

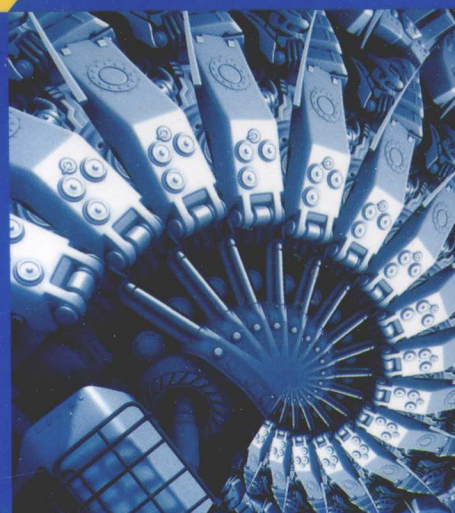


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机械原理

(第2版)

主编 谢进 万朝燕 杜立杰



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

TH111/58=2

2010

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机械原理

Jixie Yuanli

(第2版)

主编 谢进 万朝燕 杜立杰



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

内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书在第1版的基础上,根据使用情况和教育部机械基础课程教学指导分委员会新制定的“机械原理课程教学基本要求”的精神进行了修订。

本书主要内容包括:机械运动及其产生和变换、机械系统的运动分析和设计、机械系统的静力与动力分析和设计及其运动控制基本原理、机构设计过程及新型传动机构的研究等。第2版所作的主要修改是对部分内容进行了整合和充实,增强了各章节之间的逻辑关系,使内容连续贯通,更加适用于课堂讲解,更加便于学生的学习和理解。在第1章到第11章后面增加了“机构设计赏析”,其内容是对本章的教学内容进行补充,以开阔学生机构设计的思路,帮助他们了解目前机构设计理论和方法的发展趋势。

本书可作为高等学校机械类各专业机械原理课程的教材,也可作为机械运动控制等相关课程的教学参考书,还可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理/谢进,万朝燕,杜立杰主编. —2版.

—北京:高等教育出版社,2010.6

ISBN 978-7-04-029150-6

I. ①机… II. ①谢…②万…③杜… III. ①机械学—高等学校—教材 IV. ①TH111

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第060674号

策划编辑	龙琳琳	责任编辑	李京平	封面设计	张 志	责任绘图	尹 莉
版式设计	张 岚	责任校对	俞声佳	责任印制	毛斯璐		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京机工印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 17
字 数 410 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2004年1月第1版
2010年6月第2版
印 次 2010年6月第1次印刷
定 价 23.40元

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 29150-00

第2版前言

本书自2004年第1版出版以来,已经连续使用了五年。根据使用情况和教育部高等学校机械学科机械基础课程教学指导分委员会新制定的“机械原理课程教学基本要求”的基本精神进行了本次修订。

本次修订保持了第1版的整体风格,突出了面向计算机技术的机构结构、运动和动力分析及设计的基本理论和基本方法,突出了将传统教学内容与计算机控制、微电子技术的结合。

对部分内容进行了整合和充实,增强了各章节之间的逻辑关系,使内容连续贯通,更加适用于课堂讲解,更加便于学生的学习和理解。比如在连杆机构的运动设计中,增加了平面2R、RP平面开链机械臂的运动设计内容,其目的是将现代工业中常用的机器人机构的运动设计问题引入到课程教学中;同时,建立了从RR、RP平面开链机械臂的运动设计到平面四杆机构的运动设计之间合乎逻辑的过渡,分散了教学过程中的难点。又比如,将机械运动的检测技术和控制技术组合成“机械系统运动的测控技术简介”编入到第3篇中,以突出现代机械中运动、动力和控制之间密不可分的关系。

许多使用本书的教师和学生的鼓励和建议是对本书进行修订的主要动力。卢存光、刘光帅、何朝明、冯春、李柏林等教师对本次修订提出了不少意见和建议,在此表示衷心的感谢。

本书承西南交通大学陈永教授审阅,提出了许多宝贵意见,在此表示感谢。

感谢高等教学出版社和西南交通大学对本次修订的资助。

由于编者水平有限,本书中可能还存在一些错误、不足,恳请同人和读者批评指正。

编 者

2009年10月

第1版前言

现代机械是“由计算机信息网络协调与控制的、用于完成包括机械力、运动和能量流等动力学任务的机械和(或)机电部件相互联系的系统”(美国机械工程师协会,1984年)。在日常生活和工业、农业等各项生产活动中,以机电一体化产品为代表,现代机械已经有了广泛的应用。无论是工程技术人员还是在校学习的各类学生,对现代机械的设计、制造和使用都表现出了极大的兴趣。机械原理课程主要研究的内容与机电一体化产品的设计有着非常密切的联系,其教学内容的改革应当适应工业发展的需要,脱离“纯机械”的束缚,加强与微电子技术的结合。这种观点已经成为一种广泛的共识。

本教材在满足教育部高等学校机械原理课程教学基本要求的基础上,力求引入一些现代机械的基本概念、机械运动的控制原理和方法等内容。教材包括了步进电机、伺服电机、直线电机和一些新型驱动装置的介绍,机构运动学的逆问题及其求解方法,机电一体化常用机构,机械系统动态模型和机械运动控制方面的基本知识等内容。

本教材突破了传统的以基本机构安排章节的方法,采用了机械运动的产生、传递变换、检测和控制这样一个新的体系。教材共分5篇。

第1篇为机械运动及其产生和变换。在学习了这部分内容后,学生就会对各种形式的机械运动的发生条件、各种驱动装置运动输出形式和各种机构运动形式变换的功能、机构的组成等方面的问题有初步的了解。

第2篇为机械系统的运动分析和设计。重点介绍了各种机构运动分析和设计的基本理论和方法,突出了适用于计算机的解析法的介绍,保留了部分方便实用的图解法的教学内容。

第3篇为机械系统的静力与动力分析和设计。机械系统静力分析和设计的主要内容包括机构的压力角和传动角、摩擦分析等,机械系统动力分析和设计的主要内容包括机构动态静力分析,平衡,机械系统运动方程及其应用等。

第4篇为机械系统运动和动力参数的测定及机械运动控制原理。重点介绍了用于测定运动参数的传感器的基本原理、机械系统动态模型的建立、系统运动分析的传递函数和状态空间描述等机械运动控制的基本概念,最后以系统速度波动的调节为例介绍了机械运动控制的原理和方法。

第5篇为机械系统运动方案的概念设计和新的研究课题。重点介绍了机械运动概念设计的一些方法,其中基于功能、结构、约束的方法和基于机构特征矩阵的方法都是近些年出现的面向计算机的方法。除此之外,还重点介绍了几种新型的传动装置,目的是使学生对这些传动装置有一些了解,同时也是为了启发学生的思维。关于机构学新的研究课题的介绍,对于那些对本课程

有兴趣的、准备进一步深入研究的学生会有一定的帮助。

参加编写的人员有大连铁道学院的万朝燕、关天民(第10、11章,第13章的部分内容),石家庄铁道学院的范晓珂、杜立杰(第4章),北方交通大学的房海蓉、张英(第2章)、华东交通大学的刘平安(第3章)、西南交通大学的李立、谢进(第1章,第5~9章,第12~15章),由谢进、万朝燕、杜立杰担任主编,谢进负责统稿。

西南交通大学的陈永教授在本教材的编写过程中提出了许多建设性建议,最后又作了精心的审阅。编者对陈永教授表示衷心的感谢。编者还要感谢参加教材试用并提出了修改建议的老师和同学们;感谢高等教育出版社的领导和有关人员;感谢所有关心本教材的领导及同事。

由于编者水平有限,对于教材中存在的错误、不足,恳请同人和读者批评指正。

编者

2003年9月

目 录

绪论	1	0.2 机械原理学科的形成和发展概况 及本课程教学内容	2
0.1 机械、机构和机器	1		

第 1 篇 机械运动及其产生和变换

第 1 章 构件、约束和运动副	7	2.3 流体传动	21
1.1 构件及其分类	7	2.4 其他新型驱动装置	22
1.2 构件的运动约束	8	2.5 机械传动简介	25
1.3 运动副及其分类	11	思考题及习题	30
思考题及习题	13	机构设计赏析-2	31
机构设计赏析-1	14	第 3 章 机构结构的分析和设计	33
第 2 章 机械系统常用的驱动和运动 传递变换装置	16	3.1 运动链、机构	33
2.1 电动机	16	3.2 机构运动简图	33
2.1.1 电动机的基本原理与分类	16	3.3 机构的数字存储	39
2.1.2 驱动电动机的机械特性曲线 及其控制	17	3.4 机构的自由度	41
2.1.3 控制电动机	18	3.4.1 机构自由度的概念	41
2.2 内燃机	19	3.4.2 机构自由度的计算公式	42
2.2.1 内燃机的基本原理	19	3.5 机构的组成原理	47
2.2.2 内燃机的特性曲线	20	思考题及习题	51
		机构设计赏析-3	53

第 2 篇 机械系统的运动分析和设计

第 4 章 速度瞬心及其应用	59	4.3 瞬心线和瞬心线机构	61
4.1 速度瞬心的概念及其确定 方法	59	4.4 共轭曲线和共轭曲线机构	62
4.2 速度瞬心在机构速度分析 中的应用	60	4.5 在机构运动和结构分析中 的高副低代	63
		思考题及习题	64

机构设计赏析-4	66	7.2 渐开线直齿圆柱齿轮传动	127
第5章 平面连杆机构的运动分析		7.2.1 渐开线的形成及其性质	127
和设计	68	7.2.2 渐开线齿轮传动的特点	128
7.1 平面连杆机构及其应用	68	7.2.3 渐开线直齿圆柱齿轮的几何	
7.2 平面连杆机构的基本运动		尺寸和基本参数	129
特性	71	7.2.4 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合	
7.2.1 曲柄存在条件	71	传动	135
7.2.2 摇杆的极限位置和机构的急回		7.2.5 渐开线直齿圆柱齿轮传动的	
运动特性	72	运动设计	144
7.3 连杆机构的演化	74	7.3 斜齿圆柱齿轮传动	145
7.4 平面连杆机构运动分析的解		7.3.1 斜齿轮的端面和法面	145
析法	76	7.3.2 斜齿轮的啮合传动	146
7.4.1 机构运动分析和设计解析法中		7.4 蜗杆蜗轮传动	148
方程组的求解方法	77	7.4.1 阿基米德蜗杆和蜗轮的加工、	
7.4.2 平面连杆机构正运动学分析的		中间平面	148
直角坐标法	79	7.4.2 蜗杆蜗轮的啮合传动	149
7.4.3 平面连杆机构的逆运动学分析	84	7.5 直齿锥齿轮传动	150
7.5 运动副间隙对机构运动的影响	85	7.5.1 背锥和当量齿轮	150
7.6 平面连杆机构的运动设计	86	7.5.2 直齿锥齿轮几何尺寸的计算及	
7.6.1 平面连杆机构运动设计的图		啮合传动	151
解法	87	7.6 轮系的运动分析和设计	152
7.6.2 平面连杆机构运动设计的位		7.6.1 定轴轮系的运动分析和设计	152
移矩阵法	91	7.6.2 周转轮系的运动分析和设计	156
思考题及习题	99	7.6.3 混合轮系的运动分析和设计	161
机构设计赏析-5	105	思考题及习题	163
第6章 凸轮机构的运动设计	108	机构设计赏析-7	167
6.1 凸轮机构的组成及其应用	108	第8章 其他常用机构的运动分析	
6.2 凸轮机构从动件运动规律		和设计	169
的设计	109	8.1 间歇运动机构	169
6.3 凸轮的轮廓曲线设计	113	8.1.1 棘轮机构	169
思考题及习题	120	8.1.2 槽轮机构	169
机构设计赏析-6	122	8.1.3 不完全齿轮机构	171
第7章 齿轮机构与轮系的运动		8.2 螺旋机构	172
分析和设计	125	8.3 空间连杆机构	173
7.1 齿廓啮合基本定律和共轭		思考题及习题	174
齿廓的展成加工	125	机构设计赏析-8	175

第3篇 机械系统的静力与动力分析和设计 及其运动控制基本原理

第9章 机械系统的静力分析和设计	179	机械系统的真实运动	212
9.1 压力角和传动角	179	10.3.1 刚性构件组成的单自由度机	
9.2 死点	184	械系统的等效动力学模型	213
9.3 机械中的摩擦、自锁和效率	185	10.3.2 机械系统各种稳定运动的	
9.3.1 运动副中的摩擦和自锁	186	条件	217
9.3.2 考虑运动副摩擦机构的力		10.4 考虑构件弹性时的机械动	
分析	192	力学简介	218
9.3.3 机械的效率和自锁	196	思考题及习题	220
思考题及习题	199	机构设计赏析-10	224
机构设计赏析-9	203	第11章 机械系统运动的测控技术	
第10章 机械系统的动力分析和		简介	225
设计	205	11.1 机构运动控制系统的组成	225
10.1 平面连杆机构动态静力分		11.2 机械运动和动力参数的检测	
析方法	205	装置	228
10.2 机械的平衡	207	11.3 机械系统运动控制的动力学	
10.2.1 刚性转子的平衡	207	模型	229
10.2.2 挠性转子的平衡简介	210	11.4 机械运动速度波动及其调节	233
10.2.3 机构的平衡简介	211	思考题及习题	237
10.3 刚性构件组成的单自由度		机构设计赏析-11	239
第4篇 机构设计过程及新型传动机构的研究			
第12章 机构设计过程	243	13.3 谐波齿轮传动	252
第13章 新型传动机构及机构学新		13.4 活齿传动	253
的研究课题简介	250	13.5 机构学的一些新的研究	
13.1 渐开线少齿差传动	250	课题	254
13.2 摆线针轮传动	251	思考题及习题	256
参考文献			
			257

绪 论

0.1 机械、机构和机器

在介绍机械、机构和机器的概念之前,需要了解“系统”的概念。系统是指具有特定功能的、相互间具有有机联系的物体所组成的整体。在一个系统中,各个物体具有不同的功能或性能,它们通过相互作用、相互依存、有规则的形式联系在一起,形成一个整体,具有新的功能。

机器是具有使材料成形,或进行运动和力的传递和变换等特殊用途的机械系统。在工业、农业、国防以及人们的日常生活中有各种各样的机器。图 0-1 所示的缝纫机可以将若干布块缝制成一个整体,改变了布块的形状,所以缝纫机是一种机器。机器的名称通常是根据其所能完成的任务来命名的,从机器的名称就可以确定其主要的功能。如洗衣机、缝纫机、起重机、挖掘机等,它们的用途非常明确。

机构是人为设计而成的系统,用来将一个或几个物体的运动转变为另外一些物体的约束运动,或将作用在一个或几个物体上的力转变为作用在另外一些物体上的力。各种机构都有一定的功能,但是,同一机构可以用在不同的场合或不同的机器中,另外,不同的机构可能会具有相同的功能。因此如果根据功能来命名机构,就会造成一些混乱。通常采用的方法是根据机构中主要组成元件的外观形状来对机构进行命名,如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构。

机械是机构和机器的总称。

图 0-1a 所示的缝纫机是由若干个机构组成的机械系统。它能够将脚踏板 CD 的往复摆动通过连杆 BC 转变为曲柄 AB (带轮) 的整周转动,再通过带传动以及安置在缝纫机机头内部的一些机构完成挑线、刺布和送布等一系列动作。

在缝纫机这个机械系统中,运动的驱动装置是人力,运动的传递、变换和控制全部是由变形很小(小到可以忽略不计)的“刚体”来完成的。这种缝纫机便是一种典型的传统机械。

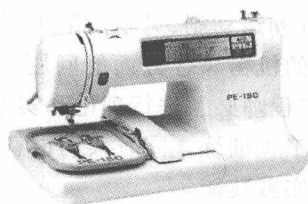
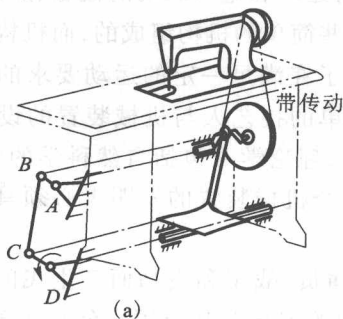


图 0-1 缝纫机

随着科学技术的进步,现代机械在人们的日常生活中的应用越来越多。现代机械是由计算机信息网络协调与控制的,用于完成包括机械力、运动和能量流等动力学任务的机械和(或)机电部件相互联系的系统。图 0-1b 所示的由电脑控制的家用和工业用缝纫机就是一种现代机械。现在高档的家用缝纫机内置有计算机,还有小监视器显示以便于操作。计算机直接控制多个不同的可控电动机,这些电动机又精确地控制缝纫基本执行部件的运动。通过这种精细的控制能够产生数百种不同的针脚。控制电动机运动的程序可以存储在可移动存储盘或磁带中,也可以直接从互联网上下载。

无论什么样的缝纫机其主要功能是相同的。但是,从传统机械到现代机械,其间却发生了巨大的变化。现代机械与传统机械的主要区别在于组成系统的物体是不同的。正是由于这样的区别,使现代机械可以提高机械的自动化程度,适应多种生产任务,同时,大大降低操作者的劳动强度,提高生产率。这种区别体现出了科学和技术的进步。

0.2 机械原理学科的形成和发展概况及本课程教学内容

机械原理研究的是机械的结构、运动和动力分析及设计的一般方法,包括机械系统中各个部件或零件之间的运动功能关系,以及它们之间的相互联系和相互作用关系等。在学科分类中,本课程与机械工程中的分支学科—机构学密切相关。本书的主要内容是机构学在 100 多年历史发展中所形成的最基本的理论和方法。

在一个机械系统的设计中,首先要解决的是机械的结构等方面的问题,然后才能进一步考虑机械零部件的材料选择、强度计算、制造加工和投资预算等方面的问题。工程实践表明:如果机械的结构、运动传递和变换方案选择不当,将会导致所设计机械的水平低下,或者不能很好地达到设计的基本要求,甚至可能造成机械的运转不可靠,造成巨大的人力和资源的浪费。

人们对机械原理课程所涉及的问题已经进行了长期的研究。远古时代,在美索不达米亚、埃及、印度和中国等地就有了各种各样的机械,如水车、杠杆等。但是,限于当时社会的政治和经济状况,这些机械的设计仅仅靠的是技术或技艺,而不是系统的工程科学方法。

当社会发展有了剩余产品的时候,就有部分人开始了艺术和哲学的研究,认识到自然现象是可以解释的。尤其是在逻辑的思想产生之后,人们就力求用一般的严密科学理论取代过去孤立的、凭经验的规则。公元前 4 世纪就有人用数学的原理处理机构学的问题。当时人们将机器定义为改变自然进程的工具,研究了速度矢量的特点、相对运动和绝对运动的概念、点的圆周运动、纯滚动和四杆机构的速度分析方法;发现了机器是由一些简单的机构组成的,而机构又是由一些基本元素(构件和运动副,见本书第 1 章)组成的;提出了在满足一定的运动要求的条件下如何进行机构设计的机构综合方面的问题。人们逐渐将简单的技艺人与机械装置的设计人区别开来:一个机械工程师必须进行理论和实践两方面的学习,理论学习包括自然科学的学习,而实践学习包括各种工程训练。同时人们也意识到:要成为一个机械装置的发明者必须具有坚实的自然科学知识和实践技能。

第一个被命名为机器的是古希腊舞台上用于升降演员、战车和飞马而产生飞的感觉效果的机构。公元前 3 世纪已有了曲柄、连杆、连杆机构、滑块等名词及其应用。公元前 323 年至公元前 30 年就有了利用反馈控制的机械装置,并且出现了齿轮。公元 3 世纪中国出现的指南车就利

用了差动轮系。

在罗马和中世纪时代,土木工程与机械工程被分离开来,此时,机构设计仍被视为纯经验的设计。人们将机器定义为:由木块装钉在一起,主要用于有效地举升重大的物体的工具。阿拉伯人建造了具有相当高自动化和控制水平的机械。Nicole Oresme 引入了笛卡儿坐标研究加速运动,并且提出了连续体力学的概念。当时出现了大量的图册来介绍机构的设计方法,当时研究的主要对象是摆钟,同时,在世界各地出现了不少研究机械的学术组织。

Galileo 和 Newton 的研究成果标志着早期现代化时代的开始,也标志着机械化和工业革命的早期阶段的开始。化工能源的利用和减轻机械体积、重量的要求提出了大量的机械动力学问题,而微积分和连续体力学的发展又为力学的迅速发展提供了基础。从 17 世纪到 18 世纪人们主要研究的是蒸汽机。Watt 提出了实现直线连杆轨迹的机构设计方法;Euler 提出刚体平面运动可以看成是一个点的移动和绕着该点的转动的运动合成,并将运动学与动力学区分开来;Johann Bernoulli 提出了速度瞬心的概念。

在 Leupold 之前,人们都是将机器作为整体进行研究,或者只研究机器中分离出的零件。Leupold 第一个提出了机构的概念,他把机器描述为“将一种运动转变为另外一种运动”,例如将圆周运动转变成直线运动。当时,人们将各种机构按其运动变换功能或力的增益等方式进行分类。不少高等学府将运动学和机构从一般的机械学分离出来,认为机构运动学“是研究运动而与产生运动的动力无关的科学,运动学应当包括各种形式的运动”。1831 年 Coriolis 提出了运动分析的基本问题:“在已知机器中某些部件的运动的条件下,求机器的运动”。机构的符号表示也是当时研究的热点问题。在此方面,Reuleaux 作出了不少贡献,同时,他还提出了机构的综合问题:“比机构分析更重要的是:Watt 等发明人在不知道如何进行思考的情况下,是如何得到他们的发明成果的?”当然,他提出的机构综合问题仅仅是机构的“型综合”。Rankine 提出了机构是由机架和活动部件组成的概念。

按照 Euler 关于平面一般运动的概念,Smith 和 Burmester 等人分别对机构的位移、速度和加速度都进行了分析,Aronhold 提出了机构运动分析的“三心定理”。

Gruebler 进一步发展了连杆机构可动性的判定准则,并在机构的“数综合”的研究方面迈出了重要的一步;在 Burmester 应用几何方法进行刚体导引问题的研究成果发表之后,机构的“尺度综合”引起了广泛的关注,Tschebyschev 和 Roberts 提出了实现连杆曲线的“同源机构”的概念。

19 世纪是机械原理课程所研究的基本问题形成的时代,揭示出了许多基本原理,建立了许多分析方法,并且开辟了机构综合的道路。在此之后,有大量的研究成果不断涌现出来。

美国大百科全书指出:在最近的 200 多年中几乎没有再产生出新类型的机构。尽管如此,对于机构运动学和动力学的研究、各种基本机构应用的研究却没有停止过。人们用各种基本机构组成了各种各样的机器,满足人类精神和物质方面的需求;同时,也提出了各种各样的机构运动和动力分析和设计方法。尤其是在 20 世纪 50 年代,在 Freudenstein 提出了用计算机进行机械系统的运动、动力分析和设计的方法之后,机构学和机械系统动力学进入了新的研究阶段,出现了难以数计的研究成果。尽管目前应用的许多机械分析和设计的基本原理(包括本书中的主要内容),都是 100 多年前的研究成果,但是,计算机技术的应用可以提高计算的速度和精度,可以将人们从烦琐的计算中解脱出来,集中精力解决设计过程中最富于创造性的问题。分析和设计的手段的改进,同样带来了机械工业的巨大发展。

20 世纪六七十年代,信息和计算机控制技术的发展给机械设计又带来了新的局面,各种检测和控制技术的出现,改变了机构设计的基本思路,人们逐渐放弃了单自由度复杂机构,而采用多自由度简单机构,辅以强有力的检测控制技术,实现复杂的机械运动。测量和控制技术的进步,还使人们可以通过改变机构的运动控制程序,使机构的运动具有一定的“柔性”,以满足不同的设计要求。本书在 11 章中简单地介绍了一些现代的运动检测和控制技术,以期使读者对现代机械的基本组成和设计有所了解,为机电一体化产品的设计奠定基础。

现在,日常生活中已有各种各样的机构和机器:玩具、钟表、手表、机械加工工具、自动化机械、残疾人的假肢、照相机、复印机、建筑机械、汽车、飞机、轻纺机械、印刷机械等。可以预计,在未来的生产和生活中还会有许多新的机构和机器有待人们去发明和创造。

纵观机械原理研究内容的发展变化可以看出:机构、机器和机械的概念随着人类文明的进步而不断地发生着变化;机械设计和分析的任何一个理论和方法的形成、发展都经历了长期的历史演变。机械原理的教学内容随着机械从传统机械到现代机械的转化,设计和分析方法从简单的技艺到系统的理论体系的转化,都经历了并正在经历着不断的变化。

机械原理课程是机械类专业的主干技术基础课程之一。本课程将数学和力学的基本理论和方法应用于机械工程中机构和机器的设计和分析,理论性和实践性并重,这是本课程的突出特点。对于日常生产、生活和学习中的各种各样机械,简单地分析它们的工作原理是件容易的事情,但是要真正理解它们是如何发明的,以及它们为什么被设计成其所具有的特殊形式和尺寸却不是一件容易的事情。基于此,希望读者在课程学习中注意观察日常生活中用到的各种机械,注重积累;在学习新知识的同时,要投入比较多的时间和精力从事实践性教学活动。

作为一个从事机械设计和制造的工程技术人员,必须具有机械运动的想象能力,具有解释机械运动原理的能力,具有改进已有机械产品设计的能力,具有机械创新设计的能力。这些能力的培养和训练,正是本课程的主要教学目的。

第 1 篇

机械运动及其产生和变换

本篇重点介绍机械运动的特点、各种常用的驱动装置和各种基本机构的运动变换功能。

机械运动是指物体在空间位置的变化这种运动形式。各种机械的运动都是人为设计的约束运动,约束的作用和设计是机械设计最基本的问题。

实现机械的运动必须要有驱动力或力矩,要有驱动装置。各种不同类型的驱动装置所基于的物理学原理是不同的。作为工程技术人员应当了解和掌握驱动装置的基本物理学原理,研究将各种能量转换为机械能的技术,创造出各种新型的驱动装置,同时,也应当注意各种驱动装置的输出运动和动力形式、特点,以便于正确使用各种驱动装置。

在实际工程设计中,驱动装置的输出运动形式和性能是特定的,与机械设计者所需要实现的运动之间通常会存在差异,需要用某种机构进行运动的传递和变换。各种运动传递和变换机构同样也具有不同的特点、功能和应用场合,在构件的运动形式变换的同时也伴随有力和力矩的变换。

本篇的学习将为机械运动、动力分析和设计奠定基础。

第 1 章

构件、约束和运动副

1.1 构件及其分类

1. 构件

机械一般都是由许多机械零件组合而成的。所谓零件,是制造、加工的单元体。图 1-1b 中连杆体 1、连杆盖 2、轴瓦 3、4、5,螺栓 6、螺母 7 和开口销 8 等均为零件。当将这些零件依次装配在一起,就成为内燃机中的连杆。在内燃机工作时,这些零件之间没有任何的相对运动,形成了一个运动的单元体。在机构分析和设计中,把运动的单元体称为构件,通常以构件作为机构的主要组成元素,而不再细分出每一个零件。

有些构件本身就是一个零件,如凸轮、齿轮等;而有的构件却如上述的连杆那样是由许多零件组成的。之所以用许多零件来组成一个构件,往往是出于机械的结构和工艺方面的考虑。

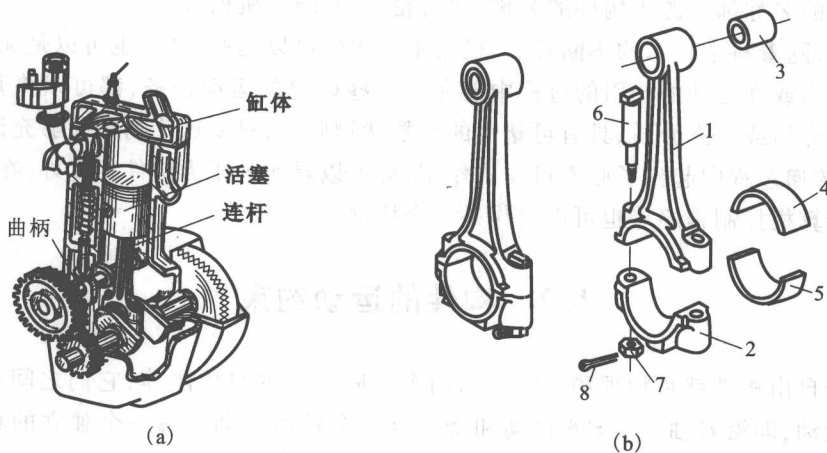


图 1-1 单缸内燃机的组成及组成连杆的零件

简单地讲,构件是运动时的单元体,而零件是制造时的单元体。构件和零件是从不同的角度对组成机械元件的划分。

2. 构件的类型

机构中构件的种类非常多,分类方法也各不相同。下面介绍几种常见的构件类型。

(1) 在传递运动和力的过程中,构件具有不同的抗载能力。据此可将构件分为刚性构件、弹性构件、拉曳件等。刚性构件由在各个方向都具有相同的承载能力的材料制成,它们能够承受拉伸、压缩、弯曲、剪切和扭转等各种载荷。刚性构件在几何上的特点是:在机构的运动过程中,刚

性构件上任意两点之间的距离是保持不变的,构件上任意两条直线所夹的角度也是保持不变的。当然,在工程实际中,由于材料在受到载荷作用下或多或少都会发生弹性变形,所以严格意义上的刚性构件是很少的,甚至可以说目前是不存在的。但是,在机构设计和分析中,当机械的运转速度比较低,受力比较小,构件的弹性变形非常小(小到可以忽略不计),将构件作为刚性构件处理,可以使机构的设计和分析问题大大简化。否则必须考虑构件的弹性变形,此时构件便成为弹性构件。本书中除特别说明之外,一般将构件均视为刚性构件。

拉曳件是指主要承受拉力的构件,例如一些传动装置中的带、钢带、绳索、链条等。

(2) 按照构件在机械传动中的功能,可将构件分为机架、原动件和从动件。

机架是指被固定而作为机构运动的参考系的构件。当机构是安装在地面上时,通常以与地面固接的构件为机架;如果机构安装在某一运动的物体上,则取相对这一运动物体固定不动的构件为机架。

原动件是指将运动和力传入到机构中的构件,有时又称为主动件。

在机构中除机架和原动件以外的其余构件称为从动件。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。从动件还可以再分为传动构件、输出构件和运动引导构件等。

在图 1-1 所示的机械系统中,通常以内燃机的缸体为机架,活塞为原动件,曲柄和连杆均为从动件;驱动其他机械所需要的力和运动通过曲柄得到,因此,曲柄为输出构件,而连杆为传动构件。

(3) 构件还可以按照其几何和运动特征进行分类,如凸轮、齿轮、摩擦轮、滑块、导槽、杆件等。很多机构的名称都来源于构件的名称,如齿轮机构、凸轮机构等。

广义来讲,随着科学技术的不断发展,机构中的构件可以有形的,也可以是无形的,只要它在传递运动和力或在运动的导引的过程中能完成一些确定的运动任务,都可以将其视为一个构件。例如液态介质或气态介质、具有可塑性的颗粒状物质等,只要这些物质能够充满所提供的空腔,在运动的传递过程中起到了必不可少的作用,都可以看作为压力构件。此外,在现代机械中,机械运动的计算机控制程序等也可以看作是一个构件。

1.2 构件的运动约束

空间两个自由构件就是物理和力学中的两个空间运动的自由刚体,它们之间可以发生六个独立的相对运动,即沿着轴 x 、 y 、 z 的移动和绕着这三个轴的转动。每一个独立的相对运动就是一个运动的自由度,因此,两个自由构件之间有六个自由度,如图 1-2 所示。

如果构件在某一方向上的运动受到了限制,就会使得该方向的运动不再可能,使得运动的自由度减少。任何使得自由度减少的限制被称为约束。约束可能有各种方式,最常见的是两个构件相互直接接触形成的约束。如图 1-3 所示,构件 1 为一个球体,构件 2 是一个平行于 $x-z$ 平面的平面,两者在点 P 接触。这样两个构件沿 y 轴方向的运动就被限制了,因为如果构件 1 相对于构件 2 向上运动,则两者将不再接触,约束就不存在了;又由于两个构件是刚体,所以构件 1 不可

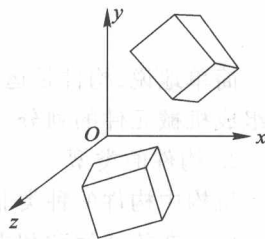


图 1-2 两个空间自由构件的独立相对运动