



普通高等教育“十三五”创新型规划教材  
理论+实践+数字资源一体化规划教材

紧扣教学大纲，突出重点  
强化应用能力，迁移拓展  
支持教学做考，立体资源



# 机械设计

主审 张明柱 主编 魏冰阳 徐 恺

JIXIE SHEJI



电子科技大学出版社

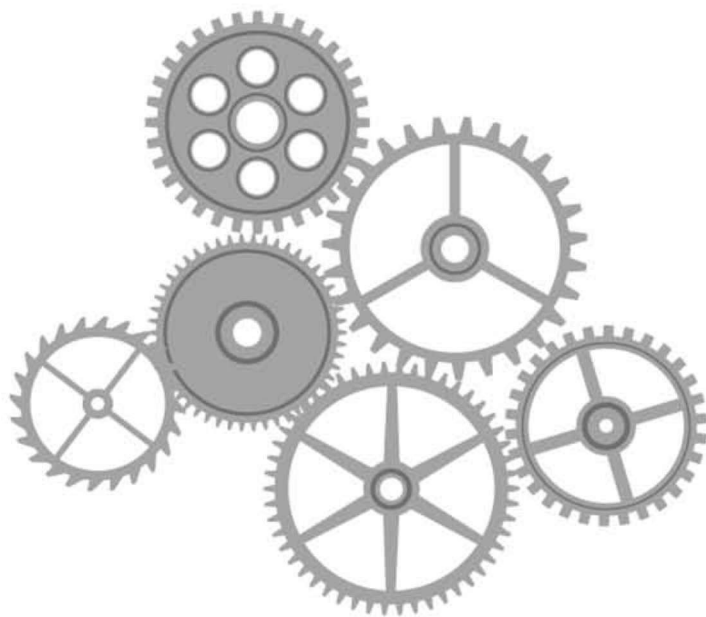


普通高等教育“十三五”创新型规划教材  
理论+实践+数字资源一体化规划教材

主 审 张明柱

主 编 魏冰阳 徐 恺

副主编 聂少武 党玉功 李更更



# 机械设计

JIXIE SHEJI



电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械设计 / 魏冰阳, 徐恺主编. —成都: 电子科技大学出版社, 2017.5

ISBN 978-7-5647-3639-2

I. ①机… II. ①魏… ②徐… III. ①机械设计  
IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 097371 号

## 机械设计

主 编 魏冰阳 徐 恺

---

出 版: 电子科技大学出版社(成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编:610051)

策划编辑: 杜 倩

责任编辑: 杜 倩 李 倩

主 页: [www.uestcp.com.cn](http://www.uestcp.com.cn)

电子邮箱: [uestcp@uestcp.com.cn](mailto:uestcp@uestcp.com.cn)

发 行: 新华书店经销

印 刷: 三河市越阳印务有限公司

成品尺寸: 203mm×260mm 印张 23 字数 650 千字

版 次: 2017 年 5 月第一版

印 次: 2017 年 5 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-3639-2

定 价: 49.50 元

---

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 本社发行部电话:028-83202463;本社邮购电话:028-83201495。

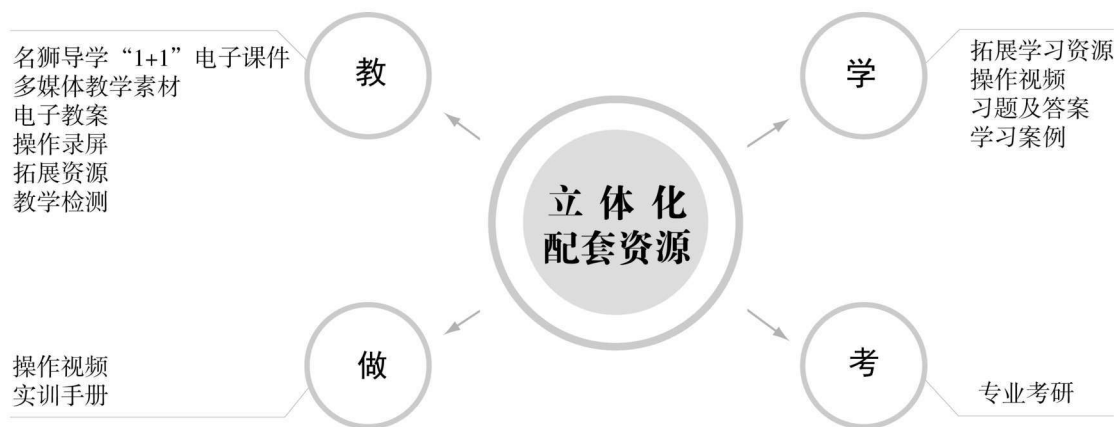
◆ 本书如有缺页、破损、装订错误,请寄回印刷厂调换。

# 前言 PREFACE

机械设计是工科高等院校中机械类专业的一门主干技术基础课。本课程主要介绍机械中通用零部件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和计算方法,其任务是通过课堂教学、实验和课程设计使学生具有:对机械系统的认知,设计通用零部件和简单机械系统的能力,对于机械工程问题能够建立模型、分析求解和论证的能力,在机械工程实践中初步掌握并使用各种技术规范、技能和现代工程工具的能力。

根据我国机械制造业中长期发展规划与我国高等教育分类改革的需要,基于应用型四年制机械类工科院校的教学要求,编者编写了本书。本书在编写过程中,着眼于实用性、可读性,即易感、易识、易学,同时兼顾机械系统知识的架构形成,重点培养学生机械设计的基本素质和能力。本书在内容的取舍及阐述方面,注意取材的先进性、工程应用性,在工程认知的基础上厘清了有关基本概念、基本理论和基本方法,论述上从每章工程应用实例认知开始,引导读者以一个设计师的视觉思考工程应用问题,从而获取所需要的主要知识点。在内容编排上本书尽可能做到深入浅出,有意增加了实物或三维图片,以尽可能达到图文并茂、形象、直观的目的。除此之外,本书还着重增加了结构设计的内容,补充了一些关于新技术、新方法的阅读材料,旨在培养学生的工程实践能力和创新意识。本书尽可能选用一些典型例题讲述详细的解题步骤,重点实例按项目形式展开在各章开篇提出学习重点,对于易错、易混淆的概念或关键点正文中插入提示,结尾给出要点总结,以最大限度地满足教师执教和学生自学的要求。各章末附有习题,以满足多种教学形式之需。

## 丛书立体化配套资源



本书分为 17 章。参加本书编写的有河南科技大学魏冰阳(第 1、17 章), 聂少武(第 3、4、5、6、11 章), 党玉功(第 7、8、9 章), 李更更(第 10、13、14、16 章), 徐恺(第 2、12、15)。本书由魏冰阳、徐恺担任主编, 聂少武、党玉功、李更更担任副主编。

本书由张明柱教授精心审阅, 并提出宝贵意见, 编者在此表示衷心感谢。

由于编者水平所限, 漏误及不当之处在所难免, 敬请各位从事机械设计教学的教师 and 广大读者不吝赐教。

编者

# 目录 CONTENTS

## 第一篇 机械设计总论

第 1 章 绪论 .....	1
1.1 机械的组成及基本术语 .....	2
1.2 机械设计的主要内容和设计的一般程序 .....	6
1.3 机械零件的设计方法 .....	7
1.4 机械零件应满足的基本要求及设计的一般步骤 .....	10
1.5 本课程的研究对象、主要内容、学习方法 .....	11
第 2 章 机械零件的失效形式与设计的基本准则 .....	14
2.1 机械零件的主要失效形式 .....	15
2.2 机械零件的工作能力准则 .....	16
2.3 许用安全系数的选择 .....	19
2.4 载荷和应力的分类 .....	20
2.5 机械零件的体积强度 .....	21
2.6 机械零件的接触强度 .....	31
2.7 摩擦、磨损概述 .....	32
2.8 润滑 .....	38

## 第二篇 紧固与连接

第 3 章 螺纹连接 .....	44
3.1 螺纹及主要参数 .....	45

3.2	螺纹副的受力分析、自锁和效率	49
3.3	螺纹连接的主要类型和标准连接件	51
3.4	螺纹连接的预紧和防松	53
3.5	螺纹组连接的受力分析	57
3.6	螺栓连接的失效形式和计算准则	61
3.7	螺栓连接的强度计算	61
3.8	提高螺纹连接强度的措施	67
3.9	螺栓联接设计计算实例	70
<b>第 4 章</b>	<b>铆接、焊接和胶接</b>	<b>74</b>
4.1	铆接	75
4.2	焊接	80
4.3	胶接	84
4.4	胶接的应用举例	88
<b>第 5 章</b>	<b>弹簧</b>	<b>89</b>
5.1	弹簧类型及制造	91
5.2	圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧的设计计算	94
5.3	圆柱螺旋扭转弹簧的设计计算	102
5.4	其他类型弹簧	105
5.5	圆柱螺旋拉伸弹簧的设计实例	108
<b>第 6 章</b>	<b>键、销与无键联结</b>	<b>110</b>
6.1	键联结	111
6.2	花键联结	118
6.3	销联结	120
6.4	型面连接和胀紧连接	123
6.5	过盈配合连接	124
<b>第 7 章</b>	<b>带传动</b>	<b>131</b>
7.1	带传动的类型、特点和应用	133
7.2	带传动工作情况分析	137
7.3	普通 V 带传动的设计计算	143
7.4	V 带轮的设计	151
7.5	V 带传动的张紧装置	154
7.6	其他带传动简介	155
<b>第 8 章</b>	<b>链传动</b>	<b>159</b>
8.1	传动链的特点和结构	161
8.2	滚子链链轮的结构和材料	164

8.3	链传动的工作情况分析	168
8.4	滚子链传动的设计计算	172
8.5	链传动的合理布置、张紧和润滑	179
<b>第 9 章</b>	<b>圆柱齿轮传动</b>	184
9.1	齿轮传动的特点、分类及要求	185
9.2	齿轮传动的主要失效形式及设计准则	187
9.3	齿轮的材料及其选择	191
9.4	直齿圆柱齿轮传动的强度计算	193
9.5	齿轮传动的主要参数、精度选择和许用应力	202
9.6	斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	210
9.7	齿轮的结构设计	216
9.8	齿轮传动的润滑	218
<b>第 10 章</b>	<b>蜗杆传动</b>	222
10.1	蜗杆传动的特点和类型	223
10.2	普通圆柱蜗杆传动的主要参数和几何尺寸	224
10.3	蜗杆传动的效率和润滑	227
10.4	蜗杆和蜗轮的常用材料和结构设计	228
10.5	蜗杆传动的受力分析、设计准则及工作能力计算	230
<b>第 11 章</b>	<b>其他一些典型齿轮传动</b>	237
11.1	直齿锥齿轮传动	238
11.2	曲线齿锥齿轮传动	242
11.3	圆弧齿圆柱齿轮传动	244
11.4	环面蜗杆传动	245
11.5	直齿锥齿轮设计举例	246
<b>第 12 章</b>	<b>其他类型的机械传动形式</b>	248
12.1	摩擦轮传动	249
12.2	牵引传动	256
12.3	螺旋传动	257
12.4	机械传动总论	261

### 第三篇 轴系零部件设计

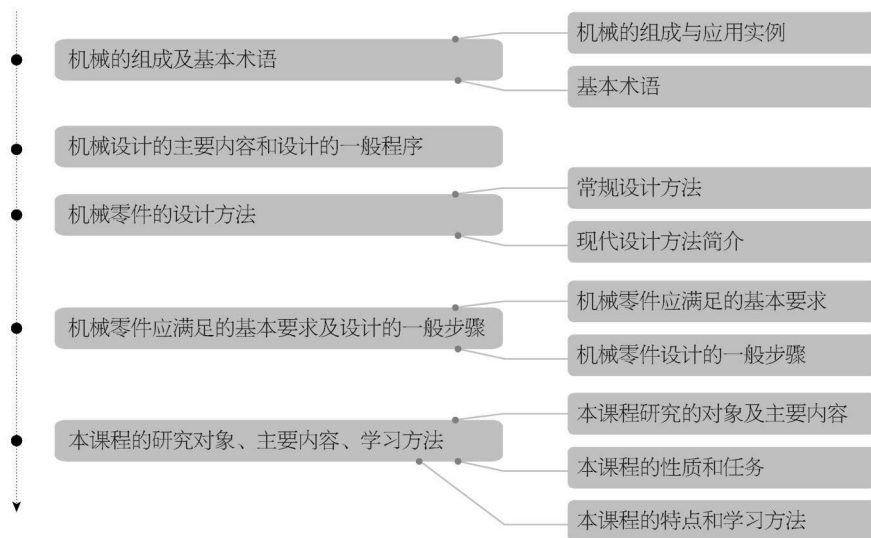
<b>第 13 章</b>	<b>轴的设计</b>	267
13.1	轴的分类及材料	268
13.2	轴的结构设计	272
13.3	轴的工作能力计算	277



13.4	轴的设计实例分析	281
<b>第 14 章</b>	<b>滚动轴承</b>	<b>289</b>
14.1	概述	290
14.2	滚动轴承的类型、代号及选择	291
14.3	滚动轴承的载荷分布、失效形式及计算准则	297
14.4	滚动轴承的寿命计算	300
14.5	滚动轴承部件的组合设计	307
<b>第 15 章</b>	<b>滑动轴承</b>	<b>320</b>
15.1	径向滑动轴承的结构形式	321
15.2	轴瓦的材料和结构	322
15.3	润滑剂选择及润滑方法	324
15.4	混合摩擦径向滑动轴承的设计计算	326
15.5	液体润滑轴承的工作原理	327
15.6	其他滑动轴承简介	329
15.7	滚动轴承与滑动轴承的比较	331
<b>第 16 章</b>	<b>联轴器、离合器和制动器</b>	<b>333</b>
16.1	联轴器	334
16.2	离合器	341
16.3	制动器	344
<b>第 17 章</b>	<b>减速器</b>	<b>348</b>
17.1	减速器的主要形式及其特性	349
17.2	传动比分配	354
17.3	减速器构造	355
17.4	减速器的润滑	357
<b>参考文献</b>		<b>360</b>

# 第一篇 机械设计总论

## 第 1 章 绪 论



机械是人类进行生产活动的重要工具和实现劳动目的的重要手段，是人类文明的重要标志。现代化的机械装备能最大限度地减轻人们的体力劳动，提高劳动生产率和产品质量，而且便于人们对生产进行组织和管理，实现产品的标准化、系列化和通用化。机械工业为国民经济各部门提供最先进的成套机械装备，为国民经济和社会的发展提供强大支撑和动力，其发展程度更是衡量一个国家技术水平和现代化程度的重要标志。

## 1.1 机械的组成及基本术语

### 1.1.1 机械的组成与应用实例

机械是机器与机构的统称。

#### 1. 机器

在工作和生活中，我们见到过很多机器，如摩托车、汽车、起重机、内燃机、缝纫机、织布机、洗衣机、机器人和各种加工机床等，种类繁多。

如图 1-1 所示皮带运输机广泛应用于工厂、矿山的物料运输。通用带式输送机一般由输送带、托辊、滚筒及驱动装置、张紧装置等组成。驱动装置一般由齿轮减速器和电动机组成，提供运输的动力，驱动滚筒、输送带执行物料运输。

图 1-2 为建筑行业广泛使用的挖掘机。图 1-3 为汽车工业广泛使用的焊接机器人。图 1-4 为一种手枪钻，机械加工行业常用的一种工具。

就其功能而言，图 1-1 至图 1-4 所示的机器都由原动部分、传动部分、执行(工作)部分和控制单元以及辅助部分(润滑、电气、检测等)组成。原动部分及执行部分是机器中的主体。

原动部分是机器工作的动力源。它可以是人力、物力(风力、热力、磁力和电力等)、畜力。现代机器中已经很少使用人力、畜力，原动力大多是电动机和热力机(内燃机、燃气轮机等)，而电动机应用最为广泛。例如，图 1-1 的皮带运输机、图 1-3 的机器人、图 1-4 的手枪钻均使用电机驱动，而图 1-2 的挖掘机则使用内燃机作为动力源。

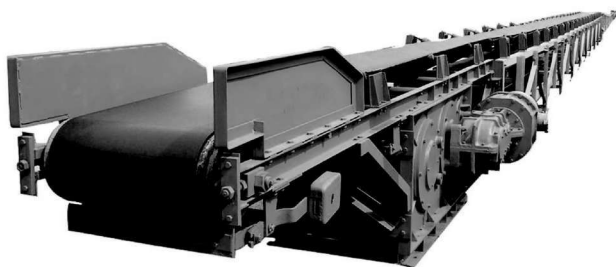


图 1-1 皮带运输机



图 1-2 挖掘机

执行(工作)部分是直接完成机器预期功能的部分,例如带式输送机中的卷筒及输送带(图 1-1),挖掘机的铲斗(图 1-2),机器人的手臂(图 1-3),手枪钻的主轴(图 1-4)。



图 1-3 焊接机器人



图 1-4 手枪钻

传动部分用于传递动力,实现机器预期的运动。机器的功能各异,要求的运动参数和运动形式多不相同,要克服的工作阻力也不一样,但原动力的运动参数、运动形式和运动动力参数范围是有限和确定的,这些往往不能满足执行部分的要求。而传动部分在机器中的作用就是解决这两部分之间的矛盾,起到一个桥梁作用,把原动力的运动参数、运动形式和动力参数变换为机器执行部分所需要的参数和形式。例如,图 1-1 中的齿轮减速器,图 1-2 中的机臂机构,图 1-3 机器人所用到的齿轮减速器多达 5 个。机器的传动部分大多使用机械传动,还可使用液压传动(图 1-2 机臂的驱动)、气压传动和电气传动。现代机器设备中,集成机、电、液传动技术的愈来愈多,如汽车自动变速器就高度集中了机、电、液技术。本书介绍机器设备中常用的机械传动装置。

如图 1-5 所示为内燃机的结构图。它是由缸体 1、曲轴 2、连杆 3、活塞 4、进气阀 5、排气阀 6、顶杆 7、凸轮 8、齿轮 9 和 10 等组成。当燃气推动活塞做往复移动时,通过连杆使曲轴连续转动,从而将燃气的热能不断地转换为曲轴的机械能。凸轮和顶杆用于启闭进气阀和排气阀,为保证曲轴每转两周,进气阀、排气阀各启、闭一次,曲轴和凸轮之间安装了齿数比为 1:2 的齿轮。这样,当燃气推动活塞运动时,各个构件协调地动作,进、排气阀有规律地启闭,加上汽化、点火等装置的配合,

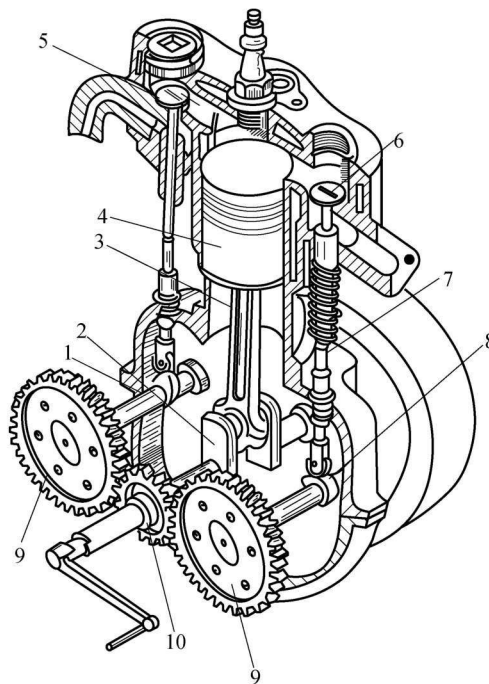


图 1-5 皮带输送机

1—缸体; 2—曲轴; 3—连杆; 4—活塞; 5—进气阀;  
6—排气阀; 7—顶杆; 8—凸轮; 9, 10—齿轮

就将热能转换为曲轴回转的机械能。

如图 1-6 所示为颚式破碎机。它是由电动机、带传动(图中只示出大带轮 5)、偏心轴 2、动颚 3、肘板 4 和机架 1 组成。当电动机通过带传动带动偏心轴 2 绕轴线 A 转动时,驱使输出构件动颚 3 做平面运动,从而将矿石轧碎。

从以上实例可以看出,所有机器均具有下列 3 个共同的特征:

- (1) 它们是人为的实体组合;
- (2) 组合体的运动构件之间具有确定的相对运动关系;

(3) 能够独立地去完成有用的机械功(如起重机、金属切削机床等)或转换机械能(如电动机、内燃机等)或传递能量、物料,提供或转换信息(如空调压缩机、运输机、钟表、打印机等)。

综上所述,满足上述 3 个特征的实体组合称为机器。

## 2. 机构

机构只具备机器的前两个特征,无法独立完成工作,通常作为机器的一部分。例如,图 1-1 的齿轮减速器、皮带传动链,图 1-2 的机臂,图 1-3 的机械手,图 1-4 的齿轮传动链,图 1-5 的连杆机构、凸轮机构等均是作为机器的一部分,不独立地运动或做功。

图 1-7 为机舱门的驱动机构,由高压氮气提供动力推动气动马达,再通过链传动与传动索传动驱动机舱门的打开或关闭。看似能够独立完成工作,但它必须依附于机舱才能工作。因此它仍属于机构,只是由几种机构组合起来的复杂机构。

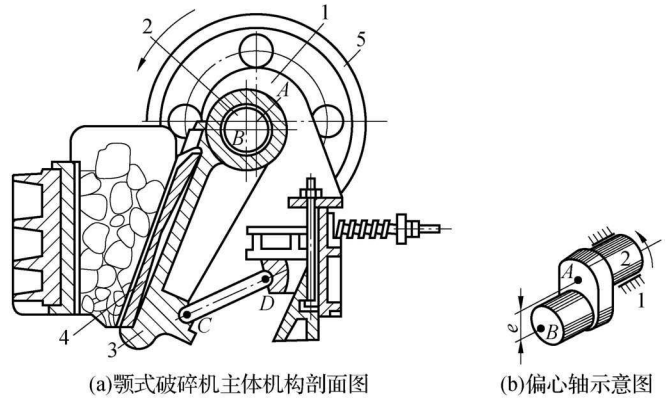
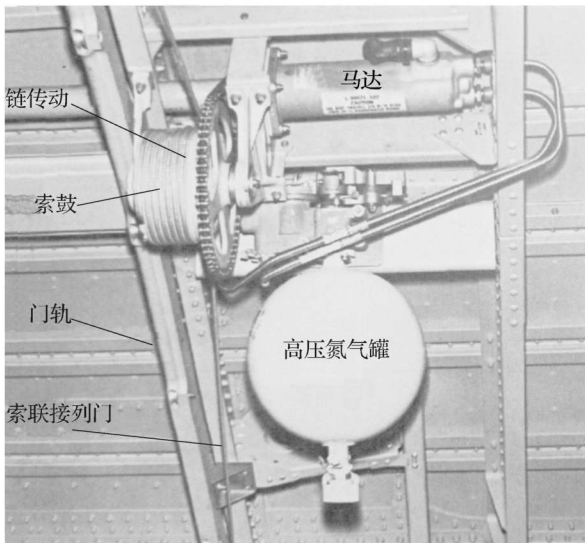
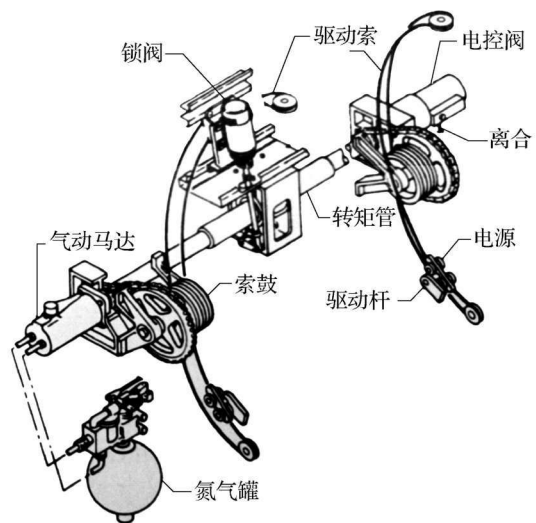


图 1-6 颚式破碎机

1—机架; 2—偏心轴; 3—动颚; 4—肘板; 5—大带轮



(a) 实物图片



(b) 驱动机构示意图

图 1-7 机舱门驱动机构

## 1.1.2 基本术语

### 1. 机械零件及部件

#### (1) 机械零件

组成机械的基本制造单元称为机械零件，如机械中的轴、齿轮(整体式)、螺钉、螺母、键等。

#### (2) 部件

为完成同一功能在结构上组合在一起，协同工作的零件的总成称为部件，如机械中的联轴器、减速器、滚动轴承等。

机械中的零、部件通常又分为两大类：通用零、部件——在各种机器中都普遍使用的零、部件，如齿轮、滚动轴承等；专用零、部件——只在某些特定类型的机器中才使用的零、部件，如曲轴、纺锭等。本书只介绍通用机械零、部件的有关设计内容。

### 2. 构件

组成机械的各相对运动实体称为构件。构件即为机械中的运动单元。构件可以是一个零件，如实心式齿轮、带轮、蜗杆等，也可以是若干个零件的刚性组合结构，如图 1-8 所示内燃机中的连杆又由连杆体 1、连杆头 2、轴瓦 3 和 4、螺栓 5、螺母 6 等零件刚性组合为一个构件。

### 3. 标准件

经过优选、简化、统一，并给标准代号的零件和部件称为标准零、部件，如螺栓、螺母、键、滚动轴承、联轴器等。

### 4. 运动副

两个构件之间直接接触，又有一定相对运动的活动连接称为运动副。按照两构件的接触情况，通常把运动副分为低副和高副。

#### (1) 低副

两构件为面接触的运动副称为低副。低副又分为转动副(又称铰链，如内燃机中的曲轴与连杆组成的转动副)和移动副(如内燃机中的活塞与气缸体组成的移动副)。

#### (2) 高副

两构件通过点或线接触组成的运动副称为高副。如图 1-9(a)所示车轮与钢轨组成高副；图(b)内燃机中的凸轮顶杆；图(c)齿轮轮齿的接触都组成高副。

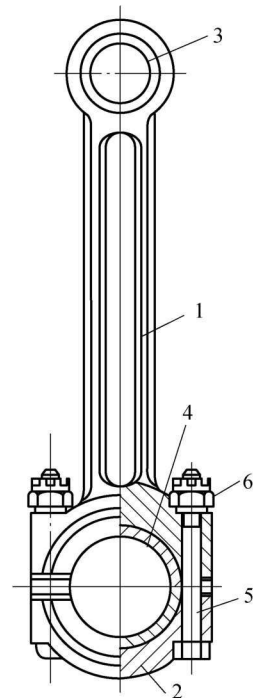


图 1-8 连杆

1—连杆体；2—连杆头；  
3, 4—轴瓦；5—螺栓；6—螺母

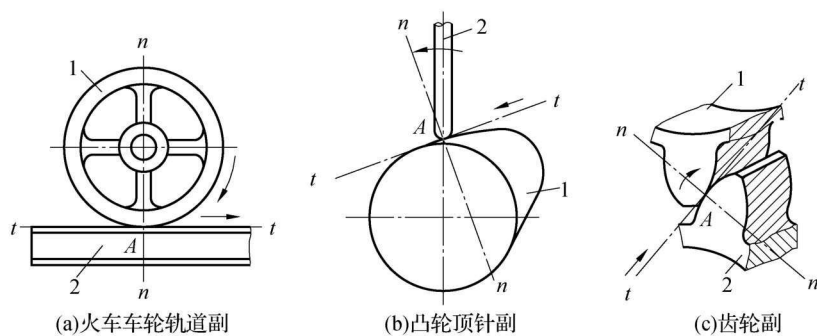


图 1-9 高副构件

## 1.2 机械设计的主要内容和设计的一般程序

在对所设计的机器的用途和功能明确以后,在调查研究国内外有关情况 and 资料的基础上,机械设计的主要内容是:选择机器的工作原理,运动和动力计算,零、部件的工作能力计算,绘制整机的工作图、装配图及零、部件的结构图等。

机械设计过程实际上是一个发现矛盾、分析矛盾和处理矛盾的过程。例如,要求机器的零、部件强度大、刚性好和要求机器重量轻的矛盾;加工、装配精度高和制造成本低的矛盾等。一个最优的技术方案往往是各种矛盾折中平衡的结果。设计者应尽可能地运用现代科技的最新成果,抓住主要矛盾,恰如其分地处理好各种次要矛盾,才能设计出高质量的机械产品来。

一部新机器从设计到使用,要经过调查研究、设计、制造和运行考核等一系列过程。

机械设计并没有一个通用的固定程序,须视具体情况而定。较为典型的一般程序如下。

### 1. 设计任务

根据社会、市场或用户的需求和使用要求确定机器的功能范围和技术指标,研究其实现的可能性;明确设计需要解决的关键问题;编制出完整的设计任务书及明细表。

### 2. 方案设计

根据设计任务书的要求,确定机器的工作原理和技术要求;拟订机器的总体布置、传动方案和机构草图等。在这一阶段中,往往要进行多方案比较和经济评价,从中选出最佳方案。

### 3. 总体设计

根据所确定的设计方案,进行零、部件的布置;机构的运动学和动力学分析;动力学计算;零、部件的工作能力计算;必要时可进行模拟仿真、模型试验和测试以取得设计数据;最后确定零、部件和机器的主要参数和尺寸。在这一阶段中,要结合分析和计算绘制出总体设计草图。这一部分往往同方案设计交互进行,发现不合理的地方要对设计方案及时进行修改。

### 4. 结构设计

根据总体设计方案和草图,综合考虑零、部件的工作能力和结构工艺性,将零、部件的全部尺

寸和形状、装配关系和安装尺寸等完全确定下来，绘制出整机的装配结构图与工作图，以及零、部件图，编写出各种技术文件和说明书。

### 5. 鉴定和评价

如果能利用虚拟样机技术则能对机器的物理指标做出评价。设计结果是否满足使用要求，机器的预定功能是否能全部实现，可靠性和经济性指标是否合理，与同类机器相比有何改进效果，制造部门是否能够制造等，均须经过鉴定，给予科学的评价。通常新设计的机器要先经过试制，并进行模型或样机试验，有的还要进行破坏性测试，以鉴定机器的质量。

### 6. 中试及定型设计

经过鉴定和评价，对设计进行必要的修改后就可进行小批量的试制和试验，必要时还应在实际使用条件下试用，对机器进行各种考核和测验。通过几个小批量生产，在进一步考察和验证的基础上，将原设计进行改进，之后，即可进行适用于成批生产的机器定型设计。

中试(pilotscale experiment)是产品正式投产前的试验，即中间阶段的试验，是产品在大规模量产前的较小规模试验。所设计的产品正式定型前，第一步要进行试验室试验；第二步是“小试”，也就是根据试验室效果进行放大；第三步是“中试”，就是根据小试结果继续放大。中试成功后基本就可以定型和量产了。

从以上机械设计的全过程可见，整个设计过程的各个阶段是相互紧密关联的，某一阶段中发现问题和不当之处，必须返回到前面有关阶段去修改。因此，设计过程是一个不断反馈、不断修改和完善，以逐渐接近最优结果的过程。

综上所述，完成整个设计过程需要进行一系列艰巨的工作。设计者首先应树立正确的设计思想，努力掌握先进的科学技术知识和科学辩证的思想方法，同时，还要坚持理论联系实际，并在实践中不断总结和积累设计经验，向有关领域的科技工作者和从事生产实践的工作者学习，不断发展和创新，才能较好地完成设计任务。

## 1.3 机械零件的设计方法

机械零件的设计方法可分为常规设计方法和现代设计方法。

### 1.3.1 常规设计方法

常规设计方法是目前广泛和长期所采用的设计方法，也是本课程中机械零件设计时所采用的设计方法。常规设计方法有以下3种。

#### 1. 理论设计

理论设计是根据现有的设计理论和试验数据所进行的设计。按照设计顺序的不同，零件的理论设计计算可分为设计计算和校核计算。



### (1) 设计计算

该计算方法是根据零件的工作情况、要求,进行失效分析,确定零件工作能力准则,并按其理论设计公式确定零件的形状和尺寸。

### (2) 校核计算

该计算方法是先参照已有实物、图样和经验数据初步拟订出零件的结构尺寸,然后根据工作能力准则所确定的理论校核公式进行校核计算。

## 2. 经验设计

经验设计是根据同类机器及零部件已有的设计和长期累积的经验而归纳出的经验公式,或者是根据设计者的经验用类比法所进行的设计。经验设计简单方便,对于那些使用要求变化不大而结构形状已典型化的零件,是比较实用可行的设计方法,如普通减速器箱体、齿轮、带轮等传动部件的结构设计。

## 3. 模型实验设计

对于尺寸特大、结构复杂、难以进行理论计算的重要零件可采用模型实验设计。即把初步设计的零、部件或机器做成小模型或小样机,通过模型或样机试验对其性能进行检验,根据试验结果修改初步设计,从而使设计结果满足工作要求。

常规设计大多数情况下是一个试错过程,通过试算、修正、再试算反复地修正,最后得到一个相对合理的设计结果。

### 1.3.2 现代设计方法简介

机械设计在近 30 年来发生了相当大的变化,设计方法更趋于科学、完善,计算精度、效率更高。现代设计的主要方法有以下几种。

#### 1. 计算机辅助设计

计算机辅助设计(Computer Aided Design, 简称 CAD),即借助计算机进行设计、计算、信息处理,利用计算机具有运算快速准确、存储量大、逻辑判断功能强等特点,通过人和计算机的交互作用完成设计工作。它相对于传统的设计方法具有以下优越性。

(1) 显著提高设计效率,缩短设计周期。加快产品更新换代,增强市场竞争能力。

(2) 可以贮存大量的设计信息和设计经验,使一些缺乏设计经验及新从事设计工作的人员也能顺利完成设计任务。

(3) 能在短期内给出很多设计方案,并进行分析比较,以获得最佳设计方案。

(4) 把设计人员从烦琐的重复性工作中解脱出来,将更多的时间和精力集中到创造性的工作上。

(5) 可与计算机辅助制造(CAM)、计算机管理自动化结合起来形成计算机集成制造系统(CIMS),以企业总效益为出发点,综合进行市场预测、产品设计、生产计划、制造和销售等一系列工作,以实现人力、物力和时间等各种资源的有效利用。

为满足计算机辅助设计的需要,出现了众多的二维、三维设计软件,如 AutoCAD、ProE、UG 等。这些软件的使用极大地节省了设计人员计算和手工绘图的时间。有些软件还具有动态仿真的功能。