

机械原理和机械设计系列教材



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

机械原理

第八版

西北工业大学机械原理及机械零件教研室 编

孙 桓 陈作模 葛文杰 主编

 高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

机械原理

Jixie Yuanli

第八版

西北工业大学机械原理及机械零件教研室 编

孙 桓 陈作模 葛文杰 主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,是在孙桓、陈作模、葛文杰主编的普通高等教育“十一五”国家级规划教材《机械原理》(第七版)的基础上,根据高等工科院校机械原理课程最新教学基本要求,并结合多年来的教学实践经验及我国机械工业发展的需要修订而成的。本书保持了原书的一贯特色:系统严密、叙述清晰、概念正确、措词严谨、图表规范、文笔流畅、可读性好;便于学生学习和其他工程技术人员自学,具有良好的教学适用性。同时,还将某些已较为成熟的新技术、新成果、新概念、新理论充实到教材内容中,使教材在内容上保持了先进性、工程实用性和启发性。为了培养学生的创新思维和能力,本书特增加了许多应用很成功、具有一定创新性的工程实例,以期对读者的创造性思维有所启发,并使得教材内容更加丰富。

全书共 14 章,内容包括绪论、机构的结构分析、平面机构的运动分析、平面机构的力分析、机械的效率和自锁、机械的平衡、机械的运转及其速度波动的调节、连杆机构及其设计、凸轮机构及其设计、齿轮机构及其设计、齿轮系及其设计、其他常用机构、机器人机构及其设计、机械系统的方案设计。章后附有思考题及练习题和阅读参考资料。

本书可作为高等院校机械类专业的教材,也可供其他相关专业的师生及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理/孙桓,陈作模,葛文杰主编;西北工业大学机械原理与机械零件教研室编.—8版.—北京:高等教育出版社,2013.5

ISBN 978-7-04-037068-3

I. ①机… II. ①孙…②陈…③葛…④西… III. ①机构学-高等学校-教材 IV. ①TH111

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 053936 号

策划编辑 卢广 责任编辑 卢广 封面设计 于文燕 版式设计 于婕
插图绘制 尹莉 责任校对 孟玲 责任印制 张福涛

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京市白帆印务有限公司		http://www.landaco.com.cn
开 本	787mm × 1092mm 1/16	版 次	1959 年 6 月第 1 版
印 张	21		2013 年 4 月第 8 版
字 数	510 千字	印 次	2013 年 5 月第 1 次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	37.70 元(含光盘)
咨询电话	400-810-0598		

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物料号 37068-00

第八版序

本书是在前七版的基础上,根据作者多年来教学实践的经验 and 当前教学改革以及我国机械工业发展的需要修订而成的。

为了方便教学,此次修订基本上维持了本书第七版总的体系,只是在各章的具体内容方面进行了适当的增删与更新,引入了一些新概念和新知识,使本书更具时代特色。为了加强对学生创新意识的培养,本次修订特增加了许多在工程实践中应用较成功的、具有一定创新性的实例,以期能激发同学们的创造性思维,增强其对本课的兴趣,并能灵活应用所学知识去解决工程实际问题。

本书内容大致按 70 学时编写,但据了解,一般院校的机械原理课程实际学时数均达不到此数,故在使用本书时应根据各院校自身的情况和不同的专业要求,对教材内容进行取舍,书中加 * 号的小字部分即为选讲选学内容。而第 14 章机械系统的方案设计,最好结合机械原理的课程设计一同进行,以期收到较好的教学效果。

此处,还要顺便敬告使用本书的教师与同学,为了与本教材配套使用,我们同时还编辑出版有《机械原理电子教案》(光盘)、《机械原理学习指南》(第五版)、《机械原理学习指导》(光盘)、《机械原理作业集》(第三版)及《机械原理课程设计》等辅助教材。这些辅助教材与本教材的配套使用,实质上形成了一套传统的教学方式与现代化的教学手段相结合的立体化教材。而这套立体化教材的应用,不论对教师的教学,还是同学们的学习,都将会提供方便,从而提高教学和学习效率,乃至总体的教学质量。

本书由孙桓、陈作模、葛文杰主编。参加本书修订工作的有孙桓(全书统编)、陈作模(第 1、5、11 章)、葛文杰(第 2、3、4、8、13 章)、苏华(第 6、7 章)、张永红(第 9 章)、王三民(第 10 章)、董海军(第 12 章)、李树军(第 14 章)。

本书承张春林教授精心审阅,提出了不少宝贵的意见,特致以衷心感谢。

本书在编写过程中参考了许多文献期刊,引用了一些著者的插图和资料,在参考文献中未能一一列出,在此一并表示诚挚的谢意。

本书难免仍有漏误及不当之处,敬请各位机械原理教师及广大读者,不吝指正。

西北工业大学
机械原理及机械零件教研室
2013 年 3 月

目 录

第 1 章 绪论	1	思考题及练习题	69
§ 1-1 本书研究的对象及内容	1	阅读参考资料	73
§ 1-2 学习机械原理课程的目的	2	第 5 章 机械的效率和自锁	75
§ 1-3 如何进行机械原理课程的学习	3	§ 5-1 机械的效率	75
§ 1-4 机械原理学科发展现状简介	3	§ 5-2 机械的自锁	78
第 2 章 机构的结构分析	5	思考题及练习题	82
§ 2-1 机构结构分析的内容及目的	5	阅读参考资料	84
§ 2-2 机构的组成及分类	5	第 6 章 机械的平衡	85
§ 2-3 机构运动简图	11	§ 6-1 机械平衡的目的及内容	85
§ 2-4 机构具有确定运动的条件及最小 阻力定律	14	§ 6-2 刚性转子的平衡计算	86
§ 2-5 机构自由度的计算	16	§ 6-3 刚性转子的平衡实验	88
§ 2-6 计算平面机构自由度时应注意的 事项	18	§ 6-4 转子的许用不平衡量和许用不平 衡度	90
§ 2-7 平面机构的组成原理、结构分类及 结构分析	21	§ 6-5 平面机构的平衡	92
* § 2-8 机构结构的型综合及其设计	24	思考题及练习题	95
思考题及练习题	28	阅读参考资料	98
阅读参考资料	33	第 7 章 机械的运转及其速度波动的 调节	99
第 3 章 平面机构的运动分析	35	§ 7-1 概述	99
§ 3-1 机构运动分析的任务、目的和 方法	35	§ 7-2 机械的运动方程式	101
§ 3-2 用图解法作机构的运动分析	35	§ 7-3 机械运动方程式的求解	105
§ 3-3 用解析法作机构的运动分析	43	§ 7-4 稳定运转状态下机械的周期性 速度波动及其调节	109
思考题及练习题	49	§ 7-5 机械的非周期性速度波动及其 调节	114
阅读参考资料	54	* § 7-6 考虑构件弹性时的机械运转 简介	115
第 4 章 平面机构的力分析	55	思考题及练习题	118
§ 4-1 机构力分析的任务、目的和 方法	55	阅读参考资料	121
§ 4-2 构件惯性力的确定	56	第 8 章 连杆机构及其设计	123
§ 4-3 运动副中摩擦力的确定	58	§ 8-1 连杆机构及其传动特点	123
§ 4-4 考虑摩擦时机构的受力分析	62	§ 8-2 平面四杆机构的类型及应用	124
§ 4-5 不考虑摩擦时机构的动态静力 分析	64	§ 8-3 平面四杆机构的基本知识	131

§ 8-4 平面四杆机构的设计	139	思考题及练习题	256
* § 8-5 平面多杆机构	152	阅读参考资料	260
§ 8-6 空间连杆机构简介	157	第 12 章 其他常用机构	261
思考题及练习题	160	§ 12-1 棘轮机构	261
阅读参考资料	166	§ 12-2 槽轮机构	264
第 9 章 凸轮机构及其设计	167	* § 12-3 擒纵机构	268
§ 9-1 凸轮机构的应用及分类	167	§ 12-4 凸轮式间歇运动机构	269
§ 9-2 推杆的运动规律	170	§ 12-5 不完全齿轮机构	270
§ 9-3 凸轮轮廓曲线的设计	177	* § 12-6 星轮机构	272
§ 9-4 凸轮机构基本尺寸的确定	181	* § 12-7 非圆齿轮机构	273
* § 9-5 凸轮机构的分析与反求设计	186	§ 12-8 螺旋机构	274
* § 9-6 高速凸轮机构简介	188	* § 12-9 带有挠性元件的传动机构	276
思考题及练习题	190	§ 12-10 组合机构	282
阅读参考资料	193	§ 12-11 含有某些特殊元器件的广义 机构	287
第 10 章 齿轮机构及其设计	195	思考题及练习题	288
§ 10-1 齿轮机构的特点及类型	195	阅读参考资料	290
§ 10-2 齿轮的齿廓曲线	197	* 第 13 章 机器人机构及其设计	291
§ 10-3 渐开线齿廓及其啮合特点	199	§ 13-1 概述	291
§ 10-4 渐开线标准齿轮的基本参数和 几何尺寸	201	§ 13-2 机器人的分类及主要技术 指标	291
§ 10-5 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合 传动	204	§ 13-3 机器人机构的运动分析	294
§ 10-6 渐开线齿廓的切制原理与根切 现象	208	§ 13-4 机器人机构的静力和动力 分析	300
§ 10-7 渐开线变位齿轮简介	211	§ 13-5 机器人机构的设计	301
§ 10-8 斜齿圆柱齿轮传动	216	思考题及练习题	304
§ 10-9 直齿锥齿轮传动	221	阅读参考资料	306
§ 10-10 蜗轮蜗杆传动	224	第 14 章 机械系统的方案设计	307
* § 10-11 其他齿轮传动简介	226	§ 14-1 概述	307
* § 10-12 齿轮机构动力学简介	229	§ 14-2 机械工作原理的拟定	308
思考题及练习题	231	§ 14-3 执行构件的运动设计和原动机 的选择	310
阅读参考资料	235	§ 14-4 机构的选型和变异	313
第 11 章 齿轮系及其设计	237	§ 14-5 机构的组合	317
§ 11-1 齿轮系及其分类	237	§ 14-6 机械系统方案的拟定	319
§ 11-2 定轴轮系的传动比	238	* § 14-7 机械系统方案拟定举例	322
§ 11-3 周转轮系的传动比	239	* § 14-8 现代机械系统发展情况简介	327
§ 11-4 复合轮系的传动比	242	思考题及练习题	327
§ 11-5 轮系的功用	243	阅读参考资料	327
§ 11-6 行星轮系的效率	246	参考文献	328
§ 11-7 行星轮系的类型选择及设计的 基本知识	248		
* § 11-8 其他新型行星齿轮传动简介	253		

第 1 章 绪 论

§ 1-1 本书研究的对象及内容

本书名为“机械原理”(theory of machines and mechanisms),顾名思义,可知其研究的对象是机械,而其研究的内容则是有关机械的基本理论问题。

机械(machinery)是机器(machine)和机构(mechanism)的总称。我们对机构并不陌生,在理论力学等课程中已对一些机构(如连杆机构、齿轮机构等)的运动学及动力学问题进行过研究。在工程实际中,常见的机构还有带传动机构、链传动机构、凸轮机构、螺旋机构等。各种机构都是用来传递与变换运动和力的可动的装置。至于机器,则都是根据某种使用要求而设计的用来变换或传递能量、物料和信息的执行机械运动的装置,如电动机或发电机用来变换能量、加工机械用来变换物料的状态、起重运输机械用来传递物料、计算机用来变换信息等。

在日常生活和生产中,我们都接触过许多机器。各种不同的机器具有不同的形式、构造和用

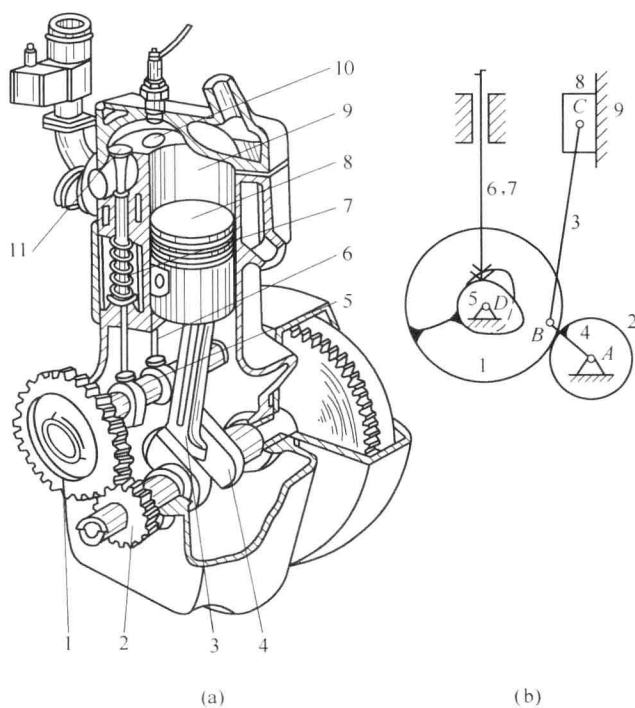


图 1-1 单缸内燃机

途,但通过分析可以看到,这些不同的机器,就其组成来说,却都是由各种机构组合而成的。例如如图 1-1 所示的内燃机就包含着由气缸 9、活塞 8、连杆 3 和曲轴 4 所组成的连杆机构,由齿轮 1 和 2 所组成的齿轮机构以及由凸轮轴 5 和阀门推杆 6、7 所组成的凸轮机构等。又如图 1-2a 所示为一工件自动装卸装置,其中就包含着带传动机构、蜗杆传动机构、凸轮机构和连杆机构等。此装置的工作是:由电动机通过各机构的传动而使滑杆向左移动时,滑杆上的动爪和定爪将工件夹住。当滑杆带着工件向右移动(图 1-2b)到一定位置时,夹持器的动爪受挡块的压迫将工件松开,于是工件落于工件载送器上,被送到下道工序。

所以可以说,机器是一种可用来变换或传递能量、物料与信息的机构的组合。

本书研究的内容主要包括以下几个方面:

(1) 机构结构分析的基本知识

首先研究机构是怎样组成的以及机构具有确定运动的条件;其次研究机构的组成原理及机构的结构分类;最后研究如何用简单的图形把机构的结构状况表示出来,即如何绘制机构运动简图的问题。

(2) 机构的运动分析

对机构进行运动分析,是了解现有机械运动性能的必要手段,也是设计新机械的重要步骤。本书将介绍对机构进行运动分析的基本原理和方法。

(3) 机器动力学

机器动力学研究的内容主要包括两类基本问题:其一是分析机器在运转过程中其各构件的受力情况以及这些力的做功情况;其二是研究机器在已知外力作用下的运动、机器速度波动的调节和不平衡惯性力的平衡问题。

(4) 常用机构的分析与设计

对常用机构的运动及工作特性进行分析,并探索其设计方法。另外,对机器人机构也作了简要的介绍。

(5) 机械系统的方案设计

最后,本书将讨论在进行具体机械设计时机构的选型、组合、变异及机械系统的方案设计等问题,以便读者对这方面的问题有一个概略的了解,并初步具有拟定机械系统方案的能力。

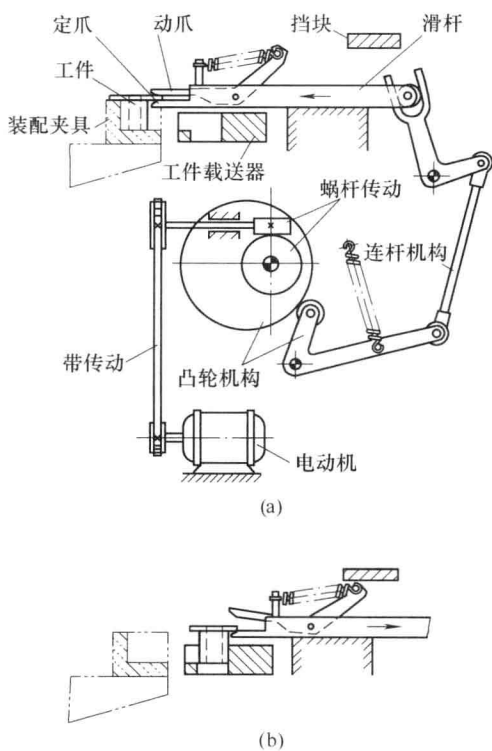


图 1-2 工件自动装卸装置

§ 1-2 学习机械原理课程的目的

作为机械类各专业的同学,在今后的学习和工作中总要遇到许多关于机械的设计和使用方面的问题。所以,机械原理课程是机械类各专业必修的一门重要的技术基础课程而本课程所学

的内容乃是有关机械的基础知识。

现代世界各国间的竞争主要表现为综合国力的竞争。而要提高我国的综合国力,就要在一切生产部门实现生产的机械化和自动化,这就需要创造出大量的、种类繁多的、新颖优良的机械来装备各行各业,为各行业的高速发展创造有利条件。而任何新技术、新成果的获得,莫不有赖于机械工业的支持。所以,机械工业是国家综合国力发展的基石。

为了满足各行各业和广大人民群众日益增长的新需求,就需要创造出越来越多的新产品,故现代机械工业对创造型人才的渴求与日俱增。机械原理课程在培养机械方面的创造型人才中将起到不可或缺的重要作用。

§ 1-3 如何进行机械原理课程的学习

在进行机械原理课程的学习时,首先应当注意,机械原理课程是一门技术基础课程。一方面它较物理、理论力学等理论课程更加结合工程实际;另一方面,它又与讲授专业机械的课程有所不同,它不具体研究某种机械,而只是对各种机械中的一些共性和常用的机构进行较为深入的探讨。为了学好本课程,在学习过程中,同学们就要着重注意搞清基本概念,理解基本原理,掌握机构分析和综合^①的基本方法。

其次,机械原理课程中对于机械的研究是通过以下两大内容来进行的:

1) 研究各种机构和机器所具有的一般共性问题。如机构的组成理论、机构运动学、机器动力学等。

2) 研究各种机器中常用的一些机构的性能及其设计方法,以及机械系统方案设计的问题。

第三,要注意培养自己运用所学的基本理论和方法去发现、分析和解决工程实际问题的能力。解决工程实际问题往往可以采用多种方法,所得结果一般也不是唯一的,这就涉及分析、对比、判断和决策的问题。对事物的分析、判断、决策的能力是一个工程技术人员所必须具备的基础能力,在学习中必须刻意加以培养。

第四,在应用机械原理课程所学的知识时要注意融会贯通,不要墨守成规,尤其是在独创性已成为决定产品设计成败关键的今天,更应着重培养自己的创新精神和能力。本书中一些打*号的小字部分的内容,多属正文内容的拓展和延伸,或为一些创新性应用较成功的工程实例,同学们应争取多阅读,以开拓自己的眼界,启迪思维,促进自己创造能力的提高。

最后,工程问题都是涉及多方面因素的综合性的问题,故要养成综合分析、全面考虑问题的习惯。另外,工程问题都要经过实践的严格考验,不允许有半点疏忽大意,故在学习中就要坚持科学严谨的、一丝不苟的工作作风,认真负责的工作态度,讲求实效的工程观点。

§ 1-4 机械原理学科发展现状简介

当今世界正经历着一场新的技术革命,新概念、新理论、新方法、新材料和新工艺不断出现,

^① 综合与设计具有相似的意义。在机械原理课程中常把不考虑零件的材料、强度、结构及工艺性的机构运动尺寸的设计称为综合。

作为向各行各业提供装备的机械工业,也得到了迅猛的发展。

现代机械既日益向高速、重载、巨型、高效率、低能耗、高精度、低噪声等方向发展,又向微细、灵巧、柔性、智能、自适应等方向发展。对机械提出的要求也越来越苛刻:有的需用于宇宙空间,有的要在深海作业,有的小到能沿人体血管爬行,有的又是庞然大物,有的速度数倍于声速,有的又要作亚微米级甚至纳米级的微位移,如此等等。处于机械工业发展前沿的机械原理学科,为了适应这种情况,新的研究课题与日俱增,新的研究方法日新月异。

为适应生产发展的需要,当前在自控机构、机器人机构、仿生机构、柔性及弹性机构和机电光液广义机构等的研制上有很大进展。在机械的分析与综合中,也由只考虑其运动性能过渡到同时考虑其动力性能;考虑到机械在运转时构件的振动和弹性变形,运动副中的间隙和构件的误差对机械运动及动力性能的影响;以及如何对构件和机械进一步作好动力平衡的问题等。

在连杆机构方面,重视了对空间连杆机构、多杆多自由度机构、连杆机构的弹性动力学和连杆机构的动力平衡的研究;在齿轮机构方面,发展了齿轮啮合原理,提出了许多性能优异的新型齿廓曲线和新型传动,加快了对高速齿轮、精密齿轮、微型齿轮的研制;在凸轮机构方面,十分重视对高速凸轮机构的研究,为了获得动力性能好的凸轮机构,在凸轮机构推杆运动规律的开发、选择和组合上作了很多工作。此外,为了适应现代机械高速度、快节奏、优性能的需要,还发展了高速高定位精度的分度机构、具有优良综合性能的组合机构以及各种机构的变异和组合等。

在机械驱动方面,提出了欠驱动、冗余驱动、混合驱动等方式,以增进机械的性能,扩大机械的适应性^①。

目前,在机械的分析和综合中日益广泛地应用了计算机,发展并推广了计算机辅助设计、优化设计、考虑误差的概率设计,提出了多种便于对机械进行分析和综合的数学工具,编制了许多大型通用或专用的计算程序与仿真软件。此外,随着现代科学技术的发展,测试手段的日臻完善,也加强了对机械的实验研究。

总之,作为机械原理学科,其研究领域十分广阔,内涵非常丰富。在机械原理的各个领域,每年都有大量的内容新颖的文献资料涌现。但是,作为一门技术基础课程,机械原理课程将只研究有关机械的一些最基本的原理和方法。

^① 参见 §2-4。

第 2 章 机构的结构分析

§ 2-1 机构结构分析的内容及目的

机构结构分析研究的主要内容及目的是：

(1) 研究机构的组成及机构运动简图的画法

即研究机构是怎样组成的,以及为了了解机构,并对机构进行分析与综合,研究如何用简单的图形,即机构运动简图,把机构的结构状况表示出来。

(2) 了解机构具有确定运动的条件

机构要能正常工作,一般必须具有确定的运动,因而必须知道机构的自由度及其具有确定运动的条件。

(3) 研究机构的组成原理及结构分类与设计

研究机构的组成原理,有利于新机构的创造,而根据组成原理,将各种机构进行结构分类,有利于对机构进行运动及动力分析和结构的合理设计。

§ 2-2 机构的组成及分类

1. 机构的组成

(1) 构件

任何机器都是由许多零件组合而成的。如图 1-1 所示的内燃机就是由气缸、活塞、连杆体、连杆头、曲轴、齿轮等一系列零件组成的。在这些零件中,有的是作为一个独立的运动单元体而运动的,有的则常常由于结构和工艺上的需要,而与其他零件刚性地连接在一起作为一个整体而运动,例如图中的连杆就是由连杆体、连杆头、螺栓、螺母、垫圈等零件刚性地连接在一起(如图 2-1 所示)作为一个整体而运动的。这些刚性地连接在一起的零件共同组成一个独立的运动单元体。机器中每一个独立的运动单元体称为一个构件^①(link)。可见,构件是组成机构的基本要素之一。所以从运动的观点来看,也可以说任何机器都是由若干个(两个以上)构件组合而成的。

^① 此处所指构件是指刚性构件(rigid link)。机器中除刚性构件外,尚有弹性构件(elastic link),如弹簧;挠性构件(flexible link),如绳、索、带等;气体构件(air link)及液体构件(hydraulic link),如气、液传动中的气体、液压油等。不过,在机械原理课程中着重讨论刚性构件。

(2) 运动副

当由构件组成机构时,需要以一定的方式把各个构件彼此连接起来,而被连接的两构件之间仍须产生某些相对运动(这种连接显然不能是刚性的,因为如果是刚性的,两者便成为一个构件了)。这种由两个构件直接接触而组成的可动的连接称为运动副^①(kinematic pair),而两构件上能够参加接触而构成运动副的表面称为运动副元素(pairing element)。例如,轴1与轴承2的配合(图2-2)、滑块2与导轨1的接触(图2-3)、两齿轮轮齿的啮合(图2-4)等就都构成了运动副。它们的运动副元素分别为圆柱面和圆孔面、棱槽面和棱柱面及两齿廓曲面。可见,运动副也是组成机构的基本要素。

两构件在未构成运动副之前,在空间中它们共有6个相对自由度,而当两构件构成运动副之后,它们之间的相对运动将受到约束。设运动副的自由度(degree of freedom)以 f 表示,而其所受到的约束度(degree of constraint)以 s 表示,则两者的关系为: $f=6-s$ 。

两构件构成运动副后所受的约束度最少为1,最多为5。运动副常根据其约束度进行分类:把约束度为1的运动副称为I级副(class I pairs),约束度为2的运动副称为II级副(class II pairs),以此类推。

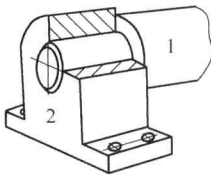


图 2-2 转动副

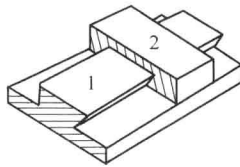


图 2-3 移动副

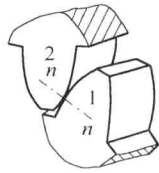


图 2-4 高副

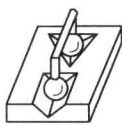
运动副还常根据构成运动副的两构件的接触情况进行分类。凡两构件通过单一点或线接触而构成的运动副统称为高副(higher pair),如图2-4所示的运动副。通过面接触而构成的运动副统称为低副(lower pair),如图2-2和图2-3所示的运动副^②。

为了使运动副元素始终保持接触,运动副必须封闭。凡借助于构件的结构形状所产生的几何约束来封闭的运动副称为几何封闭或形封闭运动副(form-closed pair),如图2-2、图2-3,借

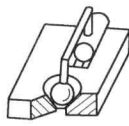
^① 在现代的许多微型机械和生活用品中,为了达到简化机构的结构等目的,常采用类似右图所示的柔性铰链,它允许构件两部分之间可以产生微小的相对位移,起到了运动副的作用。



^② 这两种运动副也均可设计成为点、线接触的复合高副,如图所示(图a相当于回转副,图b相当于移动副)。点接触运动副主要用于精密或测试仪器中,而线、面接触运动副则主要用于一般机械中。



(a)



(b)

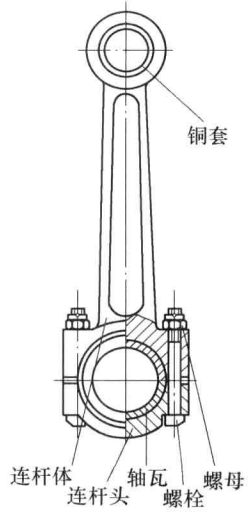


图 2-1 连杆

助于推力、重力、弹簧力、气液压力等来封闭的运动副称为力封闭运动副 (force-closed pair), 如图 2-4 所示运动副。

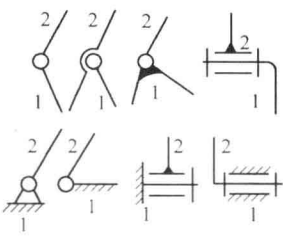
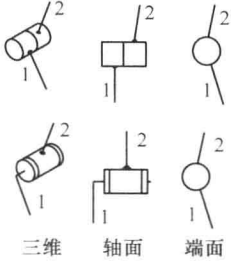
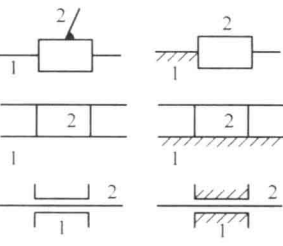
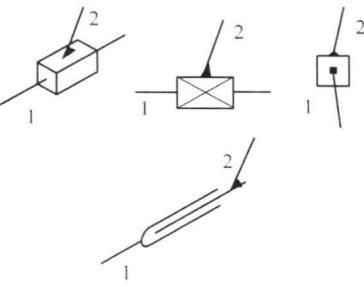
运动副还可根据构成运动副的两构件之间的相对运动的不同来进行分类。把两构件之间的相对运动为转动的运动副称为转动副或回转副 (revolute pair, 图 2-2), 也称铰链 (hinge)。相对运动为移动的运动副称为移动副 (prismatic pair, 图 2-3); 相对运动为螺旋运动的运动副称为螺旋副 (helical pair, 如表 2-1 中所示螺杆 1 与螺母 2 所组成的运动副); 相对运动为球面运动的运动副称为球面副 (spherical pair, 如表 2-1 中所示球头 1 与球碗 2 所组成的运动副)。

由于构成转动副和移动副两构件之间的相对运动均为单自由度的最简单运动, 故又把这两种运动副称为基本运动副 (basic pair), 而其他形式的运动副则可看成是由这两种基本运动副组合而成的。例如表 2-1 中的槽销副 (pin-and-slot pair) 的表示代号 RP 就可以看成是转动副 R 和移动副 P 的组合。平面副 (planar contact pair)、球面副、球销副 (ball-and-spigot pair)、圆柱副 (cylinder pair) 及螺旋副等也都是如此。

此外, 根据构成运动副的两构件之间的相对运动是平面运动还是空间运动, 还可以把运动副分为平面运动副 (planar kinematic pair) 和空间运动副 (spatial kinematic pair) 两大类。

在机构中还常可见到由三个或三个以上的构件在同一处构成运动副, 这种运动副称为复合运动副 (compound pair)。如表 2-1 所示的复合铰链 (compound joint) 便是由三个构件组成的同轴线的转动副; 而胡克铰链 (或称万向铰链 universal joint), 则是由三个构件 (即轴叉 1、3 和十字轴 2) 组成的垂直交汇轴线的转动副。前者是平面复合运动副, 是若干普通铰链的聚集; 而后者为空间复合运动副, 是可以在两个方向上转动的一种特殊铰链。

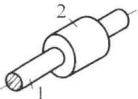
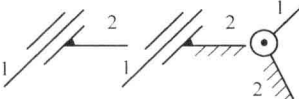
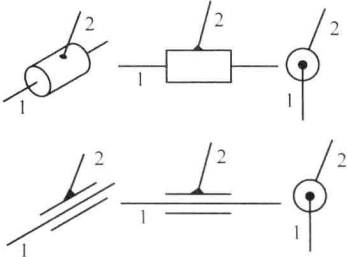
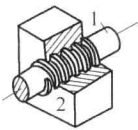
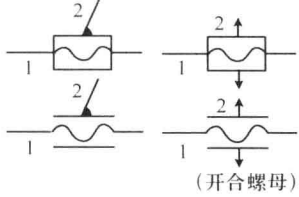
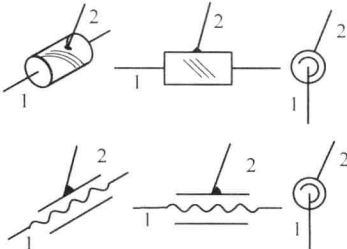
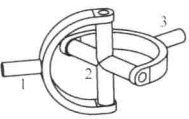
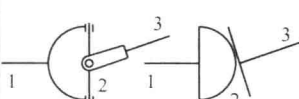
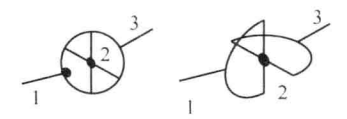
表 2-1 常用运动副的模型及符号

运动副名称及代号	运动副模型	运动副级别及封闭方式	运动副符号	
			平面表示符号	空间表示符号
平面运动副	转动副 R	V 级副 几何封闭		 三维 轴面 端面
	移动副 P			

续表

运动副名称 及代号	运动副 模型	运动副级 别及封闭 方式	运动副符号	
			平面表示符号	空间表示符号
平面 运动副	平面 高副 (RP)	IV级副 力封闭		
	槽销副 (RP)	IV级副 几何封闭		
	复合 铰链 R	2-V级副 几何封闭		
空间 运动副	点高副 (RRRPP)	I级副 力封闭		
	线高副 (RRPP)	II级副 力封闭		
	平面副 F (RPP)	III级副 力封闭		
	球面副 S (RRR)	III级副 几何封闭		
	球销副 S' (RR)	IV级副 几何封闭		

续表

运动副名称及代号	运动副模型	运动副级别及封闭方式	运动副符号	
			平面表示符号	空间表示符号
圆柱副 C (RP)		IV级副 几何封闭		
螺旋副 H (RP)		V级副 几何封闭		
胡克铰链 U (RR)		IV级副 几何封闭		

为了便于表示运动副和绘制机构运动简图,运动副常常用简单的图形符号来表示(已制定有国家标准,见 GB/T 4460—1984)。表 2-1 为常用运动副的模型及其代表符号(图中画有阴影线的构件代表固定构件)。

由于机械在工作的过程中,其构件间的运动和力的传递都是通过运动副进行的,所以运动副互相接触的两元素间总是处于承受载荷和遭受磨损的状态,而运动副的承载及磨损情况将直接影响到机械的工作性能、工作质量、机械效率和使用寿命。所以在设计新机械时要注意选择运动副类型和配置。

(3) 运动链

构件通过运动副的连接而构成的可相对运动的系统称为运动链(kinematic chain)。如果组成运动链的各构件构成了首末封闭的系统,如图 2-5a、b 所示,则称其为闭式运动链,或简称闭链(closed kinematic chain)。如组成运动链的构件未构成首末封闭的系统,如图 2-5c、d 所示,则称其为开式运动链,或简称开链(open kinematic chain)。在一般机械中都采用闭链,开链多用在机械手中。

此外,根据运动链中各构件间的相对运动为平面运动还是空间运动,可把运动链分为平面运动链(planar kinematic chain)和空间运动链(spatial kinematic chain)两类,分别如图2-5a、c及图2-5b、d所示。

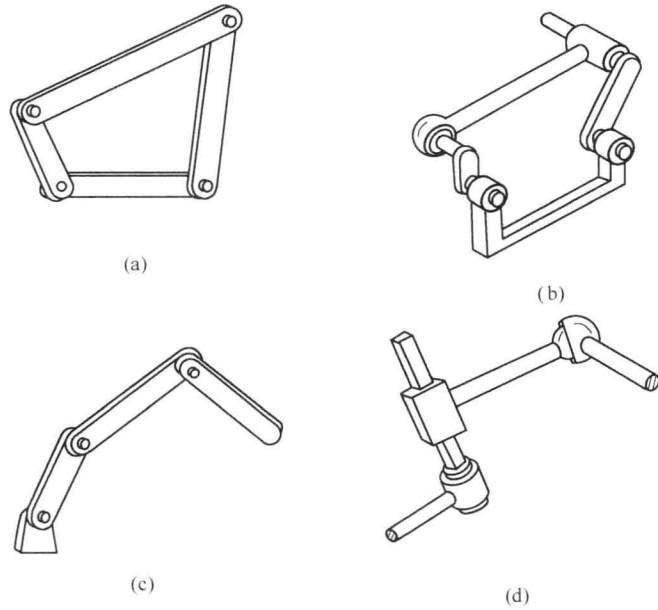


图2-5 运动链

(4) 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(fixed link),则该运动链便成为机构,如图2-6所示的铰链四杆机构。一般情况下,机架相对于地面是固定不动的,但若机械是安装在车、船、飞机等运动物体上时,那么机架相对于地面则可能是运动的。机构中按给定的已知运动规律独立运动的构件称为原动件(driving link),也称主动件,在图中常以箭头示出其运动方向,而其余活动构件则称为从动件(drived link)。从动件的运动规律决定于原动件的运动规律和机构的结构及构件的尺寸。

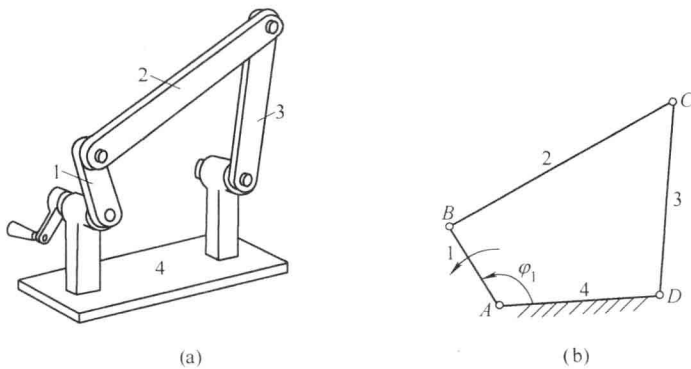


图2-6 铰链四杆机构

2. 机构的分类

机构可从不同的角度或研究目的进行分类。首先,根据机构中运动副的组成情况,可将机构分为低副机构和高副机构两大类;而根据机构的运动情况,则可将机构分为平面机构和空间机构两大类,其中平面机构应用最为广泛。其次,根据组成机构的构件的情况和机构工作原理的不同,还可将机构分为连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、棘轮机构、槽轮机构、螺旋机构、摩擦传动机构等类型的机构,而这些类型的机构都是在各种实际机械中经常见到的,正因如此,在机械原理课程中,将按这一分类,对上述这些常用类型的机构的分析与设计问题加以介绍。除上述这些常见的机构分类方法外,按组成机构的构件性质的不同还可将机构分为刚性机构、柔性机构^①、挠性传动机构、气动机构、液压机构以及其他广义机构等。在机械原理课程中主要介绍刚性机构。

§ 2-3 机构运动简图

在对现有机械进行分析或设计新机械时,都需要绘出其机构运动简图。由于机构各部分的运动是由其原动件的运动规律、该机构中各运动副的类型和机构的运动尺寸(确定各运动副相对位置的尺寸)来决定的,而与构件的外形(高副机构的运动副元素除外)、断面尺寸、组成构件的零件数目及固连方式等无关,所以只要根据机构的运动尺寸,按一定的比例尺定出各运动副的位置,就可以用运动副及常用机构运动简图的代表符号(表 2-2)和一般构件的表示方法(表 2-3)将机构的运动传递情况表示出来。这种用以表示机构运动传递情况的简化图形称为机构运动

^① 柔性机构或称柔顺机构(compliant mechanism),是一种具有柔性铰链或柔性构件的机构。它利用柔性铰链或柔性构件的弹性变形来实现运动和力的传递与变换。如图 a 所示为一柔性铰链四杆机构。显然,这种机构具有零件数少,无需装配和润滑,也无间隙、摩擦及污染,结构简单,易整体制造,成本低,运动精度高、可靠性及维护性能好等特点;但它只能用作微小位移传动,在工具、开关机构、医疗手术器械、精密定位、微操作、仿生机构和微机电系统的执行机构中应用广泛。图 b 所示为一在单片材料上制成的医疗手术用柔性夹钳的实例。此钳利用其柔性铰链四杆机构 ABCD 的弹性变形不仅能使钳口实现夹持和自动恢复张开功能,而且能使夹钳在人力过大情况下钳口仍具有输出接近恒定夹持力的特性,从而可避免损伤人体组织。此钳还具有夹持锁止功能(弹性锁钩 E_1 和 E_2)以保持夹紧状态,因此具有操作便利、易消毒、不易污染等优点。图 c 所示为一个具有柔性构件的柔性机构,可用以调节镜头的焦距。

