐开线和摆线的形成及重点了解渐开线齿轮基本参数的性质。

1. 渐开线的形成

以一条直线沿一个圆周上做纯滚动时,直线上任一点 K 的轨迹,称为该圆的渐开线。这条直线称为发生线,该圆称为基圆。请注意观察,发生线、基圆、渐开线三者的关系,从而可得到渐开线的一些性质。

1) 渐开线的形状取决于基圆大小。

2) 发生线是渐开线上点的法线,而且切于基圆。

3) 基圆内无渐开线。

4) 发生线沿基圆滚过的长度,等于基圆上被滚过的圆弧长度。

2. 摆线的形成

一个圆在另一个固定的圆上滚动时，滚圆上任一点的轨迹就是摆线。滚圆称发生圆，固定圆称为基圆。它们有以下几种情况。

- 1) 动点在滚圆的圆周上时，所得的轨迹称为外摆线。
- 2) 动点在滚圆的圆周内时，所得的轨迹称为短幅外摆线。
- 3) 动点在滚圆的圆周外时，所得的轨迹称为长幅外摆线。
- 4) 滚圆在基圆内滚动时，圆周上一点所画的轨迹称为内摆线。

3. 渐开线标准齿轮的基本参数

(1) 齿数 z 在设计齿轮传动时，合理地选择齿数涉及的因素很多。在模数和齿形角相同的情况下，齿数的多少对齿形有很大的影响。当齿数无穷多时，渐开线齿廓变成直线，齿轮变成齿条。当齿数少时，基圆小，齿廓曲线的曲率大。齿数少轮齿根部削弱，齿根高部分的渐开线减少。

(2) 模数 m 模数等于两齿间的距离即齿距 p 除以圆周率 π 的商，是确定轮齿周向尺寸、径向尺寸、以及齿轮大、小的一个参数。同时也是齿轮强度计算的一个重要参数。模数已标准化。

(3) 分度圆压力角 α 也称为齿形角，渐开线齿廓上各点的压力角是不同的，越接近基圆压力角越小，渐开线在基圆的压力角为零。国家标准规定标准齿廓上分度圆的压力角为 20° 或 15° ，常用的为 20° 。

(4) 齿顶高系数 h_a^* 和顶隙系数 c^* 轮齿的高度在理论上受到齿顶厚度过小所限制，为此在齿高与齿厚之间建立一定的关系。齿厚是模数的函数，所以齿高也取为模数的函数。国家标准中规定有正常齿和短齿两种齿高制。这两个系数已标准化，国家标准规定标准齿轮： $h_a^* = 1$ ， $c^* = 0.25$ 。

第七柜 周转轮系

几对齿轮组成一个传动系统称为轮系。在轮系运转时，其中至少有一个齿轮轴线的位置并不固定，而是绕其他齿轮的固定轴线回转，则这种轮系称为周转轮系。它有两大类：差动轮系和行星轮系。

1. 差动轮系

它有两个自由度 $F=2$ 。差动轮系可将一个运动分解为两个运动，也可将两个运动合成为一个运动。运动的合成在机械装置和自动调速装置中得到广泛应用。用差动轮系可得到加法机构，也可得到减法机构。如当需要将一个主动件的转动按所需比例分解为两个从动件的转动时，可采用差动轮系。例如，汽车后轮的差速传动装置，当汽车沿直线行驶时，左右两轮转速相等，当汽车转弯时，左轮转动慢，右轮转动快。

2. 行星轮系

机构的自由度 $F=1$ 。当一轮系运转时，若一个或几个齿轮绕固定轴线回转，称为太阳轮，某一齿轮一方面绕自己的轴线自转，另一方面又随着转臂一起绕固定轴线公转，就像行星的运动一样，该齿轮称为行星轮。这种轮系称之为行星轮系。若把该轮系中的转臂固定不动，这时周转轮系就变为定轴轮系。

本柜有一全部由外啮合齿轮组成的行星轮系，这一行星轮系齿数差为 4，传动比为 10。当每一对啮合齿轮采用少齿差时，可获得很大的传动比。例如，当每对齿轮齿数相差 2 时，

传动比为 2500，齿数差相差 1 时，可得到传动比为 10000。这种结构的行星轮系，每对齿轮齿数相差越小，传动比就越大，传动效率就越低。

3. 旋轮线简介

在周转轮系中行星轮上某点的运动轨迹称为旋轮线。内啮合行星轮系中，当行星轮的半径与齿轮半径之比取不同数值时，可得到不同形状和性质的旋轮线。

4. 三种减速器的特点简介

(1) 行星减速器 它适合传递功率，结构紧凑，效率也不低，其一级传动比为 1.2~12，本柜中这个行星轮系的传动比为 7。

(2) 谐波齿轮减速器 其最大的特点是有一个柔轮，柔轮是一个弹性元件，利用它的变形可实现传动。其传动比的计算与周转轮系相似。它的特点是，传动比大，元件少，体积小，同时啮合的齿数多，在相同条件下比一般齿轮减速器的元件少一半，体积和重量可减少 30%~50%。

(3) 摆线针轮行星齿轮减速器 其特点为体积小，重量轻，承载能力大，效率高，工作平稳。

第八柜 停歇和间歇运动机构

在机械中，常需要某些构件产生周期性的运动和停歇，这种运动的机构称为停歇和间歇运动机构。

1. 间歇运动机构

(1) 棘轮机构 结构简单，制造方便，应用较广。棘轮机构常见的有齿式和摩擦式两种。①齿式棘轮机构运动可靠，棘轮运动角只能进行有级调整，回程时棘爪在齿面上滑行，引起噪声和齿尖磨损。所以一般只能用于低速和传动精度要求不高的情况下。②摩擦式棘轮机构，棘轮运动角可进行无级调整。因摩擦传动，棘爪与轮接触过程无噪声，传动平稳，但很难避免打滑，因此运动的准确性较差，常用于超越离合器。

(2) 槽轮机构 具有结构简单，制造容易，工作可靠和机械效率高等优点。但槽轮机构在工作时有冲击，随着转速的增加及槽轮数的减少而加剧，不宜用于高速场合，适用范围受到一定的限制。外啮合槽轮机构使用得最多、最广。内啮合槽轮机构常用于槽轮停歇时间短，传动较平稳，要求减少机构空间尺寸和槽轮机构主、从方向相同的场合。外、内啮合槽轮仅能传递平行轴之间的间歇运动。球面槽轮机构的槽轮为半球形，可传递相交轴之间的间歇运动。

(3) 齿轮式间歇运动机构 各种不同的齿轮式间歇运动机构，都是由齿轮机构演变而成的，它的外形特点是轮齿不满布于整个圆周上。

(4) 摆线针轮不完全齿轮机构 它的轮齿也不满布于整个圆周上。

不论哪种齿轮式间歇运动机构，特点都是运动时间与停歇时间之比不受机构结构的限制，工位可任意配置。从动轮在进入啮合和脱离时有速度突变，冲击较大。一般适用于低速轻载的工作条件。

2. 停歇运动机构

(1) 具有停歇运动的曲柄连杆机构 利用连杆上某点所描绘的一段圆弧轨迹，然后将从动的另一连杆与此点相连，取其长度等于圆弧的半径，这样当每次循环到此段圆弧时从动滑块停歇。

(2) 具有停歇运动的导杆机构 将它的导杆槽中的某一部分做成圆弧, 其圆弧半径等于曲柄的长度, 这样机构在左边极限位置时具有停歇特性。

1.2 机构运动简图测绘实验

一、实验目的

- 1) 根据实际机械或模型的结构, 学习测绘机构运动简图的方法、步骤、基本技能。
- 2) 通过训练测绘进一步理解机构的组成、机构自由度的意义, 及如何计算机构自由度。
- 3) 通过实验进一步了解机构运动简图与实际机构的区别。

二、实验设备

- 1) 各种机构模型或机械实物。
- 2) 绘图工具: 铅笔、橡皮、纸张(自备)、卷尺、直尺等。

三、实验方法

机构运动简图只与机构原动件的运动规律, 机构中的构件数目, 运动副的类型、数目及各运动副的相对位置(即与运动有关的尺寸)有关, 而与构件的实际外形、运动副的具体结构无关。因此, 绘制反映机构运动特性的机构简图时, 可以撇开机构复杂的外形和运动副的具体构造, 而用简单的线条和规定的符号表示构件和运动副, 并按一定的比例确定运动副相对位置, 从而绘制出机构运动简图。具体步骤:

1. 观察

- 1) 用手缓慢转动(拨动)被测绘的机构模型或机械实物, 从原动件开始仔细观察其运动情况, 找出并分析哪些是固定件, 哪些是活动构件, 确定构件的数目。
- 2) 观察并分清各运动单元及运动单元之间的相对关系和相对位置, 判断和确定机构运动副的数目和类型。

2. 测绘

- 1) 选择能清楚表达多数构件运动特性的平面作为投影面, 注意各运动单元应处于一般的位置上。
- 2) 测量各构件上与运动有关的尺寸, 如两转动副的中心距离, 移动副的相对位置尺寸等。
- 3) 选择适当的比例尺, 或在只需了解机械运动特征而不进行定量分析时, 可不按准确比例绘制简图, 但应目测相关尺寸, 按近似比例绘出大致相对位置即可。

$$\text{长度比例尺 } \mu_l = \frac{\text{构件的实际长度(m)}}{\text{简图上所画的构件长度(mm)}}$$

- 4) 徒手在稿纸上按规定的符号和构件的关联顺序依次画出机构运动简图。
- 5) 计算机构自由度, 并验算测绘结果是否正确。机构自由度 F :

$$F = 3n - 2P_1 - P_h \quad (1-1)$$

式中, n 是活动构件数; P_1 是低副数; P_h 是高副数。

四、实验要求

参照常用运动副的符号、常用机构运动简图符号、一般构件的表示方法，每位同学自选测绘四个机构并画出其运动简图。常用运动副、机构传动简图、构件的表示方法见表 1-1~表 1-3。

表 1-1 运动副

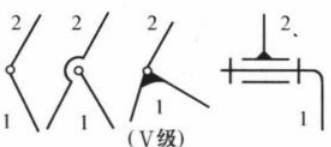
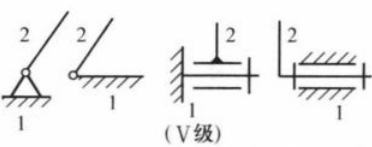
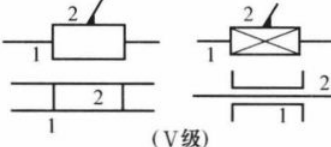
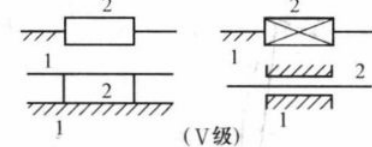
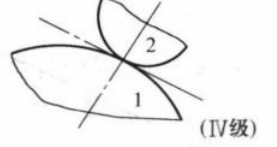
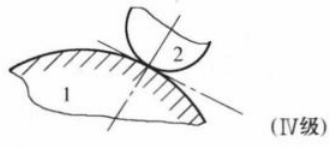
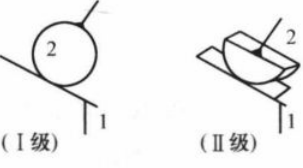
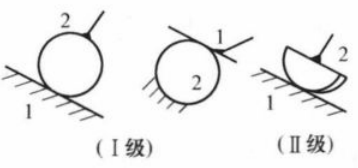
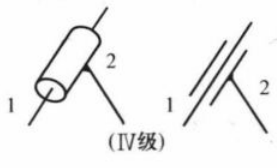
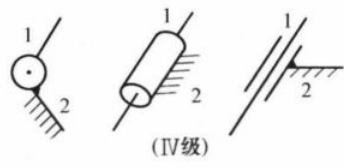
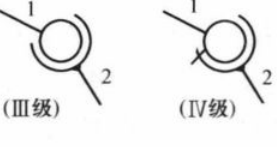
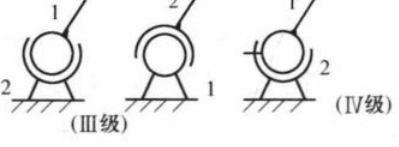
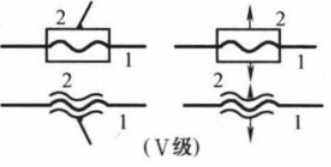
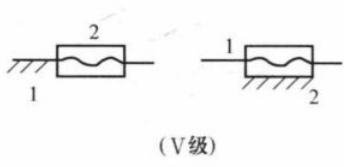
运动副名称		运动副符号	
		两运动构件构成的运动副	两构件之一为固定时的运动副
平面运动副	转动副		
	移动副		
	平面高副		
空间运动副	点接触高副与线接触高副		
	圆柱副		
	球面副及球销副		
	螺旋副		

表 1-2 机构传动简图

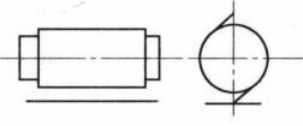
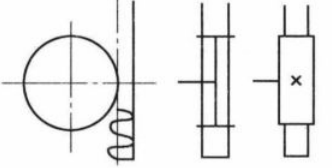
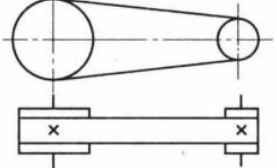
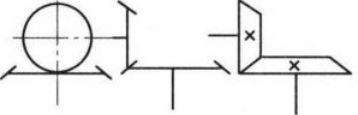
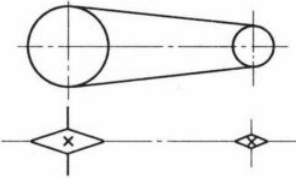
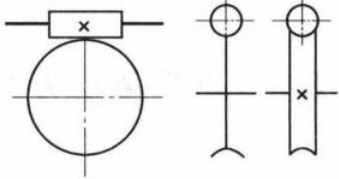
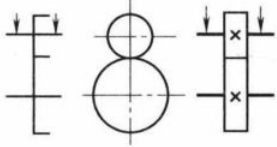
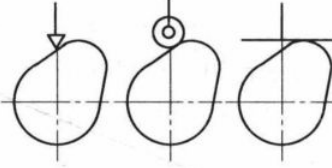
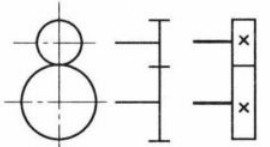
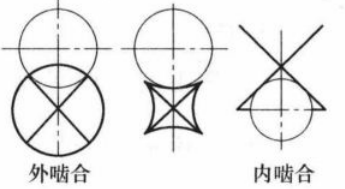
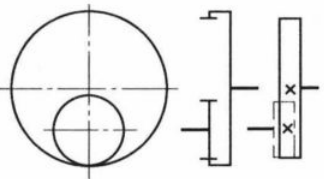
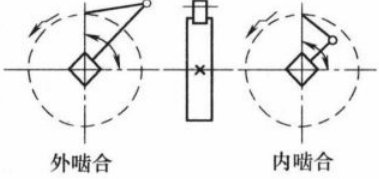

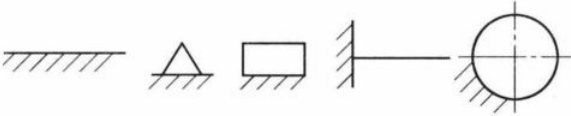
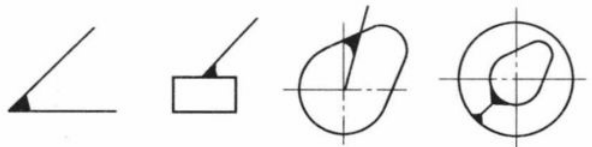
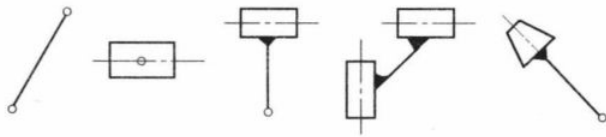
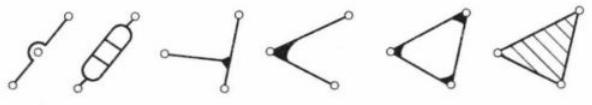
在支架上的电动机		齿轮齿条传动	
带传动		圆锥齿轮传动	
链传动		圆柱蜗杆传动	
摩擦轮传动		凸轮传动	
外啮合圆柱齿轮传动		槽轮机构	
内啮合圆柱齿轮传动		棘轮机构	

表 1-3 一般构件的表示方法

杆、轴类构件	
固定构件	

同一构件	
两副构件	
三副构件	

1.3 机构运动方案创新设计实验

一、实验目的

机构是机械原理课程中的一个很重要的概念，只有真正地熟练掌握了机构这个概念，才能在实际运用中设计出符合要求的机械产品。实验目的如下：

- 1) 加深学生对机构组成原理的认识，熟悉杆组概念，为机构创新设计奠定良好的基础。
- 2) 利用若干不同的杆组，拼接不同的平面机构，以培养学生机构运动创新设计意识及综合设计的能力。
- 3) 培养学生的工程实践动手能力。

二、实验设备和工具

1. 实验仪器的特点

实验台上主、从动构件固定铰链的位置和固定导路的位置可以实现无级地调整；构件和机架采用组合形式，可以方便地进行组装和拆卸；操作者能够组装、连接各种类型的平面机构并使其运动。

2. 实验台机架

如图 1-1 所示，实验台机架中有五根铅垂立柱，它们可沿 X 方向移动。移动时用双手推动并尽可能使立柱在移动过程中保持铅垂状态。立柱移动到预定的位置后，将立柱上、下两端的螺栓锁紧（安全注意事项：不允许将立柱上、下两端的螺栓卸下，在移动立柱前只需将螺栓拧松即可）。立柱上的滑块可沿 Y 方向移动。将滑块移动到预定的位置后，用螺栓将滑块紧固在立柱上。按上述方法即可在 X 、 Y 平面内确定活动构件相对机架的连接位置。面对操作者的机架铅垂面称为拼接起始参考面。

3. 组装机构的零件

组装机构的零件有凸轮、高副锁紧弹簧、齿轮、齿条、槽轮拨盘、槽轮、主动轴、转动

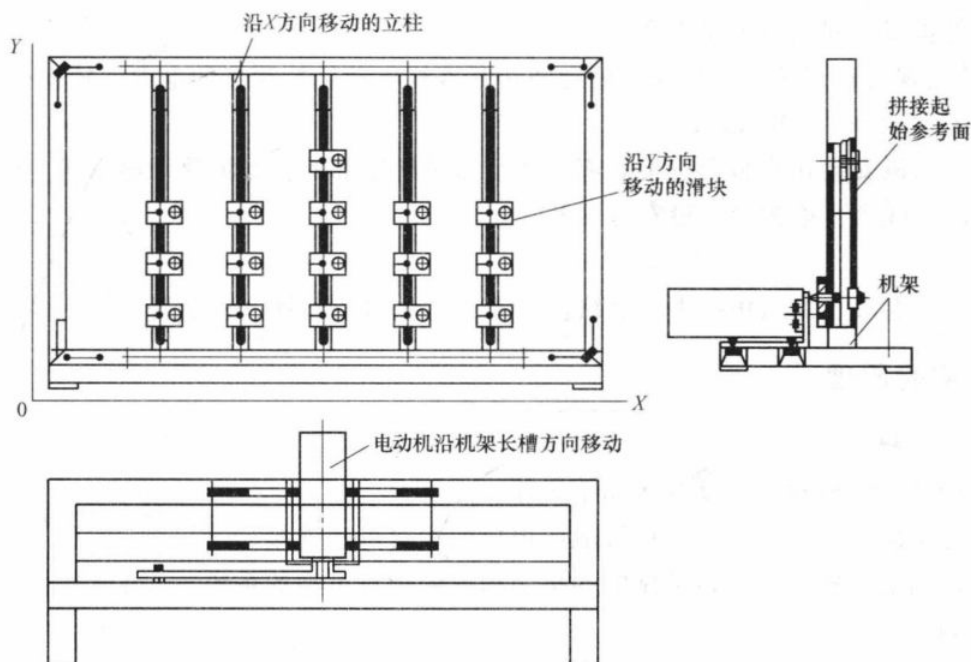


图 1-1 实验台机架图

副轴（或滑块）、扁头轴、主动滑块插件、连杆（或滑块导向杆）、转动副轴（或滑块）、带垫片螺栓、运动构件层面限位套、带轮等，具体可参看“机构运动方案创新设计实验台组件清单”中的说明。

4. 直线电动机（10mm/s）

直线电动机安装在实验台机架底部，并可沿机架底部的长行槽移动电动机。直线电动机的长齿条即为机构输入直线运动的主动件。在实验中，允许齿条单方向的最大位移为300mm，实验者可根据主动滑块的位移量确定直线电动机两行程开关的相对间距，并且将两行程开关的最大安装间距限制在300mm范围内。

直线电动机控制器使用方法：

1) 必须在直线电动机控制器的外接电源插座开关关闭状态下，将连接行程开关控制线的七芯航空插头，连接直线电动机控制线的五芯航空插头，及电源线插头分别接入控制器后背面板上，将前面板船形电源开关置于“点动”状态。打开外接电源插座电源开关，控制器面板电源指示灯亮。将船形电源开关切换到“连续”状态，直线电动机正常运转。

2) 失控自停控制。为防止电动机偶尔产生失控现象而损坏电动机，在控制器中设计了失控自停功能。当电动机失控时，控制器会自动切断电动机电源，电动机停转。此时应将控制器前面板船形电源开关切换至“点动”状态，按“正向”或“反向”点动按钮，控制装在电动机齿条上的滑块座（10#）回到两行程开关中间位置，然后将控制器电源开关再切换到“连续”运行状态即可（注：若电动机较热，最好先让电动机停转一段时间稍做冷却后再进入“连续”运行）。

3) 拼接机构未运动前，预设直线电动机的工作行程后，请务必调整直线电动机行程开关相对电动机齿条上滑块座（10#）底部的高度，以确保电动机齿条上的滑块座能有效碰撞

行程开关,使行程开关能灵活动作,从而防止电动机直齿条脱离电动机主体或断齿,防止所组装的零件被损坏和保证人身安全。

4) 若出现行程开关失灵情况,请立即切断直线电动机控制器的电源,掉换行程开关。

5. 旋转电动机 (10r/min)

旋转电动机安装在实验台机架底部,并可沿机架底部的长形槽移动电动机。电动机电源线接入电源接线盒,电源盒上设有电源开关。

6. 其他工具

钢直尺、卷尺、内六角扳手、活络扳手等,学生自备圆规、铅笔等文具。

三、实验原理

1. 杆组的概念

(1) 构件 能够独立运动的运动单元体。

(2) 运动副 由两个构件直接接触而组成的相对可动连接。

(3) 运动链 构件通过运动副的连接而构成的相对可动的系统。

2. 机构

在运动链中,如果将其中某一构件加以固定而成为机架,则该运动链称为机构。

机构组成原理:任何机构都可以看作是由若干个基本杆组依次连接于原动件和机架上而构成的。

任何机构都是由机架,原动件和从动件系统,通过运动副连接而成。机构的自由度数应等于原动件数,因此封闭环机构从动件系统的自由度必等于零。而整个从动件系统又往往可以分解为若干个不可再分的、自由度为零的构件组,称为组成机构的基本杆组,简称杆组。

根据平面机构的数综合和结构公式,基本杆组应满足的条件:

$$F = 3n - 2P_1 - P_h = 0$$

其中活动构件数 n ,低副数 P_1 和高副数 P_h 都必须是整数,由此可以获得各种类型的杆组。当 $n = 1, P_1 = 1, P_h = 1$ 时即可获得单构件高副杆组,常见的如图 1-2 所示。

当 $P_h = 0$ 时,称之为低副杆组,即:

$$F = 3n - 2P_1 = 0$$

因此满足上式的构件数和运动副数的组合为: $n = 2, 4, 6, \dots, P_1 = 3, 6, 9, \dots$ 。

最简单的杆组为 $n = 2, P_1 = 3$,称为 II 级组,由于杆组中转动副轴和移动副的配置不同,II 级杆组共有如下五种形式,如图 1-3 所示。

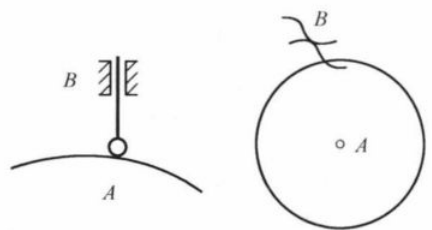


图 1-2 单构件高副杆组

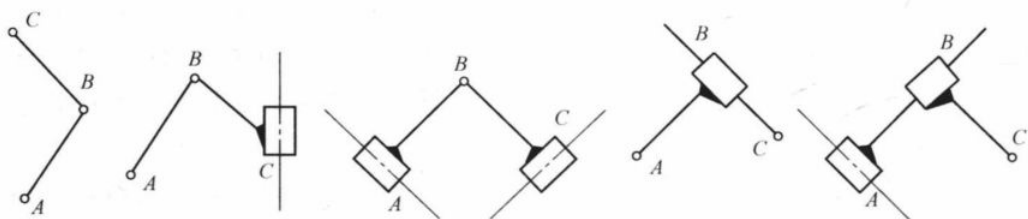


图 1-3 平面低副 II 级组