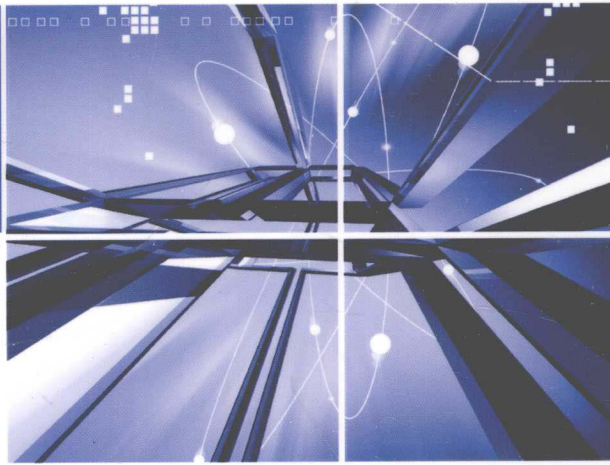


普通高等教育“十二五”规划教材



# 机械原理 实验教程

李安生 杜文辽 朱红瑜 主编

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

# 机械原理

## 实验教程



机械工业出版社

本书包括机械原理认识、机构运动简图测绘、机构运动参数测定、齿轮展成、渐开线直齿圆柱齿轮参数测定、回转件平衡、机构组合与创新设计、德国“慧鱼”创意组合 8 个实验项目,基本上涵盖了目前普通工科院校开设的机械原理实验。在实验项目编排上,努力做到传统实验与创新实验相结合,单一实验与综合实验相结合,力求在培养学生动手能力、创新能力等方面有所突破。每个实验项目前面均附有简介及适用范围,任课教师可根据不同专业的需求选择书中所列实验项目。

本书适用于高等工科院校机械类、近机类各专业教学。

### 图书在版编目(CIP)数据

机械原理实验教程/李安生,杜文辽,朱红瑜主编. —北京:机械工业出版社,2011.1

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-111-32481-2

I. ①机… II. ①李…②杜…③朱… III. ①机构学-实验-高等学校-教材 IV. ①TH111-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 235838 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:刘小慧 责任编辑:刘小慧 版式设计:霍永明

责任校对:王欣 封面设计:张静 责任印制:乔宇

三河市国英印务有限公司印刷

2011 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·8.25 印张·2 插页·183 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-32481-2

定价:17.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

销售二部:(010) 88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者服务部:(010) 68993821

封面防伪标均为盗版

# 前

# 言

“机械原理”课程是我国高等工科院校中机械类、近机类各专业必修的一门技术基础课。根据课程教学大纲的要求，实验是课程重要的实践教学环节。通过实验教学，使学生加深对课程基本概念、基本理论的理解，为专业课程的学习提供必要的知识储备。

近年来，“机械原理”课程的实验设备、方法和手段均有很大变化，《机械原理课程教学大纲》对实验的要求较以往也有较大改变。根据目前工科院校实验室设备情况，书中选入了机械原理认知、机构运动简图测绘、机构运动参数测定、齿轮展成、渐开线直齿圆柱齿轮参数测定、回转件平衡、机构组合与创新设计、德国“慧鱼”创意组合等8个实验项目，基本上涵盖了目前普通工科院校开设的机械原理实验。在实验项目编排上，努力做到传统实验与新型实验相结合，单一实验与综合实验相结合，力求在培养学生动手能力、创新能力等方面有所突破。每个实验项目前面均附有说明，简要介绍了实验内容、实验属性、选用范围及建议学时，任课教师可根据不同专业的需求选择书中所列实验项目。

本书第一章、第七章由郑州轻工业学院杜文辽编写，第二章1~3节由河南科技大学尹中伟编写，第二章4~7节由河南科技大学王国欣编写，第三章1~4节由河南科技大学郭淑芳编写，第三章5~7节由黄河科技学院周亚军编写，第四章由河南工业大学雷辉编写，第五章由河南工业大学朱红瑜编写，第六章1~3节由郑州轻工业学院王良文编写，第六章4~7节、第八章由郑州轻工业学院李安生编写。全书由郑州轻工业学院李安生统稿。

本书承同济大学郭瑞琴副教授精心审阅，提出了很多宝贵意见，特致以衷心感谢。

本书在编写过程中，得到了郑州轻工业学院、河南工业大学、河南科技大学、黄河科技学院等院校教务及教材部门的大力支持，上述院校的相关任课老师也对教材提出了很多宝贵意见，在此深表感谢。同时在编写过程中参阅了多家教学设备生产厂商编制的设备说明书等技术资料，在此一并表示感谢。

由于编者水平所限，书中错误和不当之处在所难免，敬请广大同仁和读者批评指正。

编者

# 目 录

前言		
第一章 机械原理认知实验	1	
一、实验目的	1	
二、实验内容	1	
三、总结	14	
四、思考问答题	14	
五、附录	15	
第二章 机构运动简图测绘实验	16	
一、实验目的	16	
二、实验设备与工具	16	
三、实验原理	16	
四、实验内容及步骤	18	
五、实验要求	20	
六、思考问答题	20	
七、附录	20	
附录 2-1 常用运动副的类型及其代表符号 (GB/T 4460—1984)	20	
附录 2-2 机构运动简图测绘实验报告	23	
第三章 机构运动参数测定实验	25	
一、实验目的	25	
二、实验设备与仪器	25	
三、QID—Ⅲ型组合机构实验台实验原理及实验过程	25	
四、牛头刨床等实验设备实验原理及实验过程	27	
五、ZNH—A 型机构综合实验台实验原理及实验过程	29	
六、思考问答题	32	
七、附录	33	
第四章 齿轮展成原理实验	35	
一、实验目的	35	
二、实验内容	35	
三、实验设备与工具	35	
四、实验原理	37	
五、实验步骤 (以半圆形工作台为例)	38	
六、交流与总结	38	
七、思考问答题	39	
八、附录	40	
第五章 渐开线直齿圆柱齿轮参数测定实验	43	
一、实验目的	43	
二、实验内容	43	
三、实验设备与工具	43	
四、实验原理及步骤	43	
五、思考问答题	45	
六、附录	46	
第六章 回转件平衡实验	48	
一、回转件平衡的目的	48	
二、回转件的平衡实验方法简介	48	
三、刚性转子静平衡实验	49	
四、闪光式动平衡实验	50	
五、JHP—B 智能动平衡实验	54	
六、思考问答题	57	
七、附录	59	
附录 6-1 智能动平衡实验报告	59	
附录 6-2 闪光式动平衡实验报告	60	
第七章 机构组合与创新设计实验	62	
一、实验目的	62	



二、实验设备与工具 .....	62	四、实验设备与工具 .....	89
三、机械方案设计创新原理 .....	64	五、常用件的安装、连接方法 .....	91
四、实验方法与步骤 .....	68	六、实验步骤 .....	95
五、杆组的拆分及拼装 .....	68	七、注意事项 .....	95
六、实验内容 .....	77	八、附录 .....	96
七、附录 .....	82	附录 8-1 万用组合包零件清单 .....	96
八、附表 .....	84	附录 8-2 典型模型搭建步骤 .....	99
<b>第八章 “慧鱼” 创意组合实验 .....</b>	<b>88</b>	附录 8-3 创意组合实验报告 .....	121
一、实验目的 .....	88	<b>参考文献 .....</b>	<b>123</b>
二、实验要求 .....	88	<b>读者信息反馈表</b>	
三、实验任务和实验安排 .....	88		

## 机械原理认知实验

### 说明

\* 本实验项目为机械原理课程的认知环节，基本包含了教材讲授的所有机构，对学生了解各种机构的组成及应用情况、增强对机构与机器的感性认识方面很有帮助。

\* 建议不占用课内实验学时，安排在任课教师带领学生进行现场教学或学生进行课外科技活动时间较好。

### 一、实验目的

- 1) 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。
- 2) 增强对机构与机器的感性认识。
- 3) 了解各种机构的组成及应用情况。
- 4) 通过实物模型和机构的观察，使学生认识到：机器是由一个机构或几个机构按照一定的运动要求组合而成的。

### 二、实验内容

本实验通过具体的实物和模型，展示了机械原理课程中的各种机构及其转化形式。

为配合机械原理课程的学习，增强对机构与机器的感性认识而设置了“机构认知实验”。采用西安交通大学教具厂的 SJ—10D 机构学电动示教板。该示教板系根据机械原理教学大纲而设计制作的现代化教学设备，全套共有 10 个板面，陈列顺序为运动副、连杆机构、连杆机构的应用、凸轮机构、齿轮机构、齿廓的形成及齿轮参数、周转轮系、停歇机构、组合机构、空间连杆机构。

下面分别介绍各部分的内容。

#### 1. 运动机构和运动副

(1) 运动机构 以内燃机、蒸汽机和缝纫机为例，简要介绍运动机构，有关内容如图 1-1 所示。

1) 单缸汽油机模型。单缸汽油机的功能是把燃气的热能通过曲柄滑块机构转换成曲轴转动的机械能。该机采用了四组曲柄滑块机构配合工作，以增加输出功率和运转平稳

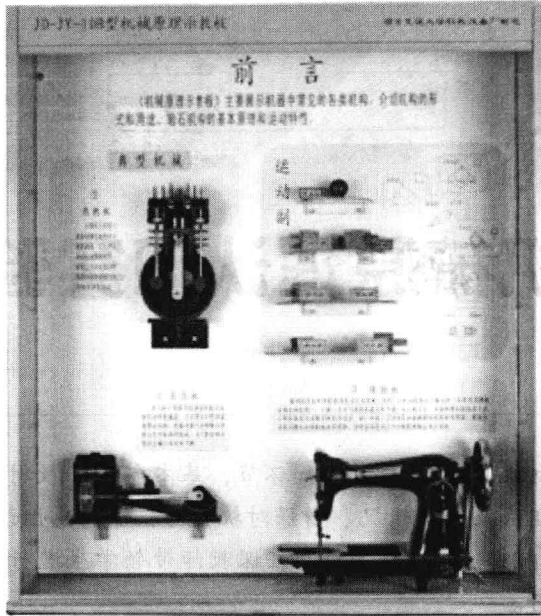


图 1-1 运动副展示板

性；采用齿轮机构来控制各气缸的点火时间；采用凸轮机构来控制进气阀和排气阀的开与关，其配气机构如图 1-2 所示。

2) 蒸汽机模型。它也采用了曲柄滑块机构，将蒸汽的热能转换为曲柄转动的机械能。它用连杆机构来控制进气和排气的方向，以实现倒顺车。

3) 缝纫机模型。为了达到缝纫目的，采用了多种机构相互配合来实现这一工作要求。例如：针的上下运动是由曲柄滑块机构实现的；提线动作是由圆柱凸轮机构来完成的；送布运动是由几组凸轮相互配合来实现的。图 1-3 所示为其部分机构简图。

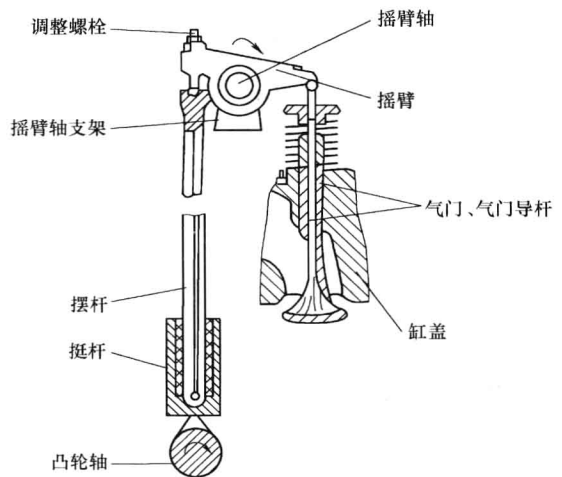


图 1-2 发动机配气机构

以上三种机器有一个共同的特点，就是都由几个机构按照一定的运动要求互相配合组成。

(2) 运动副 展示板圆盘中展示的是部分运动副。运动副就是指两个构件之间的活动联接，它们是机构的主要组成部分之一。在《机械原理》中，运动副以运动特征或外形命名，例如球面副、螺旋副、曲面副、移动副等。



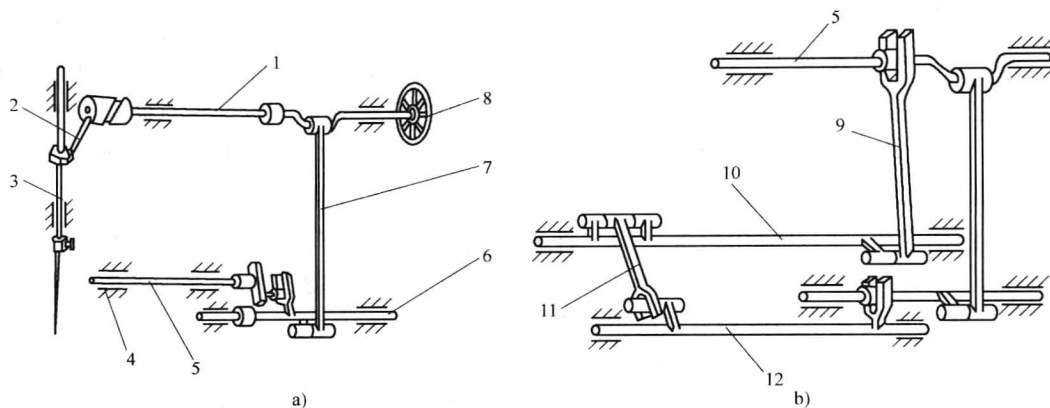


图 1-3 JA1—1 型缝纫机机构简图

a) JA1-1 型缝纫机送料机构简图 b) JA1-1 型缝纫机引线机构、摆梭线机构简图  
 1—上轴 2—小连杆 3—针杆 4—机架 5—下轴 6—摆轴 7—大连杆  
 8—带轮 9—牙叉 10—送布轴 11—牙架 12—抬牙轴

## 2. 连杆机构

平面连杆机构是被广泛应用的机构之一，这里（图 1-4）展示了曲柄摇杆机构、双曲柄机构、双摇杆机构、曲柄滑块机构、曲柄摇杆机构、转动导杆机构、导杆机构、曲柄移动导杆机构、双滑块机构、双滑块机构。

连杆机构的基本形式分为三大类：

(1) 铰链四杆机构 铰链四杆机构有三种运动形式：

1) 当四杆机构杆之间的长度满足曲柄存在的条件，若取与最短杆相邻的杆为机架，而这时最短杆如能够做整周回转，则这种机构称为曲柄摇杆机构。

2) 当取最短杆为机架，这时与机架相连的两杆均成为曲柄，所以这个机构称为双曲柄机构。当一个曲柄等速转动，另一个曲柄具有在一个半周内转动慢、在另一个半周内转动快的现象时，这种现象称为急回特性。

3) 当取最短杆对边的杆为机架，则与机架相连的两杆均不能作整周回转，而只能来回摆动，这种机构称为双摇杆机构。

上述各种机构，都由一个铰链四杆运动链组成，在有曲柄存在的条件下，取不同的构

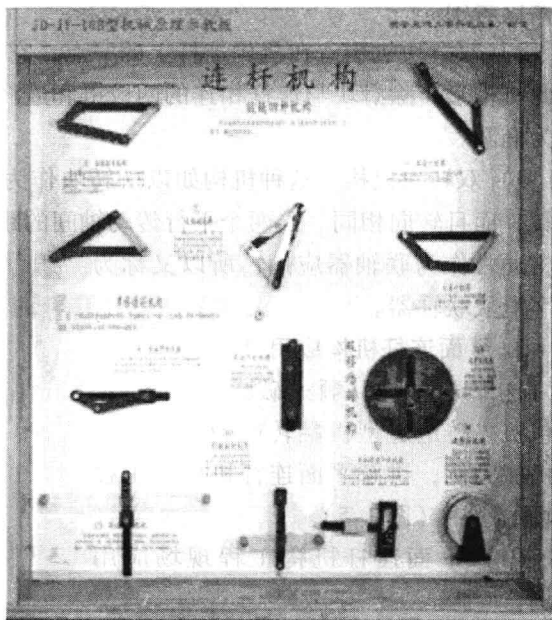


图 1-4 连杆机构

件为机架，可以得到铰链四杆机构的三种不同运动形式。这种研究机构的方法在“机械原理”课程中称为“倒置”。另外还有一种双摇杆机构，从外表看它与上述的铰链四杆相似，但它们之间杆的长度不满足曲柄存在的条件，因此无论如何倒置均没有曲柄出现。

(2) 单移动副机构 这是一类带有一个移动副的四杆机构，它是以一个移动副代替铰链四杆机构中的一个转动副经演变后得到的，简称为单移动副机构。

1) 曲柄滑块机构是应用得最多的一种单移动副机构。它可以将转动变为往复移动，或将往复移动转变为转动。但是，当曲柄匀速转动时。滑块的速度则是非匀速的。再把机构倒置，还可以得到不同运动形式的单移动副机构——曲柄摇块机构。

2) 当杆状构件与块状构件组成移动副时，若其杆状构件作整周转动，称其为转动导杆，这个机构称为转动导杆机构；若其杆状构件作非整周转动，称其为摆动导杆，这个机构称为摆动导杆机构；若其杆状构件作移动，称其为移动导杆，这个机构称为移动导杆机构。

(3) 双移动副机构 这类机构的基本形式是带有两个移动副的四连杆机构，简称双移动副机构。把它们倒置，可得到三种形式的四连杆机构。

1) 曲柄移动导杆机构。这种机构导杆作简谐移动，所以又叫做正弦机构。它常用于仪器仪表中。

2) 双滑块机构。在机构连杆上的一点，它的轨迹是一个椭圆，所以叫做画椭圆机构。在此机构上，除滑块与连杆相连的两铰链和连杆中点的轨迹为圆以外，其余所有点的轨迹均为椭圆。

3) 双转块机构。这种机构如以一转块作为等速回转的原动件，则从动转块也作等速回转，而且转向相同。当两个平行传动轴间的距离很小时，可采用这种机构。因此，这种机构通常作为联轴器应用，所以又称为十字滑块联轴器。

### 3. 平面连杆机构应用

这部分内容以颚式破碎机、飞剪、压包机、铸造造型机翻转机构和泵等实际机械为例，讲解平面连杆机构在工程现场的应用（图 1-5）。

(1) 平面连杆机构工程现场应用示例

1) 油泵模型 1。其示意图和机构简图如图 1-6 和图 1-7 所示。该机构的原动件为偏心轮 2，起着曲柄的作用。连杆 3 及转块 4 为从动件。偏心轮 2 相对机架 1 绕  $O$  点回转，并通过转动副连接带动连杆 3 运动。连杆 3 既有往复移动，又有相对转动。转块 4 相对机架作往复

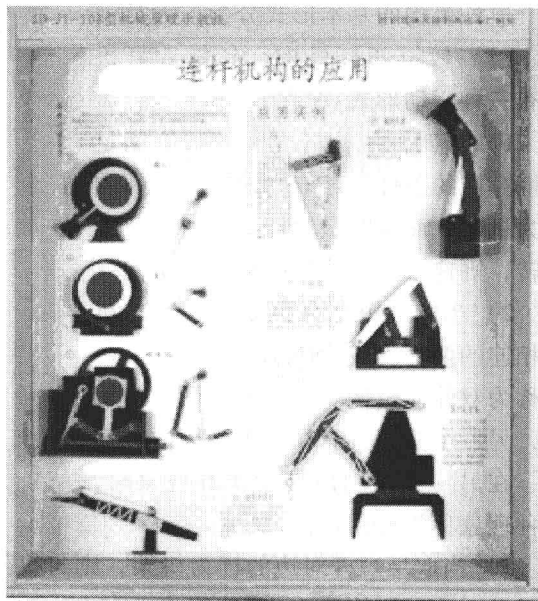


图 1-5 连杆机构的应用



转动。通过分析可知, 该机构共有 3 个活动构件和 4 个低副 (3 个转动副、1 个移动副), 泵体上右边的圆孔是进油孔, 左边的圆孔为出油孔。

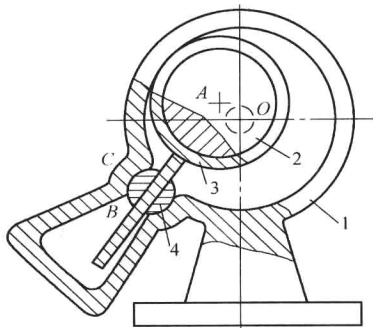


图 1-6 回转偏心泵示意图

1—机架 2—偏心轮 3—连杆 4—转轴

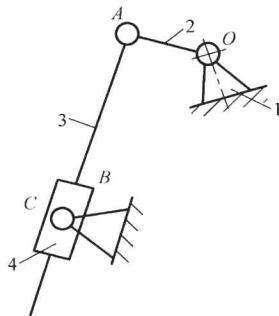


图 1-7 偏心泵机构简图

1—机架 2—偏心轮 3—连杆 4—转轴

2) 油泵模型 2。它的工作原理与油泵模型 1 一样, 要着重弄清它的工作原理和运动情况, 以及它有几个构件和什么形式的运动副。

3) 颚式破碎机。常用来粉碎矿石, 它是一个平面六杆机构。

(2) 平面连杆机构的应用

1) 第一类应用是实现给定的运动规律

a. 飞剪。如图 1-8 所示。飞剪用于冷轧厂带钢自动连续剪切线上。剪切钢板的工艺要求是: 在剪切区域内, 上下两个切削刃在水平方向上的运动分速度应相等, 而且又等于钢板的运行速度。这里采用了曲柄摇杆机构。该机构很巧妙地利用了连杆上一点的轨迹和摇杆上一点的轨迹相配合而完成剪切工作。机构很简单, 却完成了较复杂的运动要求。

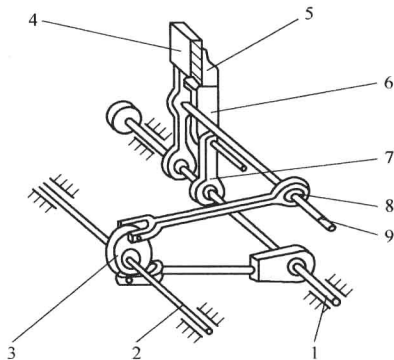


图 1-8 摆式飞剪机构简图

1—主轴 2—轴 3—摆杆 4—上切削刃  
5—上切削刃导轨 6—下切削刃 7—下刀架  
8—中间轴铰链 9—中间轴

b. 压包机。它要求冲头在完成一次压包冲程后有一段停歇时间, 以便于进行上下料工作。冲头滑块在最上端位置时可以看到有一段停歇时间。

c. 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振实后, 利用该机构的连杆将砂箱由下面经过 180° 的翻转搬运到上面的位置, 然后取模, 完成一次造型工艺。该机构可实现两个连杆给定的不同位置。

d. 电影摄影升降机。摄影机的工作台要求在升降过程中, 始终保持原有的水平位置。这是采用了一个平行四边形机构, 工作台设在它的连杆上, 这样就保证了工作台在升降过程中始终保持水平位置。

2) 第二类应用是实现给定的运动轨迹。例如港口起重机, 它是一个双摇杆机构。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, 使重物作



水平移动，避免不必要的升高重物而消耗能量。

#### 4. 凸轮机构

凸轮机构主要有盘形凸轮机构、移动凸轮机构、槽凸轮机构、等宽凸轮机构、等径凸轮机构、主回凸轮机构、球面凸轮机构、圆锥凸轮机构、圆柱凸轮机构（图 1-9）。

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，便可使从动构件获得任意的运动规律。由于凸轮机构简单而紧凑，因此，它广泛地应用于各种机械、仪器和操纵控制装置中。

(1) 凸轮机构的主要组成部分 凸轮机构主要由三部分组成：

1) 凸轮。它有特定的廓线。如果凸轮的外形像一个盘形，就称之为盘形凸轮。

2) 从动件。从动件由凸轮廓线控制着按预期的运动规律作往复移动或摆动。从动件端部的结构形式有尖端、滚子、平底和曲面四种。

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。常采用弹簧装置来实现。

(2) 凸轮机构的类型

1) 按凸轮的形状分类

a. 盘形凸轮机构，机构简单、设计容易、制造方便，所以应用很广。

b. 移动凸轮机构，凸轮作直线往复移动，它可看成是转轴在无穷远处的盘形凸轮。结构简单，应用面广。

2) 按锁合方式分类

a. 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，这种锁合方式称为力锁合凸轮机构。

b. 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，这种锁合方式称为结构锁合凸轮机构。

常用的结构锁合凸轮机构有以下几种：

槽凸轮机构。从动件端部嵌在凸轮的沟槽中保证从动件的运动。这种形式的锁合方式最简单，并且从动件的运动规律不受限制。缺点是增大了凸轮机构的尺寸及不能采用平底从动件。

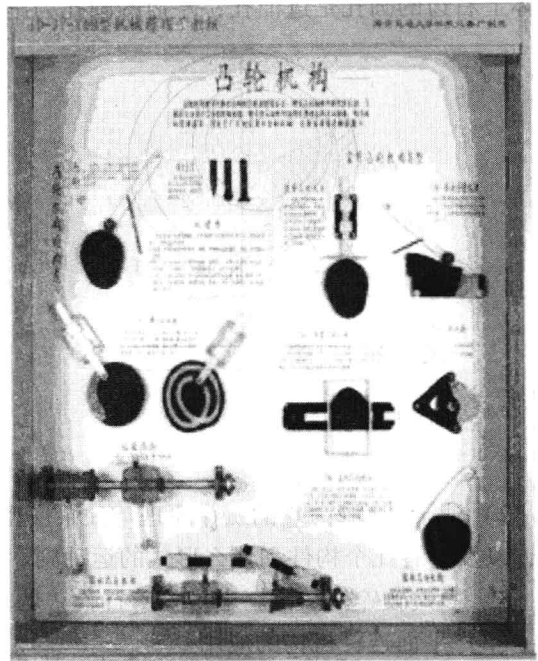


图 1-9 凸轮机构



等宽凸轮机构。凸轮的宽度始终等于平底从动件框架的宽度，因此凸轮与平底可始终保持接触。

等径凸轮机构。在任何位置时从动件两滚子中心到凸轮转动中心的距离之和等于一个定值。

主回凸轮机构。这是用两个固定在一起的盘状凸轮来控制一个从动件的凸轮机构。这两个凸轮一个称主凸轮，它控制从动件的工作行程；另一个称回凸轮，它控制从动件的回程。

### 3) 按凸轮轮廓曲线方式分类

a. 平面凸轮机构。它的凸轮和从动件的运动平面互相平行。

b. 空间凸轮机构。它的凸轮和从动件的运动平面不是互相平行的。

空间凸轮机构一般根据它们的外形命名，主要有球面凸轮、双曲面凸轮、圆锥体凸轮、圆柱凸轮。它们有一个共同的特点是，当取移动从动件时，移动从动件沿凸轮机构母线方向运动。

球面凸轮机构。它也是空间凸轮机构，这个凸轮是圆弧回转体，它的母线是一条圆弧，一般都取摆动从动件，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，所有空间凸轮机构中，以圆柱凸轮机构用得最多。

## 5. 齿轮机构类型

齿轮机构是现代机械中应用最广泛的一种传动机构。它具有传动准确、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。根据轮齿的形状不同，齿轮分为直齿圆柱齿轮、斜齿圆柱齿轮、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，如图 1-10 所示。

上述齿轮机构中，外啮合直齿圆柱齿轮机构、内啮合直齿圆柱齿轮机构、齿轮齿条机构、斜齿圆柱齿轮机构、人字齿轮机构、直齿锥齿轮机构、曲线齿锥齿轮机构是最常用的传动机构。这是因为它们具有传动准确可靠、运转平稳、承载能力大、体积小、效率高等优点，所以在各种设备中被广泛采用。

### (1) 平行轴齿轮传动

1) 外啮合直齿圆柱齿轮机构。它是齿轮机构中最简单、最基本的一种类型。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



图 1-10 齿轮机构

究其他类型的齿轮机构。

2) 内啮合直齿圆柱齿轮机构。它的主、从动齿轮之间转向相同，在同样的传动比情况下所占位置小。

3) 齿轮齿条机构。它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。它的轮齿沿螺旋线的方向排列在圆柱体上。螺旋线方向有左旋和右旋。斜齿圆柱齿轮的传动特点是传动平稳，承载能力高，噪声小。由于轮齿倾斜而产生轴向力，因此使轴承受受到附加的轴向推力。

5) 人字齿轮机构。它可看成为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，所以两个轴向力互相抵消。人字齿轮传动常用于冶金、矿山等设备的大功率传动场合。

(2) 相交轴齿轮传动 传递两相交轴之间运动的锥齿轮机构。它的轮齿分布在一个截锥体上，而两轴线的夹角  $\theta$  可任意选择。但是，一般最常用的夹角为  $90^\circ$ 。因轴线相交，两轴孔相对位置加工难以达到高精度，而且齿轮是悬臂安装，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，它制造容易，应用较广。

2) 曲线齿锥齿轮，它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) 交错轴齿轮传动 传递交错轴运动和动力的齿轮机构，它有以下几种形式：

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

2) 螺旋齿轮齿条机构。它的特点与螺旋齿轮机构相似。

3) 圆柱蜗杆蜗轮机构。两轴的夹角为  $90^\circ$ ，其特点是传动平稳，噪声小，传动比大，一般单级传动比为  $8 \sim 100$ ，结构紧凑。

4) 弧面蜗杆蜗轮。弧面蜗杆的外形是圆弧回转体。蜗杆与蜗轮的接触齿数较多，降低了齿面的接触应力，其承载能力为普通圆柱蜗杆蜗轮传动的  $1.4 \sim 4$  倍。但是制造复杂，装配条件要求较高。

## 6. 齿轮机构参数

介绍齿轮轮廓线中渐开线、摆线的形成以及渐开线齿轮的基本参数，内容如图 1-11 所示。在这一展示板中，通过齿轮基本参数来介绍一些齿轮的基本知识。在板面的右上方有半个齿轮模型

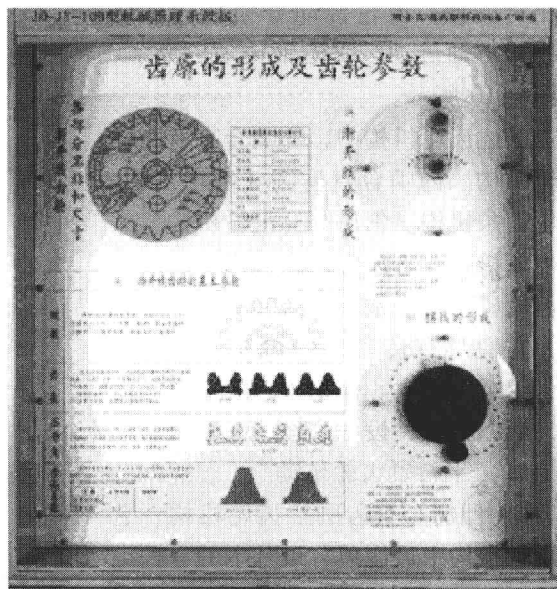


图 1-11 齿廓的形成及齿轮参数



和半个齿轮图，将两者比较一下可以看到，图上的一些尺寸在齿轮实物上是很难表示出的，故应该了解齿轮实物上哪些尺寸是看得到量得出的。

(1) 渐开线的形成和性质 渐开线是以一条直线沿一个圆周上作纯滚动时，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，这个圆称为基圆。观察发生线、基圆、渐开线这三者的关系，从而可得到渐开线的一些性质：

- 1) 渐开线的形状决定于基圆的大小。
- 2) 发生线是渐开线的法线，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。滚圆称为发生圆，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) 如果滚圆在基圆内滚动时，滚圆上一点所画的轨迹称为内摆线。

(3) 渐开线齿轮的基本参数 为了定量地确定齿轮各部分的尺寸，需要规定若干个基本参数。对于标准齿轮，其基本参数规定有齿数  $z$ 、模数  $m$ 、分度圆压力角  $\alpha$ 、齿顶高系数  $h_a^* = 1$  和顶隙系数  $c^* = 0.25$ （正常齿制），而这些参数已有国家标准。

1) 齿数。若保持齿轮传动的中心距不变，增加齿数能增大重合度，改善传动的平稳性，减小模数，降低齿高，故可减少金属切削量，节约制造成本。齿高小还能减小滑动速度，从而减小磨损及胶合的危险性。但在这种情况下，轮齿弯曲强度变小。同时为防止根切，齿数应大于根切时的齿数，因而一般小齿轮齿数在 20 左右。

2) 模数  $m$ 。它等于两齿间的距离即齿距  $p$  被  $\pi$  除。它是确定轮齿的周向尺寸、径向尺寸以及齿轮大小的一个参数，它又是齿轮强度计算的一个重要参数。模数的数列已标准化。图 1-11 所示为不同模数时的轮齿大小。

3) 分度圆压力角  $\alpha$ 。渐开线齿廓上各点的压力角是不同的。愈接近基圆压力角愈小，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标准值。模数和齿数相同的条件下，压力角不同，齿形也不同。

4) 齿顶高系数和顶隙系数。轮齿的高度在理论上受到齿顶厚度过小的限制。由于齿厚是模数的函数，为使齿高与齿厚之间建立一定关系，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，常用的为正常齿高制，这里看到的是两种齿高轮齿高度的比较情况。

## 7. 周转轮系

周转轮系中的差动轮系和行星轮系，可以获得大的传动比，实现特定的运动，实现分路传动，实现运动的合成和分解等，如图 1-12 所示。

(1) 周转轮系的概念和分类 当几对齿轮组成一个传动系统成为轮系时，在轮系中有一个或一个以上的齿轮，它的几何轴线绕位置固定的轴线回转，这种轮系称为周转轮系。



它有两大类：

1) 第一类是差动轮系。如果转动周转轮系中大齿轮 3 和转臂  $h$  都是主动件，则它有两个自由度，这种周转轮系称为差动轮系。

2) 第二类是行星轮系。如果把大齿轮 3 固定不动，机构的自由度为 1，此时的周转轮系称为行星轮系。

如果把这个轮系中的转臂  $h$  固定不动，这时周转轮系就变为定轴轮系。

周转轮系的形式很多，各种类型都有它各自的优点和缺点。具体使用时应该发挥其各类优点，同时避开它的缺点。

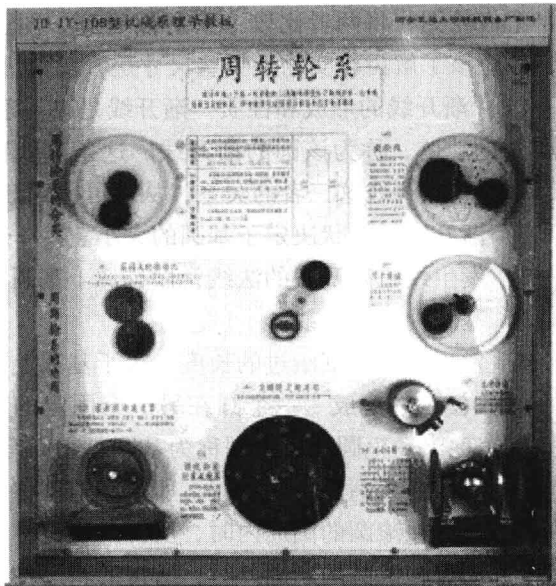


图 1-12 周转轮系

### (2) 周转轮系的优点

1) 由外啮合齿轮组成的行星轮系，当每一对啮合齿轮采用少齿差时，可获得很大的传动比。如当每对齿轮齿数相差 1 时可得到的传动比为 10000；齿数差为 2 时，传动比为 2500。这种结构的行星轮系，传动比愈大，传动效率愈低。

2) 一些特殊的周转轮系可实现一些特定的运动。如采用三个大小相等的齿轮串联起来组成的一个行星轮系，当太阳轮转动时行星轮作平动。

3) 差动轮系可将一个运动分解为两个运动，同样也可以将两个运动合成为一个运动。运动的合成在机构补偿装置和自动调速装置中都得到广泛应用。当齿轮 1 和齿轮 3 主动，得到加法机构  $n_h = \frac{1}{2} (n_1 + n_3)$ ，即运动合成；如果是齿轮 1 和转臂  $h$  主动，得到减法机构  $n_3 = 2n_h - n_1$ ，即运动分解。

4) 旋轮线应用。在周转轮系中，行星轮上某点的运动轨迹称为旋轮线。在内啮合行星轮系中，当行星轮的半径与内齿轮半径之比值取不同数值时，可得到不同形状和性质的旋轮线，与连杆机构组合，可实现一些特定轨迹的运动。

5) 行星减速器适合于传递功率，它的结构紧凑，效率也不低，其一级传动比为 1.2 ~ 12。展示板中所示的行星轮系的传动比为 7。

6) 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。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，如向左转弯，左轮转动慢，右轮转动快。

### (3) 减速器

1) 谐波齿轮减速器。最大的特点是它有一个柔轮。柔轮是一个弹性元件，利用它的变形来实现传动。其传动比的计算方法与周转轮系相似。它的特点是传动比大，元件少，





体积小,同时啮合的轮齿多,在相同条件下比一般齿轮减速器的元件少一半,体积和质量可减少 30% ~ 50%。

2) 摆线针轮行星传动减速器,这种减速器有体积小、质量轻、承载能力大、效率高、工作平稳等优点。

### 8. 间歇运动机构

机械中经常需要其中某些构件产生周期性的运动和停歇,这种运动的机构称为间歇运动机构,如图 1-13 所示。这里介绍各种间歇运动机构。

间歇运动机构的种类很多,各有特点,现分别介绍齿式棘轮机构、摩擦式棘轮机构、外啮合槽轮机构、内啮合槽轮机构、球面槽轮机构、渐开线不完全齿轮机构、摆线针轮不完全齿轮机构、凸轮式间歇运动机构、停歇曲柄连杆机构、停歇导杆机构等几种:

(1) 棘轮机构 棘轮机构的结构简单,制造方便,所以应用较广。棘轮机构有齿式和摩擦式等形式。

1) 齿式棘轮机构。它运动可靠,结构简单,棘轮运动角只能作有级调整,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场合。

2) 摩擦式棘轮机构。它的结构简单,制造方便,棘轮运动角可作无级调整。因摩擦传动棘爪与轮接触的过程中无噪声,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 它也具有结构简单、制造容易、工作可靠和机械效率高等特点。但是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,故不宜用于高速,适用范围受到一定限制。槽轮机构分为外啮合和内啮合两种形式。

1) 外啮合槽轮机构。它是槽轮机构中用得最多最广的一种间歇机构。

2) 内啮合槽轮机构。当要求槽轮机构停歇时间短,传动较平稳,减少机构空间尺寸和要求槽轮机构主、从动件转动方向相同时,可采用内啮合槽轮机构。

上述两种槽轮机构,都是传递平行轴之间的运动。还有传递两相交轴之间运动的槽轮机构。如图 1-13 中的球面槽轮机构,该槽轮做成半球形。

(3) 齿轮式间歇运动机构 这是渐开线不完全齿轮机构。各种不同齿轮式间歇运动机构都是由齿轮机构演变成的,它的外形特点是齿轮不布满整个节圆周上,其从动轮的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,但从动轮在进入啮合时有



图 1-13 间歇机构