

机械原理

安子军 主编



机械工业出版社

D253/02

本书是根据国家教育委员会批准的机械原理课程教学基本要求编写的。全书共分十三章及附录：绪论、平面机构的结构分析、平面机构的运动分析和力分析、机械中的摩擦和机械效率、平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系、间歇机构与其他机构、新型传动机构、机械动力学、机械的平衡、机械传动系统方案设计、《机械原理课程设计指导》。

本书可作为高等工科院校机械类及近机械类专业的教材；若选择使用，还可作为非机械类有关专业的教材；也可供有关专业师生及工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械原理/安子军主编. —北京：机械工业出版社，1998.8
ISBN 7-111-06331-7

I. 机… II. 安… III. 机构学 N. TH111

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 09942 号

出版人：马九荣（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）
责任编辑：吴曾评 版式设计：杨丽华 责任校对：……
封面设计：路 畅 责任印制：侯新民

北京大兴兴达印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1998 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

850mm×1168mm¹/₃₂·10¹/₄ 印张·268 千字

0 001—3 500 册

定价 16.00 元

前 言

根据国家教育委员会批准的机械原理课程教学基本要求, 强调机械原理课程在培养高级技术人才中的作用; 根据高校进行学分制并缩减学时的重大教学改革, 强化技术基础理论课的教学, 我们编写成这本教材。

为培养高技术素质、能力强、适应社会主义市场经济多方面需要的大学生, 结合我们多年的教学经验, 在保证课程基本要求的前提下, 本教材强调对机械原理的基本概念、基本理论和机构分析与设计基本方法的理解和掌握, 精选编排了教学内容, 以图解法建立形象直观概念, 并侧重引入解析法, 删去有关与先修课程重复的内容, 对机构运动分析和连杆机构设计图解法、渐开线齿轮的过细部分内容进行了简化, 对其他齿轮机构及各种常用机构以其传动原理、特点及应用为主要教学内容, 力求达到精化课程教学内容的目的。此外, 为拓宽知识面、了解新型机构的发展、增强发明创新意识, 本教材增加了新型传动机构的教学内容。书后所附《机械原理课程设计指导》较全面系统地介绍了本课程设计的内容、步骤和方法, 为学生进行课程设计提供了方便。

本书可作为工科院校机械类、近机械类专业的教材, 也可供非机械类专业选择使用。书中有的章节可不作教学要求。

参加本书编写的有安子军(第一、七、十、十二、十三章), 张善璞(第二、三章), 李纯德(第四、八章), 姜守厚(第五、九章), 张一同(第六、十章), 张善璞、付宇明(附录), 并由安子军主编。

本书承全国机械原理教学研究会委员曲继方教授主审, 并提出宝贵意见。在此表示衷心的感谢。

由于我们的水平所限，错误之处在所难免，欢迎读者批评指正。

编 者

1997年3月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 机械原理课程研究的对象和内容	1
第二节 机械原理课程的地位、作用和学习方法	4
思考题与练习题	5
第二章 平面机构的结构分析	6
第一节 机构的组成要素	6
第二节 机构运动简图	9
第三节 机构的自由度计算及确定运动条件	12
第四节 平面机构的组成原理分析	17
思考题与练习题	21
第三章 平面机构的运动分析和力分析	24
第一节 用瞬心法进行机构速度分析	24
第二节 用相对运动图解法进行机构运动分析	28
第三节 用解析法进行机构运动分析	34
第四节 平面机构的力分析	38
思考题与练习题	46
第四章 机械中的摩擦和机械效率	52
第一节 移动副中的摩擦	52
第二节 螺旋副中的摩擦	56
第三节 转动副中的摩擦	58
第四节 考虑摩擦时机机构的受力分析	60
第五节 机械的效率及自锁	62
思考题与练习题	73
第五章 平面连杆机构	78

第一节 平面四杆机构的类型及应用	78
第二节 平面四杆机构的基本知识	84
第三节 平面四杆机构设计的图解法	90
第四节 平面四杆机构设计的解析法	96
思考题与练习题	101
第六章 凸轮机构	105
第一节 凸轮机构的应用和分类	105
第二节 从动件的运动规律	108
第三节 凸轮轮廓设计的图解法	116
第四节 凸轮轮廓设计的解析法	122
第五节 凸轮机构基本参数的确定	125
思考题与练习题	129
第七章 齿轮机构	132
第一节 齿轮机构的应用和分类	132
第二节 齿轮的共扼齿廓曲线	134
第三节 渐开线及其齿廓啮合特性	136
第四节 渐开线标准齿轮的参数和尺寸	143
第五节 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	148
第六节 渐开线齿廓的切削加工	152
第七节 渐开线变位齿轮	157
第八节 变位齿轮传动及其设计	160
第九节 斜齿圆柱齿轮机构	165
第十节 交错轴斜齿轮机构	172
第十一节 蜗轮蜗杆机构	175
第十二节 圆锥齿轮机构	178
第十三节 其他齿廓的齿轮机构	181
思考题与练习题	185
第八章 轮系	189
第一节 轮系及其分类	189
第二节 定轴轮系的传动比计算	191

第三节	周转轮系的传动比计算	193
第四节	混合轮系的传动比计算	198
第五节	轮系的功用及行星轮系的齿数条件	200
思考题与练习题		205
第九章	间歇机构与其他机构	211
第一节	棘轮机构	211
第二节	槽轮机构	214
第三节	其他机构	215
第四节	组合机构	220
思考题与练习题		222
第十章	新型传动机构	223
第一节	RV 传动机构	223
第二节	钢球行星传动机构	226
第三节	章动齿轮传动机构	231
第四节	活齿传动机构	233
第五节	等速传动机构	239
第六节	变自由度传动机构	244
思考题与练习题		247
第十一章	机械动力学	248
第一节	机械运转过程及其作用力	248
第二节	机械系统的等效力学模型	251
第三节	机械系统运动方程式	254
第四节	机械系统速度波动及其调节方法	255
思考题与练习题		260
第十二章	机械的平衡	263
第一节	机械平衡的目的和内容	263
第二节	刚性转子的平衡	264
第三节	刚性转子的平衡试验	267
第四节	平面机构的平衡简介	271
思考题与练习题		272

第十三章 机械传动系统方案设计	275
第一节 机构类型及运动特点分析	275
第二节 机构的组合与变异演化方法	277
第三节 机构传动系统的方案设计	282
思考题与练习题	287
附录：《机械原理课程设计指导》	288
参考文献	316

第一章 绪 论

机械原理是研究机械内部普遍存在的共性规律的一门课程和学科。在进入本课程学习时,首先需要熟悉机械原理的基本名词、概念和术语,了解机械原理课程所研究的内容和所用的一般方法,从而初步明确本课程的重要地位及在国民经济中的作用。

第一节 机械原理课程研究的对象和内容

一、机械原理课程研究的对象

机械原理课程研究的对象是机械,机械是机器与机构的总称。

机器是具有确定运动的构件组合体,它用来转换能量、改变或传递物料和处理信息,以代替和减轻人的体力劳动和脑力劳动。机器的种类很多,根据用途不同,机器可分为:动力机器(如电动机、内燃机、发电机、蒸汽机等)、加工机器(如金属切削机床、纺织机、包装机、缝纫机等)、运输机器(如汽车、拖拉机、起重机、输送机等)和信息机器(如计算机、机械积分仪、记帐机等)。虽然机器的种类繁多,并具有不同形式的构造和用途,但它们都具有三个共同的特征;

- (1) 机器都是由一系列构件(也称运动单元体)组成。
- (2) 组成机器的各构件之间都具有确定的相对运动。
- (3) 机器均能转换机械能或完成有用的机械功。

如图 1-1a 所示的内燃机,是由壳体 1、活塞 2、连杆 3、曲轴 4(与齿轮 4' 一体)、齿轮 5(与凸轮 5' 一体)以及气门阀杆 6 等一系列构件所组成,其各构件之间的运动是确定的,机构简图如图 1-1b 所示,而内燃机能将热能转换成机械能。

机构是实现传递机械运动和动力的构件组合体。如常见的齿轮机构、连杆机构、凸轮机构、螺旋机构、带和链传动机构等。虽

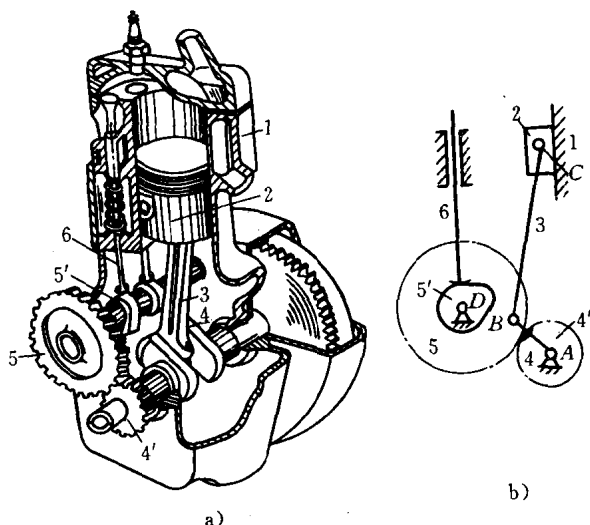


图 1-1

然机构有多种类型，用途各有不同，但它们都有与机器前两个相同的特征，即：

- (1) 机构是由若干构件所组成。
- (2) 组成机构的各构件之间都有确定的相对运动。

如图 1-1a 中的由壳体 1、活塞 2、连杆 3、曲轴 4 四个构件组成连杆机构；壳体 1、齿轮 4'、齿轮 5 三个构件组成齿轮机构；壳体 1、凸轮 5'、气门杆 6 三个构件组成凸轮机构。它们的运动均是确定的。

从上述分析可知，机构是机器的重要组成部分，用以实现机器的动作要求。一部机器可能只有一个机构，也可能包含若干个机构。机构与机器的根本区别在于，机构的主要职能是传递运动和动力，而机器的主要职能除传递运动和动力外，还能转换机械能或完成有用的机械功。

虽然机器和机构的种类很多，但组成各种机器的基本机构的种类却不很多，最常用的机构有连杆机构、齿轮机构、凸轮机构、间歇运动机构等。这些机构也是机械原理课程的主要研究对象。

二、机械原理课程研究的内容

(1) 机构的结构分析 机构的结构分析将研究机构是怎样组成的, 机构组成情况对其运动的影响, 以及机构具有确定运动应满足的条件。还将研究如何绘制机构运动简图, 以便对实际机构进行运动和动力分析。此外, 为便于更系统地研究现有机构及创造发明新机构, 还需研究机构的组成原理和方法。

(2) 机构的运动分析 机构的运动分析将研究并介绍机构在给定原动件运动的条件下, 求解其他构件的位移、轨迹、速度、加速度的基本原理和方法, 进而考察输出构件的运动变化规律。对机构进行运动分析, 将为机构受力和动力学分析提供基础, 也是设计新机械、合理使用现有机械的必须步骤和重要依据。

(3) 机械的动力学分析 机械的动力学分析一方面将研究机构在给定运动及已知外力条件下, 求解各运动副的反力, 以便了解机构上的动压力及其变化情况; 研究机械在运转过程中各运动副的摩擦、构件受力及其所作的功、机械的效率, 以决定构件的尺寸和形状, 了解机械的动力性能等。另一方面将研究由于各构件质量、转动惯量以及在惯性力(矩)和其他外力作用下, 机构各构件的真实运动规律。

此外, 还将研究因机械运动速度波动带来的机械运转稳定性问题及其调节方法。由于机械各构件产生的惯性力将影响到机械的正常工作效率和使用寿命, 所以还要研究机械的平衡问题。

(4) 常用机构的分析与设计 常用机构的分析与设计将对用以组成各种机器的典型机构如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构及常用的间歇机构等运动和工作特性、有关理论进行较系统的分析, 并研究探索典型机构满足一定运动和动力要求时机构设计的方法。为充分了解、有效利用这些机构提供了理论基础。

(5) 机械的传动系统设计 机械的传动系统设计将讨论机械传动系统设计时如何选用机构、机构间如何组合和协调、机构的变异与演化方法以及拟定传动系统方案时必须考虑的问题。

应当指出, 机械原理课程中有关机构设计的研究, 只限于给

定运动和动力的设计要求,不涉及各个零件的结构形状、工艺要求、材料选择、热处理方式、强度及刚度计算等问题。所以本课程中的机构设计又常称为**机构综合**。机械原理课程研究的内容可概括为机构分析与综合两部分。

第二节 机械原理课程的地位、作用和学习方法

一、机械原理课程的地位和作用

机械原理是机械类及近机械类专业进入专业课前必修的一门重要的技术基础课。它主要是在高等数学、普通物理、理论力学等理论基础课后,将这些理论和实际机械相结合来探讨机械内部基本规律的基础性理论课程。课程所学内容是研究现有机件运动、工作性能和设计、发明新机械的知识基础。它对机械类及近机械类各专业的专业课学习、毕业设计乃至参加实际工作都有直接的和长远的意义,起着非常重要的作用。

机械原理在发展国民经济、实现四个现代化方面 also 具有重要意义。在一切生产部门、不同专业领域,实现生产的机械化、自动化和高效益,需要创造出大量结构新颖、性能优良的新型机械设备充实和装备各行各业;需要更新改造现有机件设备,以期合理有效地使用,发挥其潜力;提高操作者的业务水平、技术人员的创造能力、管理者的素质和指挥能力,有关机械原理的知识是必不可少的。

机械原理对提高我国机械学理论及技术在国际上的学术地位也起着非常重要的作用。我国学者在著名的国际学术会议如“机构与机器理论”、“机械传动与机构学”等上发表的论文越来越多,学术水平不断提高,而机械原理方面的知识则是基础知识。

二、机械原理课程的学习方法

由于机械原理课既不同于理论基础课,又有别于专业课,因此在学习本课程的过程中,一方面要着重搞清基本概念,理解基本原理,掌握机构分析和设计的基本方法;另一方面也要注意这些原理和方法在机械工程上实际应用的范围和条件。

(1) 强化搞清基本概念 课程中的基本概念不仅仅是简单名

词定义，它对课程的学习、认识、理解有着非常重要的作用，有时直接用基本概念来分析、解决问题，以及进行机构的分析和设计。因此不能死记硬背，必须重点搞清其含义和指导意义。

(2) 深化理解基本原理 对课程中的机构结构理论、机构分析的运动学和动力学理论、齿轮啮合、加工及其传动理论、摩擦学理论、机械速度波动及调节原理、机械平衡理论等构成了本课程的理论框架，因此要充分理解搞懂、正确应用这些理论。并要善于用理论及其公式证明问题和解决问题，使之更有说服力。

(3) 牢牢掌握基本研究方法 课程中机构结构组成方法、高副低代法；机构分析中的瞬心法、相对运动法、扩大构件法、复数向量法、等效力学模型分析法、速度波动调节方法及机械平衡方法；机构设计的反转法、直角坐标法、齿轮传动设计方法以及机构组合、变异、演化方法等是机械原理课程应用的基本研究方法，应牢牢掌握并善于用其解决工程实际问题。

(4) 逐步树立工程观点 机械原理是一门理论性比较强的技术基础课，其研究对象和内容就是工程实际上常用的机械及其相关知识，因此学习过程中应把基本原理和方法与研究实际机构和机器密切联系起来。善于用所学知识观察和分析日常生产、生活中所遇到的各种机构和机器。在附加一定条件下，可将一些比较复杂的问题转化为比较简单问题，并注意各种理论和方法的应用条件和范围，以求能正确而灵活地应用。同时要注意，解决工程实际问题可以有几种方法，其所得结果也往往不唯一，有时也不要求十分精确。因此，树立工程观点，培养综合分析、判断、决策能力，和严肃认真的科学态度是十分重要的。

思考题与练习题

- 1-1 什么是机构、机器、机械？它们之间有何联系？试举例说明。
- 1-2 机构和机器各有什么特征？
- 1-3 机械原理课程研究的内容是什么？
- 1-4 如何学好机械原理课？

第二章 平面机构的结构分析

机构有多种类型，不同的机构有着不同的结构。而机构的结构取决于机构的运动形式、组成方法和机构自由度等一些重要的因素。机构的组成是把若干构件按一定规律联接起来使之成为运动的系统。所以在设计机构时，需要从大量的各种各样的机构中选择最合适的结构及其零件的形式。为此，应该了解现代机构的基本形式、结构特点和组成原理。因为实际机械中大多数为平面机构，所以本章将主要研究平面机构的结构分析。

第一节 机构的组成要素

一、构件与零件

机构是由具有确定运动的单元体组成的，这些运动单元体称为**构件**。在机械原理中，一般认为构件是刚体或柔韧体（如皮带、钢丝绳和链条等），而不是液体和气体。组成构件的制造单元体称为**零件**。构件可以由一个或多个零件构成，如图 1-1 所示内燃机的曲轴 1 为一个零件；连杆 2 为多个零件组成。因此，构件是相互固接在一起的零件组合体。如果机构中各构件的运动平面是相互平行的，该机构称为**平面机构**；否则，称为**空间机构**。

二、运动副及其分类

1. 运动副

在机构中，每一构件都以一定方式与其他构件相互联接。这种使两构件直接接触的可动联接称为**运动副**。如轴与轴承、滑块与导轨、轮齿与轮齿、凸轮与推杆等的联接都构成了运动副，如图 2-1 所示。两构件直接接触构成运动副的部分称为**运动副元素**。图 2-1 中运动副元素分别为圆柱和圆孔面、棱柱和棱孔面及齿廓曲面。为保证两构件恒处于接触状态，运动副应是结构形式封闭

或力封闭。至于组成运动副后，两构件能产生哪些相对运动，与该运动副性质或与该运动副所引入的约束有关。

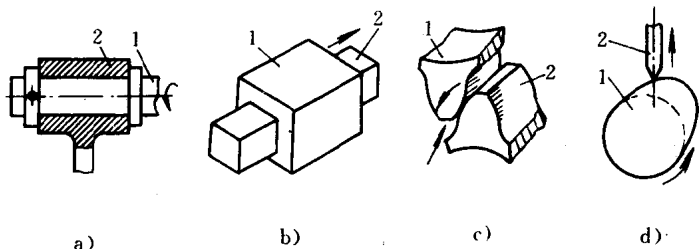


图 2-1

2. 运动副分类

由理论力学可知，作平面运动的构件可有三个独立运动，即在直角坐标系中沿 x 轴和 y 轴的移动，及绕 z 轴的转动。构件的独立运动数目称为构件的自由度。显然作平面运动的构件有三个自由度。而作空间运动的构件有六个自由度，即三个移动和三个转动。

当一构件与另一构件组成运动副后，由于构件间的直接接触，使构件的某些独立运动受到限制，构件自由度数便随之减少。这种对构件独立运动的限制称为**约束**。多一个约束，构件便失去一个自由度。显然，作平面或空间运动的构件其约束数不能超过 2 或 5，否则构件将没有相对运动。

运动副分类方法如下：

(1) 按运动副所引入的约束数目分：引入一个约束的运动副称为 **I 级副**，引入两个约束的运动副称为 **II 级副**，依次有 **III 级副**、**IV 级副**和 **V 级副**。

(2) 按两构件间的接触情况分：凡两构件以点或线接触构成的运动副称为**高副**，如图 2-1c、d 所示的运动副。凡两构件以面接触构成的运动副称为**低副**，如图 2-1a、b 所示的运动副。

(3) 按两构件间的相对运动分：两构件之间作相对转动的运动副称为**转动副**（或称**铰链**），如图 2-1a 所示；作相对移动的运动副称为**移动副**，如图 2-1b 所示。此外，还有作相对螺旋运动的**螺旋副**和作相对球面运动的**球面副**。

构成运动副的两构件的运动平面为相互平行的，该运动副称

为平面运动副，而运动平面为空间的，该运动副称为空间运动副。

常用运动副的符号如表 2-1 所示，图中画斜线的构件代表固定构件。

表 2-1 常用运动副的符号

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	螺旋副		
	球面副及球销副		

注：图中 1、2 分别表示构件。

三、运动链与机构

若干个构件通过运动副所构成的系统称为**运动链**。如果运动链中各构件构成了首末封闭的系统，称其为**闭式运动链**，如图 2-2a、b 所示；若未构成首末封闭的系统，称其为**开式运动链**，如图 2-2c、d 所示。根据运动链中各构件的运动平面是否平行，运动链又分为**平面运动链**和**空间运动链**。分别如图 2-2 和图 2-3 所示。

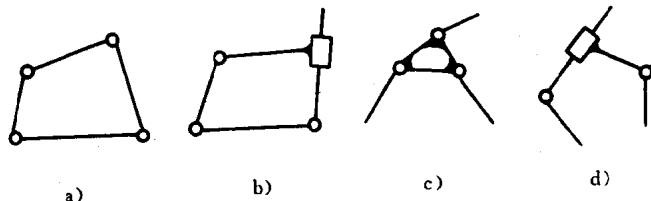


图 2-2

将运动链中的一个构件固定，并且它的一个或几个构件作给定的独立运动时，其余构件便随之作确定的运动，这样，运动链便成为**机构**。这里，固定的构件称为**机架**，作独立运动的构件称为**原动件**，而其余的活动构件则称为**从动件**。从动件的运动规律取决于原动件的运动规律和机构的结构。因此，

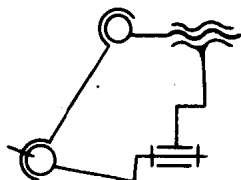


图 2-3

机构是由机架、原动件和从动件所组成的构件系统。根据机构中各构件的运动平面是否平行，机构分**平面机构**和**空间机构**。本章主要介绍平面机构。

第二节 机构运动简图

在研究分析现有机械和设计新机械时，为便于分析，可以先不考虑那些与运动无关的因素，如构件的外形、断面尺寸、组成构件的零件数目及其联接方式，以及运动副的具体结构等，仅用简单的线条和符号来代表构件和运动副，并按一定比例确定各运动副的相对位置。这种表示机构中各构件间相对运动关系的简单图形称为**机构运动简图**。