

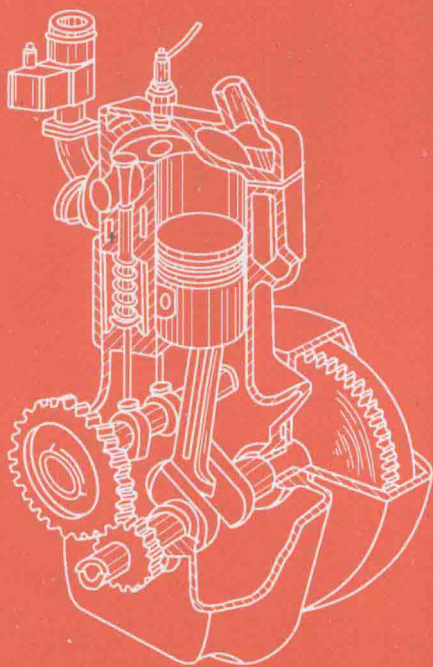


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机械原理

第三版

邹慧君 郭为忠 主编



高等教育出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机械原理

Jixie Yuanli

第三版

邹慧君 郭为忠 主编

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书是在邹慧君等主编的《机械原理》(第二版)的基础上修订而成的。本书在编写时着力于内容与体系的改革,是一本改革力度较大的教材,其特点如下:1)建立了机构设计-机械运动方案设计-机械动力学设计的机械原理课程内容的新体系。2)加强机构设计内容,强调解析法,简化图解法,广泛应用计算机辅助设计。3)加强机械运动方案设计内容,阐明机械产品创新设计方法。4)增加了广义机构内容,讲述了新颖机构的基本特征与应用,拓宽了学生的视野。

除绪论外,本书共分3篇13章。第一篇机构设计,包括机构的组成原理和类型综合、连杆机构设计和分析、凸轮机构及其设计、齿轮机构及其设计、间歇运动机构、其他常用机构、广义机构等内容。第二篇机构系统设计,包括工艺动作过程构思与运动协调设计、机械运动方案设计等内容。第三篇机械动力学,包括机械的运转及其速度波动的调节、机械振动及隔离、机械平衡等内容。全书在每章的结束还附有小结、思考题和习题,方便了学生学习。本书书后配有《机械原理计算机辅助教学2.0》课件(光盘)。

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

图书在版编目(CIP)数据

机械原理/邹慧君,郭为忠主编.--3版.--北京:

高等教育出版社,2016.4

ISBN 978-7-04-045047-7

I. ①机… II. ①邹…②郭… 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(2016)第 047562 号

策划编辑 卢 广	责任编辑 卢 广	封面设计 李树龙	版式设计 童 丹
插图绘制 杜晓丹	责任校对 高 歌	责任印制 尤 静	

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
印 刷 北京机工印刷厂
开 本 787mm×960mm 1/16
印 张 29.5
字 数 530 千字
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.hepmall.com.cn http://www.hepmall.com http://www.hepmall.cn
版 次	1999 年 6 月第 1 版 2016 年 4 月第 3 版
印 次	2016 年 4 月第 1 次印刷
定 价	47.60 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 45047-00

与本书配套的数字课程资源使用说明

与本书配套的数字课程资源发布在高等教育出版社易课程网站,请登录网站后开始课程学习。

一、网站登录

1. 访问 <http://abook.hep.com.cn/12269363>,单击“注册”。在注册页面输入用户名、密码及常用的邮箱进行注册。已注册的用户直接输入用户名和密码登录即可进入“我的课程”界面。

2. 课程充值:登录后单击右上方“充值”图标,正确输入教材封底标签上的明码和密码,单击“确定”按钮完成课程充值。

3. 在“我的课程”列表中选择已充值的数字课程,单击“进入课程”即可开始课程学习。

二、配套资源

本书配套有《机械原理计算机辅助教与学 2.0》课件,读者可登录网站学习。

账号自登录之日起一年内有效,过期作废。

使用本账号如有任何问题,请发邮件至: ecourse@pub.hep.cn

第三版前言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是在邹慧君等主编的《机械原理》(第二版)的基础上修订而成。

机械原理课程是一门重要的基础技术课,其理论基础是机构与机器科学,阐述机构与机器设计的基本理论和基本方法,可以培养学生创新机器的思维和创新能力。

众所周知,在 18 世纪末期伴随着蒸汽机的诞生,出现了各种各样的机器。那时候的机器只是延展了人类的肌肉力量,但是它极大地提高了社会生产率,推动了社会的发展,展现了机器的重大作用。那时的机器实现了一定程度上的生产自动化,可以称之为机械自动化。这种自动化是比较初级的,它还是需要人类做出决定和发出指令。上述机器革命称为第一次机器革命,这一阶段所发明、创造的形形色色的机构及其组合集成是机器的核心,由此形成了第一次机器革命年代所独有的机构和机器的概念。机械原理的内容和体系基本上是从这一年代开始逐步形成的。

从 20 世纪 60 年代开始迄今,计算机、互联网、大数据技术等逐步发展和广泛应用,以此为基础进入了第二次机器革命时代,机器特征表现为人脑的拓展和延伸,形成了智能化机器。机器将会变得更加“聪明”、更加“优化”,实现生产过程的自动化。这种自动化可以称为智能自动化,这种自动化是比较高级的,机器可以代替人来作出决定和发出指令。很显然,第二次机器革命中,机构和机器的概念有了新的发展。智能化机器要求机构实现智能化的动作过程,于是出现了各种各样有别于传统机构的广义机构,它引入了柔性杆、弹性杆、柔顺杆等非刚性构件,使机构脱离了纯刚性的范畴,更具可变性和复杂性,从而使机构能实现更多的功能。它融合了控制技术,采用了多种驱动元件,使驱动元件的输出机械特性更加符合机构运动多变的输出要求。

由于第二次机器革命的来临,人们将会迎来创新各种各样崭新机器的高潮。在创新机器时,不但要创造和应用形形色色的新型机构,而且还要善于应用这些机构创新设计出具有新的工作机理的机器运动方案(机构系统方案)。因此,在机械原理课程中,创新机构类型和进行机构系统方案创新设计,应该同时得到重视。

根据机械原理课程独特的地位,考虑机构和机器的日益现代化以及机器创新时必须重视系统性和综合性。我们在编写本书时要求更加着力于课程内容和体系的改革,使本书成为一本具有较大改革力度的机械原理新教材,使机械原理课程不仅紧随时代步伐,同时满足科技发展需要。

本书主要内容如下:

1. 加强了机构设计—机构系统(机械运动方案)设计—机械动力学的新体系。全书共分三篇:第一篇机构设计,阐明各种典型机构和新颖机构的设计方法,夯实机械原理的基础;第二篇机构系统设计,阐明机械运动方案设计理论和方法,进行机械运动方案的创新设计,将机器创新与机构学紧密结合起来,发展了现代机构学;第三篇机械动力学,阐明机械运转和调速、机械平衡以及机械振动与隔离,以满足机器向高速、高精度、重载方向发展。

2. 加强了机构设计方法和新颖机构设计的现代化内容,特别是充实了广义机构一章的内容,有利于拓展学生的视野,开阔学生的思路。

3. 加强了机械运动方案设计内容,提出了具有机械产品特征的功能求解模型(即功能—工作机理—工艺动作过程—执行动作—执行机构的模型,简称为 F-W-P-A-M 功能求解模型)。阐明了机械产品创新设计方法,有利于在工程实际中应用,有利于培养学生创新机器的能力。

4. 为了提高学生的学习积极性和主动性,在书后附有《机械原理计算机辅助教与学 2.0》课件,将各章的重点和难点进行展示与分析。

5. 为了有利于学生较好地掌握本课程的基本理论、基本知识和基本技能,培养学生分析问题、解决问题的能力,本书在各章前加了提示,每章末附有思考题和习题。

参加本书修订的有上海交通大学邹慧君(第一、三、十二章)、上海交通大学郭为忠(第二、四、十一章)、上海交通大学梁庆华(第五、十三章)、华中科技大学杨家军(第六、七章)、上海交通大学张青(第八章)以及上海交通大学沈乃勲(第九、十章),并由上海交通大学邹慧君、郭为忠担任主编并统稿。

与本书配套的《机械原理计算机辅助教与学 2.0》课件是在国防科技大学潘存云教授主编的第一版基础上,由梁庆华负责补充修改,由邹慧君最终审定。

由于作者水平所限,不当之处在所难免,敬请广大读者不吝指正。

作者

2016 年 3 月

第二版前言

本书是面向 21 世纪课程教材、普通高等教育“十五”国家级规划教材,是在邹慧君等主编的《机械原理》第一版的基础上修订而成。

机械原理在国际上称之为机构学与机器科学,是机械工程的基础。机械原理的核心内容是研究机械产品概念设计阶段相关的机构设计和机构系统设计的基础理论和基本方法。机械产品概念设计最终结果是得到方案。机械运动方案体现了产品的功能和工作机理,是机械产品设计最富创造性的阶段。因此,机械原理课程对于培养学生的创新思维和创新设计能力是至关重要的。

由于计算机技术、控制技术和机电一体化技术等广泛应用,机械原理学科已有很大的发展,机构与机器的概念已有新的内涵。因此,机械原理课程的内容和体系也应有所发展。

目前,大家普遍认识到,机械产品创新的关键是它的工作原理、功能结构和运动方案的创新,并最终体现在机构类型和机构系统的创新上。国外不少机械产品的专利,它们大多创造和应用新的机构型式,采用新的工作原理方案。因此,机械原理课程可以在开发自主知识产权的机械产品中发挥十分重要的作用。

根据机械原理的地位、机构和机器的不断现代化以及它在自主创新设计中的作用,我们在编写本书时着力于内容和体系的改革,使本书成为一本具有较大改革力度的机械原理新教材。

本书主要特点如下:

1. 建立了机构设计—机构系统(机械运动方案)设计—机械动力学的新体系,全书共分三篇:第一篇机构设计,阐述各种典型机构和新颖机构的设计方法;第二篇机构系统设计,阐述机械运动方案设计理论和方法,进行方案的创新设计;第三篇机械动力学,阐述机械运转和调速、机械平衡以及机械振动与隔离等。

2. 加强机构设计内容,强调解析法,简化图解法,广泛应用计算机辅助设计。

3. 加强机械运动方案设计内容,阐明机械产品创新设计方法,培养学生创造机器的能力。

4. 增加了广义机构一章,阐述各种新颖机构的基本特征和应用,拓展学生视野,开阔学生思路,适应现代机器设计的需要。

5. 增加机械振动与隔离一章,适应机械产品向高速化方向发展的需要。

6. 为了提高学生的学习积极性和主动性,书后附有《机械原理计算机辅助教与学》光盘。

为了使学生较好地掌握本课程的基本理论、基本知识和基本技能,培养学生分析问题、解决问题的能力,本书在各章前加了提示,每章末附有思考题和习题。

参加本书修订的有上海交通大学邹慧君教授(第一、三、十二章)、华南理工大学李杞仪教授(第二章)、北京理工大学张春林教授(第四、十一、十三章)、华南理工大学罗雪波副教授(第五章)、华中科技大学杨家军教授(第六、七章)、上海交通大学郭为忠副教授(第八章)、上海交通大学沈乃勋副教授(第九、十章),并由邹慧君、张春林、李杞仪担任主编。全书由邹慧君统稿。

与本书配套的《机械原理计算机辅助教与学》课件由国防科技大学潘存云教授主编,郭克希、夏尊凤任副主编,易声耀、张湘、徐小军参编。本课件由邹慧君审阅。

本书承东南大学郑文伟教授精心审阅,提出了很多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

由于作者水平有限,不当之处在所难免,敬请各位教师和广大读者不吝指正。

作 者

2005年9月

第一版序

机械原理课程是机械类专业的一门重要的技术基础课程。随着科学技术的飞跃发展,机构、机器和机械的概念已有了新的拓宽和发展,机械工程学科也发生了广泛深刻的变化。针对这种情况,机械原理课程的内容与体系势必要求作出相应的改革。

本书是一本面向 21 世纪、具有较大改革力度的机械原理教材。它是由邹慧君、傅祥志、张春林和李杞仪等教授共同主编的,作者在认真总结近 20 年来我国机械原理课程改革经验的基础上,充分考虑 21 世纪机械产品创新设计的知识需要,对机械原理课程体系和内容进行了较大的改革。

为了使机械原理课程发挥更大的作用,本书一方面将机械原理课程的重要传统内容安排处理得更加符合机械产品概念设计的需要,另一方面又大量充实了机构及其系统创新的运动设计内容。这对于培养机械类专业学生的机械产品创新能力和科技发展适应能力,无疑是十分重要的。

本书在编写中比较注意知识面的扩大、三基(基本理论、基本知识和基本技能)的掌握以及实际问题能力的培养,这将对学生学习机械原理课程产生较好的效果。

我衷心祝贺机械原理课程新教材的编写出版。相信通过机械原理课程广大师生的教学实践,必将不断趋于完善。

中国工程院院士、北京航空航天大学教授

张启先

1998 年 10 月

目 录

第一章 绪论	1
§ 1-1 机械原理的研究对象及基本概念	1
§ 1-2 机械设计概述	3
§ 1-3 机械原理课程的地位和作用	5
§ 1-4 机械原理学科的发展动向	7
思考题	12

第一篇 机构设计

第二章 机构组成原理和类型综合	15
§ 2-1 机构的组成及运动简图	15
§ 2-2 机构的自由度计算及机构运动确定条件	22
§ 2-3 机构的高副低代、结构分析和组成原理	29
§ 2-4 机构类型综合	35
小结	38
思考题	38
习题	39
第三章 连杆机构设计和分析	44
§ 3-1 平面四杆机构的特点和基本形式	44
§ 3-2 平面连杆机构设计中的一些共性问题	48
§ 3-3 平面连杆机构运动设计的基本问题及应用	56
§ 3-4 刚体导引机构的设计	59
§ 3-5 函数机构的设计	70
§ 3-6 轨迹机构的设计	80
§ 3-7 多杆机构的设计和应用	82
§ 3-8 空间连杆机构的简介	87
§ 3-9 平面连杆机构的运动分析	89
§ 3-10 速度瞬心及其在平面机构速度分析中的应用	99
§ 3-11 平面连杆机构力分析的特点	103
小结	108

思考题	109
习题	110
第四章 凸轮机构及其设计	118
§ 4-1 概述	118
§ 4-2 从动件的运动规律	125
§ 4-3 凸轮轮廓曲线的设计	135
§ 4-4 凸轮机构基本尺寸的设计	145
§ 4-5 凸轮机构的受力分析	155
小结	160
思考题	160
习题	161
第五章 齿轮机构及其设计	166
§ 5-1 概述	166
§ 5-2 齿廓啮合基本定律及渐开线齿形	167
§ 5-3 渐开线圆柱齿轮各部分名称和尺寸	171
§ 5-4 渐开线直齿圆柱齿轮机构的啮合传动	174
§ 5-5 其他齿轮机构的啮合特点	189
§ 5-6 定轴轮系的传动比	204
§ 5-7 周转轮系的传动比及设计要点	208
§ 5-8 复合轮系的传动比	215
§ 5-9 其他类型齿轮传动简介	216
小结	222
思考题	223
习题	224
第六章 间歇运动机构	229
§ 6-1 槽轮机构	229
§ 6-2 棘轮机构	232
§ 6-3 不完全齿轮机构	235
§ 6-4 凸轮式间歇运动机构	237
§ 6-5 星轮机构	238
小结	240
思考题	241
习题	241
第七章 其他常用机构	243
§ 7-1 螺旋机构	243

§ 7-2 万向联轴节	246
§ 7-3 组合机构	249
§ 7-4 能实现特殊功能的机构	253
小结	255
思考题	256
习题	256
第八章 广义机构	258
§ 8-1 概述	258
§ 8-2 广义机构的基本特征与类型	262
§ 8-3 液动机构和气动机构	267
§ 8-4 电磁机构	270
§ 8-5 光电机构	272
§ 8-6 振动机构和惯性机构	273
§ 8-7 微位移机构	277
§ 8-8 柔顺机构	284
小结	291
思考题	291
习题	291
第二篇 机构系统设计	
第九章 工艺动作过程构思与运动协调设计	295
§ 9-1 工作原理设计和工艺动作设计	295
§ 9-2 工艺动作过程和运动规律设计	298
§ 9-3 执行机构的运动协调设计	307
§ 9-4 机械运动循环图设计	311
小结	320
思考题	321
习题	321
第十章 机械运动方案设计	323
§ 10-1 机构选型	323
§ 10-2 机构的创新设计	325
§ 10-3 机械运动方案的构思与拟定	338
§ 10-4 机械运动方案的评价体系和评价方法	342
§ 10-5 机械运动方案设计举例	349
小结	355

思考题	355
习题	356

第三篇 机械动力学

第十一章 机械的运转及其速度波动的调节	361
§ 11-1 概述	361
§ 11-2 机械系统的等效动力学模型	366
§ 11-3 机械系统的运动方程及其求解	372
§ 11-4 周期性速度波动及其调节	377
§ 11-5 非周期性速度波动及其调节	389
小结	391
思考题	391
习题	391
第十二章 机械振动及隔离	395
§ 12-1 概述	395
§ 12-2 转轴的横向振动	398
§ 12-3 转轴的扭转振动	403
§ 12-4 机械系统振动模型建立的基本原理	410
§ 12-5 机械系统的隔振和消振	417
小结	422
思考题	422
习题	423
第十三章 机械平衡	425
§ 13-1 概述	425
§ 13-2 刚性转子的平衡设计	427
§ 13-3 转子的平衡实验	434
§ 13-4 挠性转子的动平衡	440
§ 13-5 平面机构的平衡	441
小结	449
思考题	449
习题	450
参考文献	454

第一章

绪 论

本章介绍本课程的研究对象和主要内容,机构、机器、机械的基本概念和机械运动方案设计的基本要求。

§ 1-1 机械原理的研究对象及基本概念

机械原理又称为机器理论与机构学。

机械原理是研究机构和机器的运动及动力特性,以及机械运动方案设计的一门基础技术学科。它是机械设计理论和方法中的重要分支。机械原理的研究对象是机械,而机械是机构与机器的总称。

机器的种类繁多,如内燃机、拖拉机、起重机、金属切削机床、纺织机、缝纫机、包装机、电脑绣花机等。根据它们的组成、功用和运动的特点,进行概括和抽象,对机器可定义如下:机器是一种由人为物体组成的具有确定机械运动的装置,它用来完成一定的工作过程,以代替人类的体力劳动和脑力劳动。根据工作类型的不同,机器一般可以分为动力机器、工作机器和信息机器三类。

动力机器的功用是将任何一种能量转换成机械能,或者将机械能转换成其他形式的能量。例如,内燃机、压气机、涡轮机、电动机、发电机等都属于动力机器。

工作机器的功用是完成有用的机械功或搬运物品。例如,金属切削机床、轧钢机、织布机、包装机、汽车、机车、飞机、起重机、输送机等都属于工作机器。

信息机器的功用是完成信息的传递和转换。例如,复印机、打印机、绘图机、传真机、照相机等都属于信息机器。

现代机器通常由控制系统、信息测量和处理系统、动力部分、传动部分及执行机构系统等组成的现代机械系统。其中控制和信息处理是由计算机来完成的,使机器成为机电一体化系统,它在本质上还是机械。例如,加工中心、机器

人、全自动照相机等。

不管现代机器如何先进,机器与其他装置的主要不同点是产生确定的机械运动,完成有用的工作过程。因此,实现机械运动的执行机构系统是机器的核心,机器中各个机构通过有序的运动和动力传递来最终实现功能转换、完成自己的工作过程。机器中的运动单元体称为构件。因此,机构是把一个或几个构件的运动,转换成其他构件所需的具有确定运动的构件系统。从现代机器发展趋势来看,机构中的各构件可以都是刚性的,也可以某些构件是挠性的或弹性的,还可以是由上述构件与液压、气动、弹簧、电磁元件相融的。现代机器中的机构不再是纯刚性构件的机构。

在机构中给定运动的构件称为输入构件,又称为主动件;完成执行动作的构件称为输出构件,又称为执行构件。

机器的类型虽然很多,但组成各种机器的基本机构的种类却并不多。对于刚性构件机构,最常用的机构有连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇运动机构等。如图 1-1 所示,内燃机是由曲柄滑块机构(属连杆机构)1-2-3-4、齿轮机构 1-4-5-6 及凸轮机构 4-5'-7 及 4-6'-8 组成的,其中构件 5 和 5'、6 和 6' 各为同一个构件。图 1-2 所示的化妆品冷霜灌装机,主要由曲柄滑块机构 1-2-3-4、凸轮机构 1-5-6、凸轮机构 1-7-8、凸轮机构 1-9-10、槽轮机构 1-11-12、齿轮机构 1-13-14-15-16-17 等组成。通过这些机构完成进盒、灌装、加面纸、加盖、出成品等动作。

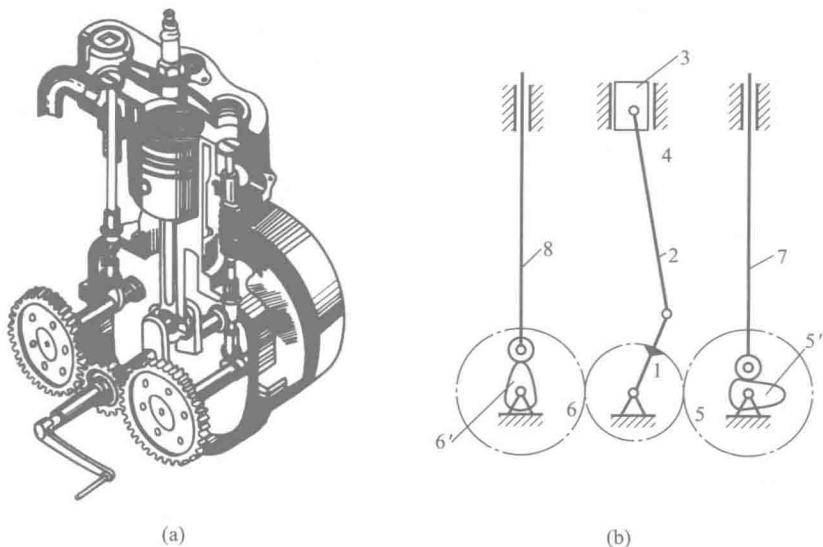


图 1-1 内燃机

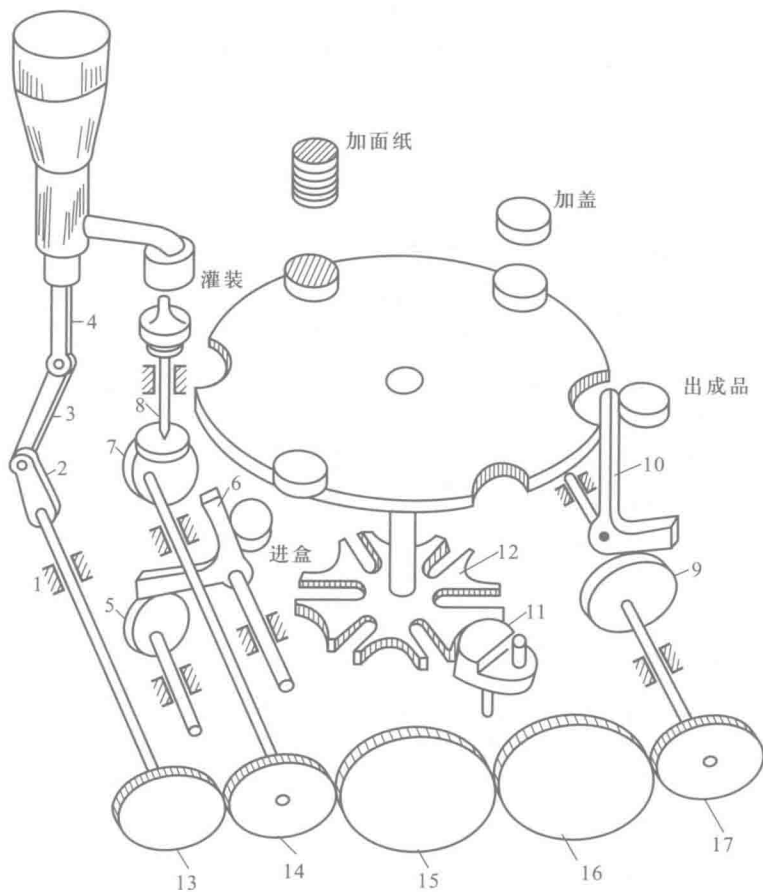


图 1-2 化妆品冷霜灌装机

§ 1-2 机械设计概述

一、机械设计的一般进程

机械设计过程并没有一个通用的固定顺序,而必须按具体情况确定。机械设计的一般进程,可分为产品规划、方案设计、详细设计和改进设计四个阶段。现分述如下。

1. 产品规划阶段

这一阶段的中心任务是进行需求分析、市场预测、可行性分析,确定设计参

数及制约条件,最后给出详细的设计任务书(或要求表),作为设计、评价和决策的依据。产品开发是从需求识别开始的,不但要开发显需求的产品,而且要开发隐需求的产品。

2. 方案设计阶段

市场需求的满足或适应,是以产品的功能来体现的。产品功能与产品设计是因果关系。体现同一功能的产品,可以是多种多样的。方案设计阶段要完成产品功能分析、功能原理求解和评价决策以得到最佳功能原理方案,并由此最后完成机械运动方案的设计。产品方案的好坏,决定着产品性能和成本,关系到产品的水平和竞争能力,因此,它是产品设计的关键。由此可见,机械原理课程内容将为方案设计提供设计理论和方法。

3. 详细设计阶段

这一阶段是将机械运动简图具体化为机器及零部件的合理结构,也就是要完成产品的总体设计、部件和零件的设计,完成全部生产图纸并编制设计说明书等有关技术文件。在此阶段中,零部件的结构形状、装配关系、材料选择、尺寸大小、加工要求、表面处理、总体布置等设计合理与否,对产品的技术性能和经济指标都有着直接的影响。

4. 改进设计阶段

这一阶段的主要任务是根据产品在试验、使用、鉴定中所暴露的问题,进一步作相应的技术完善工作,使产品的效能、可靠性和经济性得到提高,更具生命力。

二、机械运动方案设计的主要内容

在机械设计过程中根据产品功能要求、工作性质和工作过程等基本要求进行新机械的方案设计,愈来愈受到产品设计人员的重视。在方案设计阶段应该完成机械运动简图的设计。所谓机械运动简图设计,就是按机械的工作过程和动作要求设计出由若干机构组成的机构系统运动简图。一般情况下,它往往是机械最核心的部分。

机械运动方案(机械运动简图)的设计主要包括下列两部分。

1. 机械运动简图的型综合

它是按工作过程和工艺动作要求来确定若干个执行动作;根据执行动作要求选择各个执行机构的机构型式(或创造一些新机构);将这些机构组合成一个机构系统。这就是机械运动简图的型综合。

2. 机械运动简图的尺度综合

它是按初步确定的机构系统的机构型式,根据各执行构件的运动规律要求