



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
北京高等教育精品教材



# Fundamentals of Mechanical Design

## 机械设计基础

第③版

王大康 © 主 编

韩泽光 傅燕鸣 © 副主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
北京高等教育精品教材

# 机械设计基础

第3版

主 编 王大康  
副主编 韩泽光 傅燕鸣  
参 编 李 艳 高国华 房树福  
      张 明 郑树琴 王东风  
主 审 吴宗泽 卢颂峰



机械工业出版社

本书在满足各有关专业对机械设计基础（非机械类）课程要求的前提下，贯彻少而精、广而浅的原则，力求重点突出、繁简得当、语言通达。书中采用最新国家标准，同时对有关章节作了适当的合并，对复杂的公式进行了合理简化。全书共 14 章，内容包括：绪论，平面机构的结构分析，平面连杆机构，凸轮机构，间歇运动机构，机械的调速与平衡，连接，挠性传动，啮合传动，轮系，轴，轴承，联轴器、离合器和制动器，弹簧。书后附有光盘版的学习指南，对教材中的重点和难点作了进一步说明，同时还编入了大量复习题以供学习时参考。

本书可作为高等院校本、专科学生学习非机械类机械设计基础课程的教材，也可供有关工程技术人员参考使用。

## 图书在版编目（CIP）数据

机械设计基础/王大康主编. —3 版. —北京：机械工业出版社，2014.5  
普通高等教育“十一五”国家级规划教材 北京高等教育精品教材  
ISBN 978-7-111-45877-7

I. ①机… II. ①王… III. ①机械设计—高等学校—教材  
IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 030165 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：刘小慧 责任编辑：刘小慧 安桂芳 冯 钺

版式设计：霍永明 责任校对：张晓蓉

封面设计：张 静 责任印制：李 洋

三河市宏达印刷有限公司印刷

2014 年 8 月第 3 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 16.75 印张 · 401 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-45877-7

ISBN 978-7-89405-481-4（光盘）

定价：38.80 元（含 1CD）

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010)88361066 教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010)68326294 机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010)88379649 机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

# 高等院校现代机械设计系列教材

## 编 委 会

主任委员	清华大学	吴宗泽
副主任委员	北京工业大学	王大康
	北京科技大学	罗圣国

委 员 （按姓氏笔画为序）

北京理工大学	万小利
北京航空航天大学	王之栎
北京信息科技大学	王科社
清华大学	刘莹
机械工业出版社	刘小慧
北京化工大学	张有忱
中国农业大学	张淑敏
北京科技大学	李威
装甲兵工程学院	崔玉莲

# 序 言

为了满足 21 世纪我国社会主义现代化建设和科学发展的需要，培养具有较宽知识结构和扎实理论基础的复合型人才，高等机械工程教育需要按照“教育要面向现代化、面向世界、面向未来”的方针，在教育思想、教学内容和教学方法等方面进行全方位的改革。

机械设计系列课程在机械工程学科中占有重要地位，它是面向工科相关专业课程改革的重要组成部分，而教材建设又是教学改革的核心。为此，北京市高等教育学会机械设计分会组织北京市和外省市部分院校有丰富教学经验的教师，采取老、中、青相结合的方式，编写了这套现代机械设计系列教材。该系列教材按照教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的精神组织实施，充分反映了高等工业院校机械工程学科的发展和机械设计系列课程改革的成果，其主要特点为：

1. 本系列教材总结了各院校近年来机械设计系列课程教学改革的经验和方法，教材内容编排合理，注重理论联系实际、便于教师教学和学生学习。

2. 本系列教材在体系上作了科学的分工，注重教材内容的创新性和系列教材的整体性，既体现了传统的教学内容，又立足于创新，增加了反映本学科发展的部分新内容。

3. 本系列教材是一套较为完整的系统教学用书，通过学习可以达到整体优化学生的知识、能力和素质的目的，可供不同专业、不同办学方式的学校选用。

4. 本系列教材注重拓宽基础知识，加强工程背景和培养学生的工程实践能力，以期形成一个适应 21 世纪我国现代化建设和市场经济发展的教材体系。

5. 为配合各校开展 CAI 教学，便于指导学生学习的，在多数教材中配备了光盘。

本系列教材自问世以来，已有四本教材被列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材，四本教材被评为北京市精品教材。我们殷切希望这套系列教材能够得到各校师生的关心和帮助，在实际使用中不断进行修订和完善，为我国高等工程教育和机械类人才的培养作出积极的贡献。

北京市高等教育学会机械设计分会  
高等院校现代机械设计系列教材编委会

# 第3版前言

本书是根据2012年教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会编制的《机械设计基础课程教学基本要求》的精神，由北京市高等教育学会机械设计分会组织部分高校具有教学经验的教师，采用新老结合的方式编写的高等院校现代机械设计系列教材之一。

“机械设计基础”课程是高等院校非机类专业的一门重要的技术基础课程，在培养学生的机械设计和分析能力方面具有重要的作用。为了适应各学校非机类专业教学体系及教学内容改革的需要，本书在满足相关专业对本课程要求的基础上，注意更新教学内容，加强素质教育，突出创新能力的培养；拓宽知识面，力求重点突出、繁简得当、语言通达。本书编写时突出了高等院校应用型人才培养的特点，使教材内容更贴近工程实践，可作为高等工业院校各相关专业“机械设计基础”课程的教材，也可供有关专业师生和工程技术人员参考。

本书的特点是：

1) 从工程实际和机械系统整体考虑，将机械原理和机械设计的内容有机地整合在一起，突破了原有课程的界限，加强了机械设计理论和实践的联系，有利于培养学生分析问题和解决问题的能力。

2) 适应当今学科交叉的发展趋势，在机械创新思维的基础上，注意引进现代科技发展的新知识、新技术，如新型材料的介绍，激发学生的创新欲望，开阔学生的创新思路。

3) 在教材体系和内容安排上符合学生的认知规律和课程的教学规律，突出教材的实用性；在内容编排上，以工程实际需要为原则，注重学生创新意识和设计能力的训练和培养，特别注意加强机械设计中结构设计内容。

4) 本书采用新近颁布的国家标准、规范和资料，采用了国家标准规定的名词、术语和符号。另外，对复杂的公式进行了合理简化，以使计算较为方便。

5) 本书附有光盘版的学习指南，其中包含各章的学习要求、重点和难点内容剖析、典型实例分析和自测验题等，以供学习时参考。

参加本书第3版编写的有北京工业大学王大康、高国华（第一～第六章），北京印刷学院李艳（第七、八章），沈阳建筑大学韩泽光（第九～十二章），上海大学傅燕鸣（第十三、十四章）。由王大康担任主编，韩泽光、傅燕鸣担任副主编。

本书第3版由清华大学吴宗泽教授和卢颂峰教授担任主审，他们对本书进行了详细审阅，提出了许多宝贵意见，对保证本书质量起到了很大作用，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，真诚希望广大读者给予批评指正。

编者

# 第2版前言

本书在2003年第1版的基础上,根据教育部组织实施的“高等教育面向21世纪教学内容和课程体系改革计划”中“工程制图与机械基础系列课程体系改革的研究与实践”和“机械设计基础课程教学基本要求”(1995年修订版)的精神,由北京市高等教育学会机械设计分会组织部分高校具有教学经验的教师,采用新老结合的方式编写的高等院校现代机械设计系列教材之一。本书2004年被评为北京高等教育精品教材,2007年被列入普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

“机械设计基础”课程是高等工科院校非机类专业的一门重要的技术基础课程,在培养学生的机械设计和分析能力方面具有重要的作用。本书在满足相关专业对本课程要求的基础上,注意更新教学内容,加强素质教育,突出创新能力的培养;拓宽知识面,力求重点突出、繁简得当、语言通达;本书采用了新近颁布的国家标准;另外对复杂的公式进行了合理简化,以使计算较为方便。本书具有以下特色:

1) 适应当今学科交叉的发展趋势,在机械创新思维的基础上,突出机械设计在电子信息、工业设计、材料科学等领域的应用范例,以开阔学生的思路。

2) 突出教材的实用性。从整机出发,介绍常用机械零件的设计方法,将传动零件设计整合为挠性传动和啮合传动设计,使学生在学习中能够相互联系,举一反三。

3) 引进现代科技发展的新知识、新热点,如新型材料的发现、微型机械的发展、信息技术的创新等,激发学生的创新欲望。

4) 每章节后附以习题或思考题以便学生在学习过程中实际参与机械设计实践。

5) 本书附有配套光盘的学习指南,其中包含各章的学习要求,重点和难点内容剖析,典型实例分析和自测验题等,以供学习时参考。

参加本书第2版编写的有:北京工业大学王大康、房树福,北京印刷学院李艳,沈阳建筑大学韩泽光,太原理工大学张明、郑树琴、王东风,上海大学傅燕鸣。由王大康和韩泽光担任主编。

本书由清华大学吴宗泽教授和卢颂峰教授担任主审,他们对本书进行了详细审阅,提出了许多宝贵意见,对保证本书质量起了很大作用,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不足之处,真诚希望广大读者给予批评指正。

编者

# 第 1 版前言

本书是根据教育部组织实施的“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”中“工程制图与机械基础系列课程体系改革的研究与实践”和“机械设计基础课程教学基本要求”（1995 年修订版）的精神，由北京市高等教育学会机械设计分会组织部分高校具有教学经验的教师，采用新老结合的方式编写的高等院校现代机械设计系列教材之一。

“机械设计基础”课程是高等工科院校非机类专业的一门重要的技术基础课程，在培养学生的机械设计和分析能力方面具有重要的作用。本书在满足相关专业对本课程要求的基础上，注意更新教学内容，加强素质教育，突出创新能力的培养；拓宽知识面，力求重点突出、繁简得当、语言通达；本书采用了新近颁布的国家标准；另外，对复杂的公式进行了合理简化，以使计算较为方便。

本书还附有配套光盘作为学习指南，其中包含各章的学习要求，重点和难点内容剖析，典型实例分析和自测题等，以供学习时参考。

参加本书编写的有北京工业大学王大康、房树福，北京机械工业学院滕启，太原理工大学韩泽光、张明、郑树琴、王东风，上海大学傅燕鸣和北京印刷学院李艳。由王大康担任主编，滕启、韩泽光担任副主编。

本书由清华大学吴宗泽教授担任主审，他对本书进行了详细审阅，提出了许多宝贵意见，对保证本书质量起了很大作用，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有错误和不足之处，真诚希望广大读者给予批评指正。

**编 者**



# 目 录

序言	
第3版前言	
第2版前言	
第1版前言	
第一章 绪论	1
第一节 机械的组成	1
第二节 机械设计的基本要求和一般步骤	3
第三节 机械零件的主要失效形式和设计准则	5
第四节 机械零件的设计方法	7
第五节 机械零件的常用材料和选择原则	9
第六节 机械零件的制造工艺性及标准化	15
第七节 本课程的内容、性质和任务	16
习题	17
第二章 平面机构的结构分析	18
第一节 平面机构的组成	18
第二节 平面机构的运动简图	20
第三节 平面机构的自由度	23
习题	27
第三章 平面连杆机构	29
第一节 铰链四杆机构的基本形式及应用	29
第二节 铰链四杆机构的传动特性	32
第三节 铰链四杆机构的曲柄存在条件	34
第四节 铰链四杆机构的演化	35
第五节 平面四杆机构的设计	37
习题	40
第四章 凸轮机构	42
第一节 凸轮机构的应用和分类	42
第二节 从动件的常用运动规律	44
第三节 按已知运动规律绘制平面凸轮轮廓	46
习题	49
第五章 间歇运动机构	53
第一节 棘轮机构	53
第二节 槽轮机构	56
第三节 其他间歇运动机构	58
习题	59
第六章 机械的调速与平衡	60
第一节 机械速度波动的调节	60
第二节 机械的平衡	63
习题	64
第七章 连接	66
第一节 螺纹	67
第二节 螺旋副的受力分析、效率和自锁	71
第三节 螺纹连接	73
第四节 螺纹连接的预紧和防松	75
第五节 螺纹连接的强度计算	77
第六节 螺纹连接件的材料及许用应力	80
第七节 提高螺栓连接强度的措施	83
第八节 轴毂连接	85
习题	92
第八章 挠性传动	94
第一节 带传动概述	94
第二节 带传动的工作情况分析	95
第三节 V带传动的设计	98
第四节 V带轮的设计	106
第五节 带传动的张紧、使用和维护	108
第六节 其他带传动简介	110

第七节 链传动概述 .....	111	第二节 轴的材料 .....	183
第八节 链传动的工作情况分析 .....	113	第三节 轴的结构设计 .....	184
第九节 滚子链传动的设计 .....	116	第四节 轴的设计计算 .....	188
第十节 滚子链链轮 .....	120	习题 .....	196
第十一节 链传动的布置、张紧和润滑 .....	122		
习题 .....	124	第十二章 轴承 .....	197
第九章 啮合传动 .....	126	第一节 滑动轴承概述 .....	197
第一节 齿轮传动概述 .....	126	第二节 滑动轴承的典型结构 .....	199
第二节 渐开线及渐开线齿轮 .....	128	第三节 轴瓦 .....	201
第三节 一对渐开线齿轮的啮合 .....	131	第四节 滑动轴承的润滑 .....	203
第四节 渐开线齿轮轮齿的加工和根切现象 .....	134	第五节 非液体摩擦滑动轴承的计算 .....	206
第五节 齿轮传动的失效形式及设计准则 .....	137	第六节 滚动轴承的类型、代号和选择 .....	209
第六节 齿轮的常用材料及精度选择 .....	140	第七节 滚动轴承的失效形式和选择计算 .....	214
第七节 直齿圆柱齿轮传动的受力和强度计算 .....	142	第八节 滚动轴承的组合设计 .....	221
第八节 斜齿圆柱齿轮传动 .....	147	习题 .....	226
第九节 锥齿轮传动 .....	152	第十三章 联轴器、离合器和制动器 .....	227
第十节 齿轮的结构设计 .....	156	第一节 联轴器 .....	227
第十一节 蜗杆传动 .....	158	第二节 离合器 .....	235
习题 .....	168	第三节 制动器 .....	239
		习题 .....	241
第十章 轮系 .....	170	第十四章 弹簧 .....	243
第一节 概述 .....	170	第一节 弹簧的功用与类型 .....	243
第二节 定轴轮系的传动比 .....	171	第二节 弹簧的制造、材料与许用应力 .....	245
第三节 周转轮系的传动比 .....	173	第三节 圆柱螺旋压缩和拉伸弹簧的设计 .....	247
第四节 轮系的应用 .....	175	第四节 其他弹簧简介 .....	254
第五节 几种特殊的行星传动简介 .....	177	习题 .....	255
习题 .....	179		
第十一章 轴 .....	181	参考文献 .....	257
第一节 概述 .....	181		

# 第一章 绪 论

## 第一节 机械的组成

人类为了满足生产和生活的需要,设计和制造出各种各样的机械,用以减轻人的劳动强度,改善劳动条件,提高劳动生产率,创造出更多的物质财富,丰富人们的物质和文化生活。因此,国民经济各部门使用机械的程度是衡量一个国家社会生产力发展水平的重要标志。

机械设计基础课程的研究对象是机械,而机械是机器和机构的总称。

### 一、机器

人类在长期的劳动中创造出了许多机器。根据用途的不同,可将它们分为用来实现将其他形式的能变换为机械能的动力机器,如电动机、内燃机、液压机等;用来加工物料的工作机器,如金属切削机床、压力机、颚式破碎机等;用来搬运物料的起重、运输机器,如飞机、汽车、起重机等;用来获取信息的机器,如照相机、打印机、录像机等。虽然机器的种类繁多,形状各异,用途不同,但是它们都具有一些共同的特征。

图 1-1 所示为内燃机,它由气缸体(机架)1、活塞2、连杆3、曲轴4、齿轮5和6、凸轮7和顶杆8等组成。当内燃机工作时,燃气推动活塞作往复移动,经连杆使曲轴作旋转运动。凸轮与顶杆用来控制进气和排气。曲轴经齿轮5和6带动凸轮轴转动,曲轴每转两周,进、排气门各启闭一次。内燃机主要由连杆机构(机架1、活塞2、连杆3、曲轴4)、凸轮机构(凸轮7、顶杆8和机架1)、齿轮机构(齿轮5、6和机架1)等机构组成。

图 1-2 所示为压力机,它由电动机1、带轮2和3、连杆4、曲轴5、齿轮6和7、滑块8等组成。电动机经带传动机构和齿轮传动机构减速后,带动曲轴转动,又经连杆带动滑块作往复移动,实现对物料的压力加工。综上所述,压力机主要由带传动机构(带轮2、3和机架)、齿轮机构(齿轮6、7和机架)、连杆机构(连杆4、曲轴5、滑块8和机架)等机构组成。

通过以上两实例可以看出,机器具有以下共同特征:

- 1) 机器的主体是若干机构的组合。
- 2) 用于传递运动和动力。
- 3) 具有变换或传递能量、物料或信息的功能。

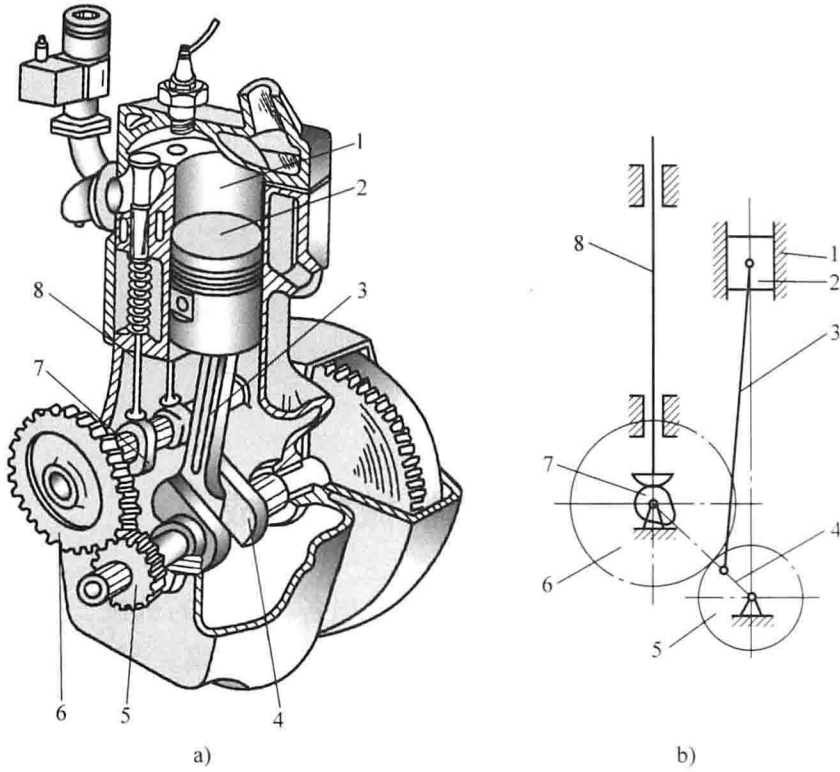


图 1-1 内燃机

a) 结构图 b) 机构运动简图

1—气缸体(机架) 2—活塞 3—连杆 4—曲轴 5、6—齿轮 7—凸轮 8—顶杆

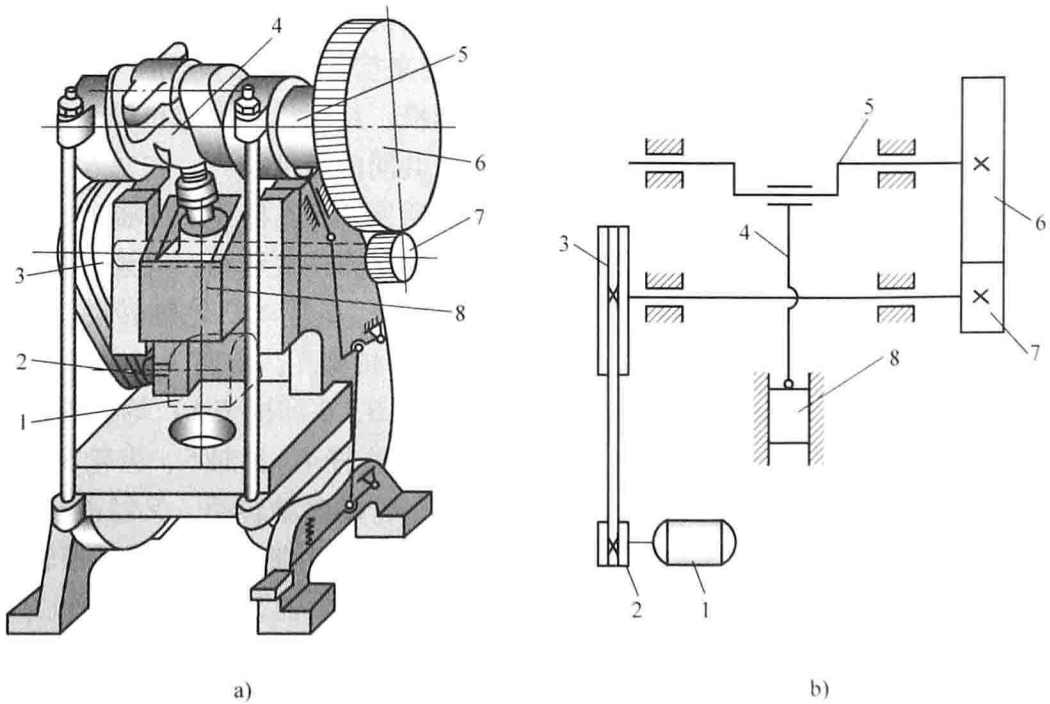


图 1-2 压力机

a) 结构图 b) 机构运动简图

1—电动机 2、3—带轮 4—连杆 5—曲轴 6、7—齿轮 8—滑块

## 二、机构

通过以上两实例还可以看出,机构是若干构件的组合,各构件间具有确定的相对运动。例如,在内燃机中,曲轴、连杆、活塞和机架组成连杆机构;凸轮、顶杆和机架组成凸轮机构;齿轮5、6和机架组成齿轮机构。在压力机中,具有带传动机构、齿轮机构和连杆机构。机器中常用的机构有连杆机构、凸轮机构、齿轮机构和间歇运动机构等。

## 三、构件和零件

机构中作相对运动的各个运动单元称为构件。构件可以是单一的零件,如曲轴(图1-3),也可以是由几个零件组成的刚性体,如连杆(图1-4)。

零件是机器中的制造单元。零件分为两类:一类是各种机器中普遍使用的零件,称为通用零件,如螺栓、键、带轮、齿轮等;另一类是特定类型机器中所使用的零件,称为专用零件,如内燃机中的活塞、洗衣机中的波轮、风扇中的叶轮等。

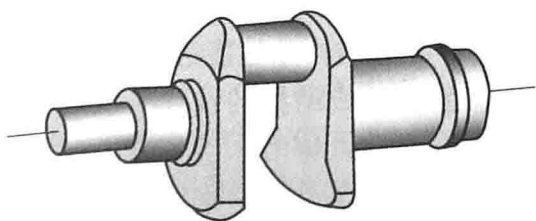


图1-3 曲轴

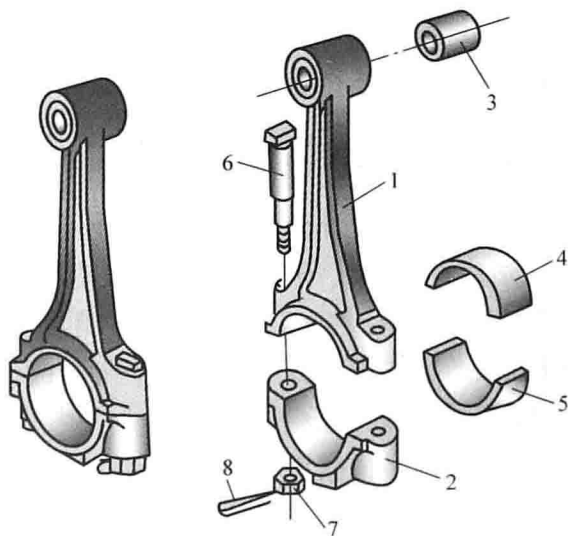


图1-4 连杆

1—连杆体 2—连杆盖 3、4、5—轴瓦  
6—螺栓 7—螺母 8—销

## 第二节 机械设计的基本要求和一般步骤

### 一、机械设计的基本要求

机械设计的目的是根据用户的需求,创造性地设计和制造出具有预期功能的新机械或改进现有机械的功能。

机械设计应满足的基本要求主要有以下几方面:

#### 1. 使用要求

所设计的机械要求实现预期的使用功能。为此,必须确定机械的工作原理和实现工作原理的机构组合。

## 2. 经济性要求

机械的经济性应该体现在设计、制造和使用的全过程。设计经济性体现在降低机械成本和采用先进的设计方法以缩短设计周期等；制造经济性体现在省工，省料，加工、装配简便和缩短制造周期等；使用经济性体现在高生产率、高效率、低消耗及管理、维修费用低等。

## 3. 人、机和环境要求

所设计的机械应使人、机和环境所组成的系统相互协调。即要保证人、机安全；要根据人的生理条件改善操作环境；要尽量减少或避免机械对环境的污染，节能减排；要重视外形和色彩方面的要求；要提高商品意识，加强产品的市场竞争能力和售后服务等。

## 4. 可靠性要求

机械的可靠性是指机械在规定的条件下和规定的使用期限内，完成规定功能的一种特性。机械的可靠性取决于设计、制造、管理、使用等各阶段。设计、制造阶段对机械的可靠性起着决定性的影响，产品的固有可靠性是在设计、制造阶段确定的。而管理、使用等环节所采取的措施，只能用来保证而不能超过设计、制造阶段确定的固有可靠性。

## 5. 其他要求

在满足以上基本要求的前提下，不同的机械还有一些特殊的要求，例如，机床有长期保持精度的要求；飞机有减轻重量的要求；食品机械有防止污染的要求等。

# 二、机械设计的一般步骤

机械产品的设计分为开发性设计（应用新原理、新技术、新工艺对产品进行全新的设计）、适应性设计（根据生产部门和使用部门的要求，对产品的结构和性能进行改进设计）、变型性设计（不改变工作原理和功能要求，仅改变产品的参数或结构的设计）三种类型。一般机械产品的设计分为以下几个阶段：

### 1. 产品规划阶段

产品规划是根据市场预测、用户需求调查和可行性分析，制定出机器的设计任务书。任务书中应规定机器的功能、主要参数、工作环境、生产批量、预期成本、设计完成期限以及使用条件等。

### 2. 方案设计阶段

方案设计是影响机械产品结构、性能、工艺、成本的关键环节，也是实现机械产品创新的重要阶段。方案设计是在功能分析的基础上，确定机器的工作原理和技术要求，拟定机器的总体布置、传动方案和机构运动简图等，经优化筛选，从多种方案中，选取较理想的方案。

### 3. 技术设计阶段

该阶段的主要任务是将机械的功能原理方案具体化为机器及零部件的合理结构。其主要工作包括总体设计、结构设计、商品化设计、模型试验等。总体设计是确定机械各部件的总体布置、运动配合和人—机—环境的合理关系等；结构设计是选择材料，确定零部件的合理结构；商品化设计是提高产品的商品价值以吸引用户，如进行价值设计、工业造型设计及包装设计等；模型试验是检查机械的功能及零部件的强度、刚度、运转精度、振动稳定性和噪声等性能是否满足设计的要求；编制设计图样和技术文件。

#### 4. 施工设计阶段

根据技术设计阶段提供的图样和技术文件试制样机,对样机进行相关试验,并根据样机存在的问题,对原设计方案进行修改完善。按照修改后的设计图样和技术文件,制定产品工艺规划,完成生产准备。

#### 5. 投产和售后服务

组织产品生产,投放市场,完善售后服务工作,并通过售后服务,发现用户在产品使用过程中出现的问题和市场变化情况,为产品的改进设计提供依据。

最后完成全部设计图样并编制设计计算说明书和使用说明书等技术文件。

### 第三节 机械零件的主要失效形式和设计准则

#### 一、机械零件的主要失效形式

机械零件由于各种原因造成丧失正常工作能力的现象称为失效。因此,在预期工作寿命期间防止失效,保证机械正常工作是机械零件设计的目的。机械零件的主要失效形式有:

##### 1. 断裂

零件在外载荷作用下,某一危险截面上的应力超过零件的抗拉强度时,会造成断裂失效。在循环变应力作用下长时间工作的零件,容易发生疲劳断裂,例如,齿轮轮齿根部的折断、轴的断裂等。

##### 2. 过大的残余变形

零件受载后会产生弹性变形。过量的弹性变形会影响机器的精度,对高速机械有时还会造成较大的振动。零件的应力如果超过了材料的屈服强度,将产生残余塑性变形,使零件的尺寸和形状发生永久的改变,致使破坏各零件的相对位置和配合,使机器不能正常工作。

##### 3. 表面失效

磨损、腐蚀和接触疲劳等都会导致零件表面失效。它们都是随工作时间的延续而逐渐发生的失效形式。处于潮湿空气中或与水、汽及其他腐蚀介质接触的金属零件,均有可能产生腐蚀失效。有相对运动的零件接触表面都会有磨损。在接触变应力作用下工作的零件表面将可能发生疲劳点蚀。

##### 4. 破坏正常工作条件而引起的失效

有些零件只有在一定条件下才能正常工作。如带传动,只有当传递的有效圆周力小于带与带轮间的最大静摩擦力时才能正常工作;液体摩擦的滑动轴承只有在保持完整的润滑油膜时才能正常工作等。如果破坏了这些条件,将会发生失效。例如,带传动将发生打滑失效,滑动轴承将发生过热、胶合、过度磨损等形式的失效。

#### 二、机械零件的设计准则

根据零件的失效分析,设计时在不发生失效的条件下,零件所能安全工作的限度,称为工作能力或承载能力。针对不同失效形式建立的判定零件工作能力的条件,称为工作能力设计准则。机械零件设计时的主要设计准则有:

### 1. 强度准则

零件因强度不足而失效，将破坏机械的正常工作，甚至可能造成设备、人身事故。整体静强度不足，将使零件发生断裂和塑性变形；表面静强度不足，将使零件表面压溃或产生塑性变形；整体或表面疲劳强度不足，将使零件发生疲劳断裂或表面疲劳点蚀。机械零件设计的强度准则是：零件在外载荷作用下所产生的最大应力  $\sigma$  不超过零件的许用应力  $[\sigma]$ 。其表达式为

$$\sigma \leq [\sigma] = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{S} \quad (1-1)$$

式中， $\sigma_{\text{lim}}$ 为材料的极限应力（MPa），按零件的工作条件和材料的性质等取值，对受静应力的脆性材料，主要失效形式是断裂， $\sigma_{\text{lim}}$ 取抗拉强度  $R_m$ ；对受静应力的塑性材料，主要失效形式是塑性变形， $\sigma_{\text{lim}}$ 取屈服强度  $R_{eH}$ ； $S$ 为安全系数，根据材料的均匀性、计算公式和原始数据的可靠程度，以及机械零件的重要性等取值。

### 2. 刚度准则

零件在载荷作用下将产生弹性变形。限制某些零件（如机床主轴和发动机凸轮轴）受载后产生的弹性变形量  $y$  不超过机器正常工作所允许的弹性变形量  $[y]$ ，就是机械零件设计的刚度准则。其表达式为

$$y \leq [y] \quad (1-2)$$

弹性变形量  $y$  可按理论计算或实验方法确定，而许用变形量  $[y]$  则应随不同的使用场合，按理论或经验确定其合理数值。

### 3. 寿命准则

影响零件寿命的主要因素是磨损、腐蚀和疲劳。

耐磨性是指零件抗磨损的能力。为了保证零件具有良好的耐磨性，应根据摩擦学原理设计零件的结构，选定摩擦副材料和热处理方式，同时注意合理润滑，以延长零件的使用寿命。零件寿命通常是以满足使用寿命时的疲劳极限作为计算的依据。迄今为止，尚无实用的腐蚀寿命计算方法。

### 4. 振动稳定性准则

机器在运转过程中的轻微振动不妨碍机器正常工作，但剧烈的振动会影响机器的工作质量和旋转精度。如果某一零件的固有频率与机器的激振频率重合或成整数倍关系时，零件就会产生共振，致使零件甚至整个机器损坏。因此，设计时要使机器中受激振作用的各零件的固有频率与激振频率错开，以避免产生共振，限制噪声。

### 5. 热平衡准则

机器工作时，由于工作环境或零件本身的发热，会使零件温度升高，如散热不良，将会改变零件的结合性质，破坏正常的润滑条件，甚至导致金属局部熔融而产生胶合。为满足热平衡准则，应对发热较大的零件进行热平衡计算，控制其工作温度，采取降温措施或采用耐高温材料。

### 6. 可靠性准则

可靠性是保证机械零件正常工作的关键。可靠性的衡量尺度是可靠度。产品在规定的条件下和规定的时间内，完成规定功能的概率称为可靠度。由许多零部件组成的机器的可靠度取决于零部件的可靠度的组合关系。



同一种零件可能有几种不同的失效形式, 对应于各种失效形式有不同的工作能力计算准则, 设计时, 应比较满足零件上述准则的各种工作能力, 取其较小者作为设计依据。

### 三、机械零件设计的一般步骤

机械零件设计的一般步骤为:

- 1) 根据零件的使用要求, 选择零件的类型并设计零件的结构。
- 2) 根据零件的工作条件及对零件的特殊要求, 选择适用的材料和热处理方式。
- 3) 根据零件的工作情况建立零件的计算简图, 计算作用在零件上的载荷。
- 4) 分析零件工作时可能出现的失效形式, 确定满足零件工作能力的设计准则, 并计算出零件的主要尺寸。
- 5) 根据工艺性及标准化等原则, 进行零件的结构设计。
- 6) 绘制出零件工作图, 编制设计计算说明书。

## 第四节 机械零件的设计方法

机械设计中的常用设计方法有常规设计方法和现代设计方法两大类。

### 一、常规设计方法

常规设计方法是以经验总结为基础, 以力学分析或实验而形成的公式、经验数据、标准和规范作为设计依据, 采用经验公式、简化模型或类比等进行设计的方法。机械设计中的常规设计方法又可分为以下三种:

#### 1. 理论设计

按照机械零件的结构及其工作情况, 将其简化成一定的物理模型, 运用力学、热力学、摩擦学等理论推导出来的设计公式和实验数据进行的设计称为理论设计。这些设计公式有两种不同的使用方法:

- (1) 设计计算 按设计公式直接求得零件的主要尺寸。
- (2) 校核计算 已知零件的各部分尺寸, 校核其是否能满足有关的设计准则。

#### 2. 经验设计

根据对同类零件已有的设计与使用实践, 归纳出经验公式和数据, 或者用类比法进行的设计, 称为经验设计。对于某些典型零件, 这是很有效的设计方法。经验设计也用于某些目前尚不能用理论分析的零件设计中。

#### 3. 模型实验设计

对于尺寸很大、结构复杂、工况条件特殊、又难以进行理论设计和经验设计的重要零件, 可采用模型或样机, 通过实验考核其性能, 在取得必要数据后, 再根据实验结果修改原有设计。但这种方法费时、费钱, 只用于特别重要的设计。

### 二、现代设计方法

随着科学技术的进步, 新材料、新工艺、新技术等新兴边缘科学的不断涌现, 产品的更新周期日益缩短, 推动机械产品向大功率、高速度、高精度和自动化方向发展, 促进了机械