



普通高等教育“十二五”规划教材  
高等工院校卓越工程师教育教材

上海大学 傅燕鸣 主编

# 机械原理与机械设计

## 课程实验指导

JIXIEYUANLI YU JIXIESHEJI  
KECHENG SHIYAN  
ZHIDAO

上海科学技术出版社

普通高等教育“十二五”规划教材  
高等工科院校卓越工程师教育教材

# 机械原理与机械设计课程实验指导

上海大学 傅燕鸣 主编

机械原理与机械设计课程实验指导  
主编 傅燕鸣

上海科学出版社  
上海 1000 119 印张: 10  
787×1092 1/16  
2014年3月第1版  
2014年3月第1次印刷  
ISBN 978-7-313-10001-1  
定价: 40.00元

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械原理与机械设计课程实验指导/傅燕鸣主编. —上海:上海科学技术出版社,2014.3

ISBN 978-7-5478-2053-7

I. ①机… II. ①傅… III. ①机械学-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 (2013) 第 253298 号

主 编 傅 燕 鸣 上 海 大 学

机械原理与机械设计课程实验指导

傅燕鸣 主编

上海世纪出版股份有限公司 出版  
上海科学技术出版社

(上海钦州南路71号 邮政编码200235)

上海世纪出版股份有限公司发行中心发行

200001 上海福建中路193号 www.ewen.cc

常熟市兴达印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张:10

字数:240千字

2014年3月第1版 2014年3月第1次印刷

ISBN 978-7-5478-2053-7/TH·42

定价:24.00元

---

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,  
请向工厂联系调换

# 内 容 提 要

本书是为了适应卓越工程师课程改革要求,着力提高学生的学习能力、实践能力和创新能力,满足高等工科院校机械类、近机类学生在机械原理、机械设计和机械设计基础课程学习使用要求而编写的。全书分为3篇,共15章。第1篇为机械原理课程实验,第2篇为机械设计课程实验,第3篇为实验数据的计算机处理方法。附录给出了实验报告的撰写方法及CQYJ-12型静态电阻应变仪简介。

本书可作为高等工科院校卓越工程师教育试点班,高等工科院校本科、大专和成人教育等各类学校的机械类及近机类专业的机械原理、机械设计、机械设计基础课程的实验教材,也可作为有关人员进行教学、科研和工程实践的参考书。

本书内容具有相对的完整性和系统性,对每个实验都简要地介绍了理论及机械原理、机械设计课程的基本理论和实验原理及方法,通过预习便可进行独立实验。因此,实验的时间安排既可以与课程进程相配合,也可以不受课程进度的限制给工科学生选修。为了便于学生深入思考,每个实验后面均附有思考题。

本书编写工作的分工为:第1~4章、第6~10章、第12~15章及附录由保磊编写;第5章由杜春存、解洪涛编写;第11章由朱红宇编写;插图由傅灵秀、沈斌、朱磊、周明初制作。书籍的计算机文字录入由郭娟、郭洪宇完成。全书由保磊统稿。

本书在编写过程中,参阅了张健民教授等的同名教材,多次教学设备生产厂家的技术资料,在此,对各位专家衷心的感谢。

限于编者的水平和编写时间的仓促,书中难免有不足之处,恳请读者批评指正。有关问题可联系编者(电话:200072),或发邮件到 [zhu@shu.edu.cn](mailto:zhu@shu.edu.cn)。

## 前 言

机械原理、机械设计和机械设计基础课程是设计性、实践性很强的技术基础课。通过相应的课程实验,可以使学生获得实际操作的基本训练,了解实验的基本方法和力学参数、机械量的测定方法,提高学生观察分析事物和动手的能力,并对课程的基本理论起到巩固和深化的作用。本书是为了适应卓越工程师课程改革要求,着力提高学生的学习能力、实践能力和创新能力,满足高等工院校机械类、近机类学生在机械原理、机械设计和机械设计基础课程学习使用要求而编写的。

本书分为3篇及附录。第1篇为机械原理课程实验(第1~7章),介绍了常用运动副和机构的认知,机构运动简图的测绘和分析,渐开线齿轮齿廓范成,渐开线直齿圆柱齿轮参数测定,曲柄导杆滑块机构多媒体测试、仿真和设计,机构系统动力学调速和机构运动创新设计方案7个实验。第2篇为机械设计课程实验(第8~14章),包括通用零部件和常用传动的认知,螺栓组连接,带传动的滑动和效率测定,机械传动性能综合测试,轴系结构设计,轴系结构分析和减速器拆装及结构分析7个实验。第3篇为实验数据的计算机处理方法(第15章),介绍了Origin软件在机械设计实验中的应用。最后的附录给出了实验报告的撰写方法及CQYJ-12型静态电阻应变仪简介,以供教师和学生参考。

本书内容具有相对的完整性和系统性。对每个实验都简要地阐明了所涉及的机械原理、机械设计课程的基本理论和实验原理及方法,通过预习便可进行自主实验。因此,实验的时间安排既可以与讲课进程相配合,也可以不受讲课进程的限制独立开设实验课程。为了帮助学生深入思考,每个实验后面均附有思考题。

本书编写工作的分工为:第1~4章、第6~10章、第12~15章及附录由傅燕鸣编写;第5章由杜素芬、傅燕鸣编写;第11章由朱群华编写;插图由傅昊赞、沈斌、朱磊、周暄妍制作。书稿的计算机文字录入由郭娟、蔡忠琴完成。全书由傅燕鸣主编。

本书在编写过程中,参阅了以往其他版本同类教材、多家教学设备生产厂商的设备说明书等技术资料,在此对其表示衷心的感谢。

限于编者的水平和编写时间的仓促,书中难免有不当之处,恳切读者批评指正。来信请惠寄上海市延长路149号上海大学21信箱(邮编:200072),或发电子邮件至fym@staff.shu.edu.cn。

编者

1. 学生必须遵守实验室各项规章制度。进入实验室,要服从指导教师的指导和安排,在规定的房间和设备仪器上工作。

2. 按时到达实验室,不迟到、不早退、不无故缺席。进入实验室应衣着整洁,不得嬉笑喧闹,保持环境安静;严禁吃食,保持实验室整洁卫生。

3. 实验前要根据教学要求做好预习,了解实验的名称、内容,准备好实验用书、文具用品、计算和绘图工具等。

4. 爱护实验设备和器材,要了解有关设备仪器的性能和使用方法,严格按照安全操作规程和听从指导教师的指导进行操作。

5. 设备仪器发生故障时,学生要及时报告指导教师和管理人员,保护现场。如有违反实验制度和操作规程而造成经济损失,除按学校有关规定做出书面检查外,还应根据损失大小予以经济赔偿。

6. 实验应严肃、认真,独立思考,按时完成。

7. 实验完毕,仪器及物品应恢复原位,整理场地,切断电源。

8. 认真写好实验报告,并按时上交指导教师予以评定实验成绩,不交实验报告者,不得参加本课程期末考试。

## 第 2 章 机械设计课程实验

第 2 章 常用机械传动机构的认识  
实验 / 23

2.1 带传动机构的常用传动机构的认识  
实验 / 23

2.2 齿轮传动机构的常用传动机构的认识  
实验 / 23

实验 / 23

第 3 章 机械传动创新设计方案实验 / 23

3.1 机械传动创新设计方案实验  
指导 / 23

3.2 机械传动创新设计方案实验  
报告 / 23

第 4 章 机械传动创新设计方案实验 / 23

4.1 机械传动创新设计方案实验  
指导 / 23

4.2 机械传动创新设计方案实验  
报告 / 23

# 目 录

## CONTENTS

### 第 1 篇 机械原理课程实验

第 1 章 常用运动副和机构的认知实验 .....	3	4.1 渐开线直齿圆柱齿轮参数测定实验指导 / 31	31
1.1 常用运动副和机构的认知实验指导 / 3		4.2 渐开线直齿圆柱齿轮参数测定实验报告 / 35	35
1.2 常用运动副和机构的认知实验报告 / 11			
第 2 章 机构运动简图的测绘和分析实验 .....	13	第 5 章 曲柄导杆滑块机构多媒体测试、仿真和设计实验 .....	39
2.1 机构运动简图的测绘和分析实验指导 / 13		5.1 曲柄导杆滑块机构多媒体测试、仿真和设计实验指导 / 39	39
2.2 机构运动简图的测绘和分析实验报告 / 17		5.2 曲柄导杆滑块机构多媒体测试、仿真和设计实验报告 / 49	49
第 3 章 渐开线齿轮齿廓范成实验 .....	23	第 6 章 机构系统动力学调速实验 .....	53
3.1 渐开线齿轮齿廓范成实验指导 / 23		6.1 机构系统动力学调速实验指导 / 53	53
3.2 渐开线齿轮齿廓范成实验报告 / 27		6.2 机构系统动力学调速实验报告 / 57	57
第 4 章 渐开线直齿圆柱齿轮参数测定实验 .....	31	第 7 章 机构运动创新设计方案实验 .....	61
		7.1 机构运动创新设计方案实验指导 / 61	61
		7.2 机构运动创新设计方案实验报告 / 70	70

### 第 2 篇 机械设计课程实验

第 8 章 通用零部件和常用传动的认知实验 .....	75	实验报告 / 84	84
8.1 通用零部件和常用传动的认知实验指导 / 75		第 9 章 螺栓组连接实验 .....	87
8.2 通用零部件和常用传动的认知		9.1 螺栓组连接实验指导 / 87	87
		9.2 螺栓组连接实验报告 / 91	91



第 10 章 带传动的滑动和效率测定实验 ..... 95	第 12 章 轴系结构设计实验 ..... 113
10.1 带传动的滑动和效率测定实验指导 / 95	12.1 轴系结构设计实验指导 / 113
10.2 带传动的滑动和效率测定实验报告 / 99	12.2 轴系结构设计实验报告 / 117
第 11 章 机械传动性能综合测试实验 ..... 103	第 13 章 轴系结构分析实验 ..... 119
11.1 机械传动性能综合测试实验指导 / 103	13.1 轴系结构分析实验指导 / 119
11.2 机械传动性能综合测试实验报告 / 109	13.2 轴系结构分析实验报告 / 123
	第 14 章 减速器拆装及结构分析实验 ..... 125
	14.1 减速器拆装及结构分析实验指导 / 125
	14.2 减速器拆装及结构分析实验报告 / 130

### 第 3 篇 实验数据的计算机处理方法

第 15 章 Origin 7.0 在机械设计实验中的应用 ..... 135	15.1 Origin 7.0 简介 / 135
	15.2 Origin 7.0 应用实例 / 138
附录 1 实验报告的撰写方法 / 143	
附录 2 CQYJ-12 型静态电阻应变仪简介 / 145	
参考文献 / 149	



# 第1章 常用运动副和机构的认知实验

## 第1篇

### 1.1 常用运动副和机构的认知实验指导

## 机械原理课程实验

#### 1.1.1 实验目的

- (1) 了解各组成式机构的组成和特点。
- (2) 了解常用机构的组成、基本类型和应用。
- (3) 通过观察和分析结构图,建立现代机构设计的意识。

#### 1.1.2 实验设备

机械原理课程(共10周)主要展示各种常用机构及其应用,介绍机构的类型和结构,演示其工作原理及运动,组织教师讲解各相应章节系列的内容(见表1-1)。

表1-1 机械原理课程各章节名称及系列的内容

序号	名称	系列内容
1	机构的组成	设计、设计图、汽轮机、各种机构的图
2	平面机构的组成原理	平面机构的三种基本形式、平面机构的演化原理
3	平面机构的运动分析	平面机构的运动分析、平面机构的运动分析、平面机构的运动分析、平面机构的运动分析
4	平面机构的力分析	平面机构的力分析、平面机构的力分析、平面机构的力分析、平面机构的力分析
5	凸轮机构	凸轮机构、凸轮机构、凸轮机构、凸轮机构、凸轮机构、凸轮机构、凸轮机构、凸轮机构
6	连杆机构的应用	连杆机构的应用、连杆机构的应用、连杆机构的应用、连杆机构的应用、连杆机构的应用、连杆机构的应用、连杆机构的应用、连杆机构的应用
7	轮系的应用	轮系的应用、轮系的应用、轮系的应用、轮系的应用、轮系的应用、轮系的应用、轮系的应用、轮系的应用
8	其他机构	其他机构、其他机构、其他机构、其他机构、其他机构、其他机构、其他机构、其他机构
9	机械传动	机械传动、机械传动、机械传动、机械传动、机械传动、机械传动、机械传动、机械传动
10	其他机构	其他机构、其他机构、其他机构、其他机构、其他机构、其他机构、其他机构、其他机构

#### 1.1.3 实验内容

本实验课程主要介绍机械原理课程的主要理论内容,通过实验,使学生了解机械原理课程的主要理论内容,通过实验,使学生了解机械原理课程的主要理论内容,通过实验,使学生了解机械原理课程的主要理论内容。



# 第1章 常用运动副和机构的认知实验

## 1.1 常用运动副和机构的认知实验指导

### 1.1.1 实验目的

- (1) 了解常用运动副的构成和特点。
- (2) 了解常用机构的组成、基本类型和应用。
- (3) 通过对常用机构的认知,建立现代机构设计的意识。

### 1.1.2 实验设备

机械原理陈列柜(共10柜)主要展示各种常用机构及其应用,介绍机构的类型和结构,演示其工作原理及运动。机械原理陈列柜各柜柜名及陈列的内容见表1-1。

表1-1 机械原理陈列柜各柜柜名及陈列的内容

序号	柜名	陈列内容
1	机构的组成	前言、蒸汽机、内燃机、各种运动副
2	平面连杆机构的类型	铰链四杆机构的三种基本形式、平面四杆机构的演化形式
3	平面连杆机构的应用	颚式碎石机、飞剪、惯性筛、摄影机平台升降机构、机车车轮联动机构、鹤式起重机、牛头刨床、插床
4	空间连杆机构	RSSR 空间机构、4R 万向节、RRSRR 角度传动机构、RCCR 联轴节、RCRC 揉面机构、SAR-RUT 机构
5	凸轮机构	盘形凸轮、槽形凸轮、移动凸轮、等宽凸轮、反凸轮、端面凸轮、圆锥凸轮、圆柱凸轮、主回凸轮
6	齿轮机构的类型	外啮合直齿轮、内啮合直齿轮、齿轮齿条、斜齿轮、人字齿轮、直齿圆锥齿轮、斜齿圆锥齿轮、螺旋齿轮、蜗轮蜗杆
7	轮系的类型	平面定轴轮系、空间定轴轮系、行星轮系、差动轮系、3K 型周转轮系、复合轮系
8	轮系的功用	较大传动比、分路传动、变速传动、换向传动、运动分解、运动合成、摆线针轮减速器、谐波传动减速器
9	间歇运动机构	棘轮机构、槽轮机构、不完全齿轮机构、凸轮式间歇机构
10	组合机构	反馈机构、叠加机构、串联机构、并联机构、复合机构

### 1.1.3 实验内容

参观机械原理陈列柜。机械原理陈列柜主要解说词是:

同学们,你们好!欢迎大家参观机械原理陈列柜。本陈列柜是根据机械原理课程教学内容设

计的,它由10个陈列柜所组成,主要展示平面连杆机构、空间连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系、间歇机构以及组合机构等常见机构的基本类型和应用,演示机构的传动原理。通过参观,可以帮助大家加强对常见机构的感性认识,并促进对机构设计问题的理解。

## 第一柜 机构的组成

请大家观看正在运动着的蒸汽机模型。蒸汽机主要由主传动的曲柄滑块机构、控制进排气和倒顺车用的配气连杆机构所组成。工作时,它把蒸汽的热能转换为曲柄转动的机械能。

再看内燃机的模型。它主要由主传动的曲柄滑块机构、控制点火的定时齿轮机构和控制进排气的凸轮机构所组成。工作时,它将燃气的热能转换为曲柄转动的机械能。

通过对蒸汽机、内燃机模型的观察可以看到,机器的主要组成部分是机构。简单机器可能只包含一种机构,比较复杂的机器则可能包含多种类型的机构。可以说,机器是能够完成机械功或转化机械能的机构的组合。

机构是机械原理课程研究的主要对象。那么,机构又是怎样组成的呢?通过对机构的分析,可以发现它由构件和运动副所组成。

运动副是指两构件之间的可动连接。这里陈列有转动副、移动副、螺旋副、球面副和曲面副等模型。凡两构件通过面的接触而构成的运动副,通称为低副;凡两构件通过点或线的接触而构成的运动副,称为高副。

## 第二柜 平面连杆机构的类型

平面连杆机构是应用广泛的机构,其中又以四杆机构最为常见。平面连杆机构的主要优点是能够实现多种运动规律和运动轨迹的要求,而且结构简单、制造容易、工作可靠。

铰链四杆机构是连杆机构的基本形式。根据其两连架杆的运动形式不同,铰链四杆机构又可细分为曲柄摇杆机构、双曲柄机构和双摇杆机构三种基本类型。

在曲柄摇杆机构中,固定构件称为机架,能做整周回转的构件称为曲柄,而只能在某一角度范围内摇摆的构件称为摇杆,做平面运动的构件称为连杆。当曲柄为主动件时,可将它的连续转动转变为摇杆的往复摆动。

在双曲柄机构中,它的连架杆都是曲柄。当原动曲柄连续转动时,从动曲柄也能做连续转动。

在双摇杆机构中,两连架杆都是摇杆。当原动摇杆摆动时,另一摇杆也随之摆动。

除上述三种铰链四杆机构外,在实际机器中还广泛采用其他多种形式的四杆机构,它们可以说是由四杆机构的基本形式演化而成的。演化方式如:改变某些构件的形状、改变构件的相对长度、改变某些运动副的尺寸,或者选择不同的构件作为机架等。下面请大家观察各种演化形式的机构。

现在演示的是偏置曲柄滑块机构。当铰链四杆机构的摇杆长度增至无穷大并演化成滑块后,可以得到曲柄滑块机构。当滑块运动轨道与曲柄中心存在偏距时,则为偏置曲柄滑块机构。

现在演示的是对心曲柄滑块机构。在曲柄滑块机构中,当滑块运动轨道与曲柄中心没有偏距时,则为对心曲柄滑块机构。

再看所谓的正弦机构。这种机构的特点是从动件的位移与原动件转角的正弦成正比。它可以看作是在曲柄滑动机构中,连杆长度增至无穷大后演变所得的形式。它多用在一些仪表和解算装置中。

现在转动的是偏心轮机构。它是将曲柄滑块机构的曲柄改作成偏心轮后所得到的机构。从演化角度看,可以认为是将对心曲柄滑块机构中的一转动副的半径扩大,使之超过曲柄长度后所得。

现在演示的是双重偏心机构。请大家在观察它的结构和绘出运动简图后,对照曲柄摇杆机构运动简图思考,它又是怎样演化而来的呢?

现在演示的是直动滑杆机构。曲柄转动时,滑杆在固定的滑块中做直线往复运动。它可以看作是在曲柄滑块机构的基础上,通过改选滑块为机架而获得的演化形式。

现在演示的是摆动导杆机构。在导杆机构中,当曲柄连续回转时,导杆仅能在某一角度范围内往复摆动,导杆与滑块之间做相对移动,则机构为摆动导杆机构。

再来看摇块机构。当曲柄转动时,连杆与摇块之间有相对滑动,摇块相对机架做往复摆动。

最后请看双滑块机构,它是具有两个移动副的平面四杆机构,应用它可设计椭圆仪和十字滑块联轴器。

### 第三柜 平面连杆机构的应用

首先看颚式碎石机。这是曲柄摇杆机构的一种应用实例。当曲柄绕轴心连续回转时,动颚板也绕其轴心往复摆动,从而将矿石轧碎。

飞剪。这是曲柄摇杆机构的应用。它巧妙地利用连杆上一点的轨迹和摇杆上一点的轨迹的配合来完成剪切工作。剪切钢板时,要求在剪切部分上下两刀的运动在水平方向的分速度相等,并且约等于钢板的送进速度。

惯性筛。这种惯性筛应用了双曲柄机构。当原动曲柄等速转动时,从动曲柄做变速转动,从而固连于滑块上的筛子具有较大变化的加速度;而被筛的材料颗粒则将因惯性作用而被筛分。

摄影机平台升降机构。它是平行四边形机构的应用。这种机构的运动特点是,其两曲柄可以相同的角速度同向转向,而连杆做平移运动。

机车车轮联动机构。它也是平行四边形机构的应用。车轮以相同的角速度同向转向,而连杆做平动。

鹤式起重机。它是双摇杆机构的应用实例。当摇杆摆动时,另一摇杆随之摆动,使得悬挂在吊绳上的重物在近似的水平直线上运动,避免重物平移时因不必要的升降而消耗能量。

牛头刨床的主体机构。它应用了摆动导杆机构,仔细观察刨刀前进和后退的速度变化,会发现这种机构具有“急回运动”的特征。

最后演示的是一种曲柄冲床模型。请观察插床的结构和运动,根据它的机构运动简图思考它是什么机构的应用。

通过上面介绍的八种应用实例,可以归纳出平面连杆机构在生产实际中所解决的两类基本问题:一是实现给定的运动规律,二是实现预期的运动轨迹,这也是设计连杆机构所碰到的两类基本问题。

### 第四柜 空间连杆机构

首先看 RSSR 空间机构。这是一种常用的空间连杆机构。它由两个转动副(R)和两个球面副(S)组成,简称 RSSR 空间机构。此机构为空间曲柄摇杆机构,可用于传递交错轴间的运动。若改变构件的尺寸,可得到双曲柄或双摇杆机构。

4R 万向联轴节。万向联轴节是用作传递相交轴间的传动。它的四个转动副轴线都汇交于定点,所以是一个球面机构。主动轴以匀角速度转动,则从动轴的角速度是变化的。若采用双万向联轴节,可以得到主动轴与从动轴相等的角速度传动,但应注意安装时必须保证主动轴与中间轴的夹角必须等于从动轴与中间轴的夹角,并且中间轴两端的叉面必须位于同一平面内。万向联轴节两

轴的夹角  $\alpha$  可在  $0 \sim 40^\circ$  间选取。

**RRSR 角度传动机构。**此机构是含有一个球面副和四个转动副的空间五杆机构。机构的特点是输入轴与输出轴的空间位置可任意安排。而且当球面副两构件布置对称时可获得两轴转速相同的传动。

**RCCR 联轴节。**此联轴节是含有两个转动副和两个圆柱副的特殊空间机构,一般用于传递夹角为  $90^\circ$  的相交轴之间的转动。在实际应用中,为了改善传力状况而采用多根连杆(本机构采用三根连杆)。

**RCRC 揉面机构。**RCRC 揉面机构也是一个球面机构。连杆做摇晃运动,利用连杆上某点的运动轨迹,再配合容器的不断转动,从而达到揉面的目的。

**SARRUT 机构。**这是一个空间六杆机构,用于产生平行位移。其中一组构件的平行轴线通常垂直于另一组构件的轴线。当主动构件往复运动时,顶板相对固定底板做平行的上下移动。

## 第五柜 凸轮机构

凸轮机构可以实现各种复杂的运动要求,结构简单紧凑,因此广泛应用于各种机械中。凸轮机构的类型也很多,通常按凸轮的形状和从动杆的形状来分类。

**尖端推杆盘形凸轮机构。**这种凸轮是一个具有变化向径的盘形构件,当它绕固定轴转动时,可推动尖端推杆在垂直于凸轮轴的平面内运动。

**滚子推杆盘形凸轮机构。**这种带滚子的推杆与凸轮之间为滚动摩擦,所以较尖端推杆的磨损小,能传递较大的动力,应用较为广泛。

**平底推杆盘形凸轮机构。**这种平底推杆的优点是凸轮对推杆的作用始终垂直于推杆底边,所以受力较平稳,且凸轮与平底接触面间易形成油膜,润滑较好,常用于高速传动中。

除了做往复直线运动的推杆外,我们还可以找到能做往复摆动的推杆。现在大家看到的正是一种摆动推杆盘形凸轮机构。

**槽形凸轮机构。**它利用凸轮上的凹槽,使凸轮与推杆滚子始终保持接触,这种依靠特殊几何结构来封闭的方法称为几何封闭法或形封闭法。

**移动凸轮机构。**这是在盘形凸轮基础上演化的移动凸轮机构,凸轮做往复直线运动,推杆在垂直于凸轮运动轨迹的平面内运动。

**等宽凸轮机构。**它采用了几何封闭法。因与凸轮轮廓线相切的任意两平行线产生的距离始终相等,且等于框形推杆的框形内壁宽度,所以凸轮与推杆可始终保持接触。

**反凸轮机构。**机构中具有曲线轮廓的凸轮作为从动件时,同样可以实现特定的运动规律。

现在看到的端面凸轮、圆柱凸轮、圆锥凸轮均属于空间凸轮机构。当凸轮转动时,可使推杆按一定运动规律运动。在空间凸轮机构的传动过程中,应通过力封闭法或几何封闭法使推杆与凸轮始终保持接触。

本柜最后陈列的是主回凸轮机构。它用两个固结在一起的凸轮控制一个从动件,其中一个凸轮轮廓(主凸轮)驱使从动件朝正方向运动,另一个凸轮轮廓(回凸轮)使从动件朝反方向运动,这样从动件运动规律便可在  $360^\circ$  范围内任意选取,克服了等宽、等径凸轮的缺点,但是它的结构比较复杂。

## 第六柜 齿轮机构的类型

在各种机器中,齿轮机构是应用最广泛的一种传动机构。常用的圆形齿轮机构种类很多,根据



两齿轮啮合传动时其相对运动是平面运动还是空间运动,可分为平面齿轮机构和空间齿轮机构两大类。平面齿轮机构用于两平行轴之间的传动,常见的类型有直齿圆柱齿轮传动、斜齿圆柱齿轮传动和人字齿轮传动。

我们先来看外啮合直齿圆柱齿轮机构,它简称为直齿轮机构,是齿轮机构中应用最广泛的一种类型。直齿轮传动时,两轮的转动方向相反。

内啮合直齿圆柱齿轮机构。它由小齿轮和内齿圈组成,传动时两齿轮的转动方向相同。

齿条机构。它是一种特殊的圆柱齿轮传动。齿条相当于一个半径为无穷大的圆柱齿轮。采用这种传动,可以实现旋转运动与直线往复运动之间的相互转换。

斜齿圆柱齿轮机构,简称为斜齿轮机构。它的轮齿与其轴线倾斜了一个角度,这个角度称为螺旋角。与直齿轮传动相比,斜齿轮传动的主要优点是传动平稳、承载能力较强且寿命较长,突出的缺点是在运转时会产生轴向推力。

如果要完全消除斜齿轮机构的轴向力,可将斜齿轮轮齿做出左右对称的形状,这种齿轮即为人字齿轮机构。人字齿轮制造比较麻烦,主要用于冶金、矿山等大功率传动机构中。

直齿圆锥齿轮机构。它是一种空间齿轮机构,用来传递空间两相交轴或交错轴之间的运动和动力。直齿圆锥齿轮的轮齿为直齿,分布在圆锥体的表面,是应用最广的圆锥齿轮传动。

斜齿圆锥齿轮机构。它的轮齿为斜齿,与直齿圆锥齿轮机构相比,它的主要优点是传动平稳、承载能力较强,但很少应用。

请大家再看螺旋齿轮机构。它用于传递两相交轴之间的运动。就单个齿轮来说,构成螺旋齿轮传动的两个齿轮都是斜齿圆柱齿轮。螺旋齿轮与斜齿轮机构的区别在于:斜齿轮机构用于传递两平行轴之间的运动,而螺旋齿轮机构则用于传递两交错轴之间的运动。所以,斜齿轮机构属于平面齿轮机构,而螺旋齿轮机构则属于空间齿轮机构。

最后我们来看蜗轮蜗杆机构。它也是用于传递两交错轴之间的运动,其两轴的交错角一般为 $90^\circ$ 。蜗杆传动有多种类型,我们现在看到的是应用广泛的阿基米德圆柱蜗杆。蜗杆传动的主要优点是传动比大,具有自锁性,结构紧凑,传动平稳且无声;主要缺点是机械效率低、磨损大。

## 第七节 轮系的类型

所谓轮系,是指由一系列齿轮所组成的齿轮传动系统。轮系的类型很多,其组成也各种各样。通过根据轮系运转时各个齿轮的轴线相对机架的位置是否都是固定的,而将轮系分为定轴轮系和周转轮系两大类。

先看定轴轮系。现在演示的是一种定轴轮系。大家注意观察,这种轮系在运转时,各个齿轮轴线相对机架的位置是固定的,故称为定轴轮系。此外,轮系是由平面齿轮机构组成的,所以属平面定轴轮系。

现在运转的是空间定轴轮系,因为它含有空间齿轮机构。定轴轮系的传动比等于组成该轮系的各对啮合齿轮传动比的连乘积,其大小等于各对齿轮中所有从动轮齿数的连乘积与所有主动轮齿数的连乘积之比。

如果在轮系运转时,各个齿轮中有一个或几个齿轮轴线的位罝并不固定,而是绕着其他齿轮的固定轴线回转,则这种轮系称为周转轮系。周转轮系根据其所具有的自由度的数目可作进一步的划分。若周转轮系的自由度等于1,则称为行星轮系;自由度为2,则称为差动轮系。现在运转的是行星轮系。在此轮系中,我们把绕着固定轴线回转的齿轮称为中心轮,而把轴线绕着其他齿轮的固定轴线旋转的齿轮称为行星轮;支承行星轮且绕固定轴线回转的构件称为系杆(或行星架)。由于



一般都以中心轮和系杆作为运动的输入和输出构件,所以又常称它们为周转轮系的基本构件。基本构件都是围绕着同一固定轴线回转的。

现在再看差动轮系。我们可以发现与行星轮相啮合的两个中心轮都在运动,整个轮系的自由度为2。为了确定这种轮系的运动,一般需要给定两个构件以独立的运动规律。如果将大中心轮加以固定,则自由度为1,轮系则变为行星轮系。

周转轮系常根据基本构件的不同加以分类。刚才大家看到的两个周转轮系中包含一个系杆H,两个中心轮K,特称之为 $2K-H$ 型周转轮系。再看正在运转的一个周转轮系,它包含有三个中心轮,称为 $3K$ 型周转轮系。在实际机构中采用最多的是 $2K-H$ 型周转轮系。

对于更复杂的轮系,可能既包含定轴轮系部分,也包含周转轮系部分,或者是由几部分周转轮系组成,这种复杂轮系称为复合轮系。现在运转的是定轴轮系与行星轮系组成的复合轮系。计算复合轮系传动比的正确方法是:将其所包含的各部分定轴轮系和各部分周转轮系一一加以分开,并分别应用定轴轮系和周转轮系传动比的计算公式求出它们的传动比,然后加以联立求解,从而求出该轮系的传动比。

## 第八节 轮系的功用

在各种机械中,轮系的应用是十分广泛的,其功用大致可以归纳为以下几个方面:

(1) 利用轮系获得较大的传动比。当两轴之间需要较大传动比时,如果仅用一对齿轮传动,必然使两轮的尺寸相差很大,这样不仅使传动机构的外廓尺寸庞大,而且小齿轮也较易损坏。因此,当两轴间需要较大传动比时,就需要采用轮系来满足。

(2) 利用轮系实现分路传动。我们现在所看到的是一个主动齿轮带动三个从动齿轮同时旋转,实现所谓分路传动。

(3) 利用轮系实现变速传动。我们现在看到的变速传动模型,上下两轴分别为主动轴及从动轴,双联齿轮用滑键与主动轴相连,可在轴上滑动。从动轴上固定有两个齿轮。当操纵双联滑动齿轮时可获得两种啮合情况,即可得到两种不同的传动比。这样,在主动轴转速不变的条件下,利用轮系可使从动轴得到两种不同的转速。

(4) 利用轮系实现换向传动。在主动轴转向不变的条件下,利用轮系可以改变从动轴的转向。请大家看车床上走刀丝杆的三星轮换向机构。当主动轮的运动经活动机构架上的两个中间轮传给从动轮时,从动轮与主动轮的转向相反。如果转动三角形构件,使主动轮只经过一个中间轮传给从动轮,则从动轮与主动轮的转向相同。

(5) 利用轮系作运动的分解。现在请大家观察汽车后桥上的差速器模型。汽车两个后轮的转动就是由驱动齿轮的转动,经差动轮系分解后而获得。此轮系具有如下特点:当汽车沿直线行驶时,两个后轮的转速相等;当汽车转弯时,两个后轮的转速不同,如向左转弯,则左边后轮转速慢,而右边后轮转速快,可以保证汽车顺利行驶。

(6) 利用轮系作运动的合成。差动轮系不仅可以将转动分解,而且还可以将两个独立的转动合成一个转动。我们现在观察到的情况是:系杆H的转速是锥齿轮1及3转速的合成。差动轮系可实现运动合成的这种性能,在机床、计算机、补偿调整装置中得到了广泛的应用。

轮系在应用过程中也不断得到发展,摆线针轮减速器和谐波传动减速器就是其中的两例。我们先看看摆线针轮减速器,它是一种行星齿轮传动装置。与渐开线齿轮减速器相比,它具有重合度大、承载能力强、传动效率高、运转平稳、结构紧凑等特点。

谐波齿轮传动也是利用行星轮系传动原理发展起来的一种新型传动。我们观察一下谐波传动

减速器的结构,可以发现它主要由波发生器、刚轮和柔轮三个基本构件组成。与行星齿轮传动一样,在这三个构件中必须有一个是固定的,而其余两个,一个为主动件,另一个便为从动件,一般多采用波发生器为主动件。与一般齿轮减速器相比,谐波传动减速器具有传动比大而范围宽、承载能力较强、零件少、体积小、重量轻、运动精度高、运转平稳等优点。

## 第九柜 间歇运动机构

间歇运动机构广泛用于各种需要非连续传动的场合。下面分别介绍常用的棘轮机构、槽轮机构和不完全齿轮机构。

首先演示的是齿式棘轮机构。该机构由棘轮、棘爪、摇杆和止动棘爪所组成。当摇杆逆时针摆动时,棘爪便插入棘轮齿间,推动棘轮转过某一角度;等摇杆顺时针摆动时,止动棘爪阻止棘轮顺时针转动,同时棘爪在棘轮的齿背滑过,故棘轮静止不动。这样,当摇杆连续往复摆动时,棘轮便得到单向的间歇运动。

摩擦式棘轮机构。在此机构中,摩擦块与棘爪用铰链连接。当摇杆逆时针摆动时,摩擦块促使棘爪与棘轮的齿面接触,使棘轮回转;当摇杆顺时针摆动时,摩擦块撑起棘爪,使棘爪离开棘轮并且越过其齿顶而达到无声间歇传动的要求。

超越离合器。它也可以看作一种棘轮机构。此机构由爪轮、套筒、滚柱、弹簧顶杆等组成。以爪轮为主动件,当其顺时针回转时,滚柱借助摩擦力而滚向空隙的收缩部分,并将套筒压紧;使其随爪轮一同回转;而当爪轮逆时针回转时,滚柱即被滚到空隙的宽大部分而将套筒松开,这时套筒静止不动。因此,当主动轮以任意角速度反复转动时,可使从动的套筒获得任意大小转角的单向单歇运动。所谓超越离合器,是说当主动爪轮顺时针转动时,如果套筒顺时针转动的速度超过了主动爪轮的转速,两者便自动分离,套筒以较高的速度自由转动。当主动爪轮逆时针转动时,情况也是一样。例如自行车中的所谓飞轮便是一种超越离合器。

现在演示的是外槽轮机构。它由主动拨盘、从动槽轮及机架组成。当拨盘以等角速度做连续回转时,槽轮则时而转动、时而静止。

再看内槽轮机构的运动情况,我们可以发现槽轮和拨盘回转方向相同,这是与外槽轮机构不同的地方。内槽轮机构不如外槽轮机构应用广泛。

无论外槽轮还是内槽轮机构,均用于平行轴之间的间歇传动。当需要两相交轴之间进行间歇传动时,可采用球面槽形机构。现在请观察两轴相交角为 $90^\circ$ 的球面槽形机构的传动情况。槽形机构的特点是构造简单,外形尺寸小,机构效率较高,并且能较平稳地、间歇地进行转位。

不完全齿轮机构也可用于间歇传动。先看渐开线不完全齿轮机构。它的主动轮为一不完全渐开线齿轮,而从动轮则是由正常齿和厚齿组成的特殊齿轮。

现在运转的是摆线针轮不完全齿轮机构。在此机构中,不完全齿轮为摆线针轮。摆线针轮不完全齿轮多用在一些具有特殊运动要求的专用机械中。

本柜最后演示的是一种凸轮式间歇运动机构。这是由特殊结构的凸轮构成的间歇运动机构,多用在一些具有特殊运动要求的专业机械中。

## 第十柜 组合机构

由于生产上对机构运动形式、运动规律和机构性能等方面要求的多样性和复杂性,以及单一机构性能的局限性,以致仅采用某一种基本机构往往不能满足设计要求,因而常需把几种基本机构联合起来组成一种组合机构。组合机构可以是同类基本机构的组合,也可以是不同类型基本机构的