

| “十三五”示范性高职院校建设成果教材 |

机械设计基础

● 主编 潘新奇 蒋爱荣 苏法翔



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

“十三五”示范性高职院校建设成果教材

机械设计基础

主 编 潘新奇 蒋爱荣 苏法翔

副主编 林灿东 唐多奇 梁东确

蓝月聆 黄 懿 何世银

马振锋

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书是根据高职机械类或近机械类专业教学实践改革,对传统的工程材料、公差与配合和机械设计基础教材重新组合,结合多年教学经验编写而成。全书共分13章,主要包括:总论,机械设计基础知识,公差与配合,常用机构,摩擦轮传动和挠性传动,齿轮传动,齿轮系与减速器,轴,轴承,连接,机械装置的润滑和密封,弹簧以及机械的平衡与调整。每章后均附有一定数量的练习题目。

本书可作为高职学校机械类或近机械类各专业的教材,也可作为各级各类学校相关专业师生的教学参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础 / 潘新奇, 蒋爱荣, 苏法翔主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2017. 9
ISBN 978-7-5682-4238-7

I. ①机… II. ①潘… ②蒋… ③苏… III. ①机械设计-高等职业教育-教材
IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 151754 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市天利华印刷装订有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 25.5

字 数 / 565 千字

版 次 / 2017 年 9 月第 1 版 2017 年 9 月第 1 次印刷

定 价 / 59.00 元

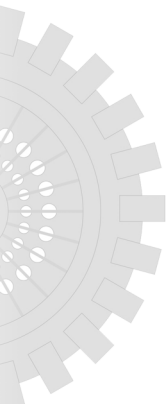
责任编辑 / 赵 岩

文案编辑 / 赵 岩

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换



前言

Qianyan

本书是根据高职高专人才培养需要，总结编者多年的教学经验和教改实践经验编写而成。本书以应用为目的，突出高职高专教育的特点，理论适度，概念清楚，实用性强，将机械原理与机械零件两大内容有机地结合在一起，注重培养学生初步的机械设计能力和创新能力。全书共 13 章，包括总论，机械设计基础知识、公差与配合、常用机构、摩擦轮传动和挠性传动、齿轮传动、齿轮系与减速器、轴、轴承、连接、机械装置的润滑与密封、弹簧以及机械的平衡与调整。

本书可作为高职院校机械类或近机类各专业的教材。

本书均由百色职业学院相关专业老师编写，潘新奇、蒋爱荣、苏法翔担任主编，林灿东、唐多奇、梁东确、蓝月聆、黄懿、何世银、马振锋担任副主编，具体编写分工如下：潘新奇编写第 1、3、6 章；蒋爱荣编写第 4、5 章；苏法翔编写第 2 章；林灿东编写第 7 章；唐多奇编写第 8 章；梁东确编写第 9 章；蓝月聆编写第 10 章；黄懿编写 11 章；何世银编写第 12 章；马振锋编写第 13 章。全书由潘新奇统稿。

由于水平所限，书中不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

第 1 章 总论	001
1.1 机构、机器与机械的概念	002
1.1.1 机器与机构	002
1.1.2 零件、构件和部件	003
1.2 本课程的性质、内容和任务	004
1.3 机械设计的基本要求、原则和一般程序	004
1.3.1 机械设计的基本要求	004
1.3.2 机械设计应遵循的基本原则	005
1.3.3 机械设计的一般过程	006
1.4 机械设计中常用的设计方法	007
1.4.1 常规设计方法	007
1.4.2 现代设计方法	008
第 2 章 机械设计基础知识	011
2.1 金属材料的性能	011
2.1.1 金属材料的力学性能	011
2.1.2 金属材料的加工工艺性能简介	018
2.2 常用金属材料的热处理方法目的及应用	019
2.3 机械工程常用材料	021
2.3.1 工业用钢	021
2.3.2 铸铁	036
2.3.3 有色金属及硬质合金	038
2.3.4 非金属材料	044
2.4 机械零件的工作能力和计算准则	045
2.5 机械零件的结构工艺性和标准化	047
2.5.1 机械零件的结构工艺性	047
2.5.2 机械零件设计中的标准化	048

目 录

Contents

2.6 机械中的摩擦、磨损和润滑	049
第3章 公差与配合	053
3.1 极限与配合	053
3.1.1 极限与配合的基本概念	054
3.1.2 极限与配合国家标准	058
3.1.3 极限与配合的选用	069
3.2 几何公差及公差原则	074
3.2.1 几何公差	074
3.2.2 公差原则	084
3.2.3 几何公差的选用	089
3.3 表面粗糙度	094
3.3.1 概述	094
3.3.2 表面粗糙度的评定参数	095
3.3.3 表面粗糙度参数值的选用	097
3.3.4 表面粗糙度的标注	098
第4章 常用机构	104
4.1 自由度及机构运动简图	104
4.1.1 自由度	104
4.1.2 机构运动简图	105
4.1.3 机构具有确定运动的条件	106
4.1.4 平面机构自由度计算	106
4.2 平面连杆机构	109
4.2.1 铰链四杆机构	109
4.2.2 铰链四杆机构类型的判断	111
4.2.3 四杆机构的基本特性	111

4.2.4 平面连杆机构的结构和维护	113
4.3 平面四杆机构的演化与设计	113
4.3.1 四杆机构的演化形式	113
4.3.2 平面四杆机构的设计	115
4.4 凸轮机构	117
4.4.1 凸轮机构的应用和分类	117
4.4.2 凸轮机构工作过程及从动件常用运动规律	119
4.4.3 对心直动从动件盘形凸轮轮廓的设计	121
4.4.4 凸轮机构基本尺寸的确定	122
4.4.5 凸轮的材料、结构与加工	124
4.5 其他常用机构	125
4.5.1 螺旋机构	125
4.5.2 棘轮机构	125
4.5.3 槽轮机构	128
4.5.4 不完全齿轮机构	128
第5章 摩擦轮传动和挠性传动	134
5.1 摩擦轮传动和挠性传动概述	134
5.1.1 摩擦轮传动	134
5.1.2 挠性传动	137
5.2 带传动的类型和特点	138
5.2.1 带传动的主要类型	138
5.2.2 带传动的特点	143
5.3 带传动的工作情况分析	144
5.3.1 带传动的受力分析与打滑	144
5.3.2 带传动的应力分析与疲劳强度	144
5.3.3 带传动的弹性滑动及其传动比	145

目 录

Contents

5.4	V 带传动设计	146
5.4.1	带传动的主要失效形式和设计准则	146
5.4.2	V 带传动设计计算和参数选择	147
5.5	带传动的张紧、安装与维护	155
5.5.1	V 带传动的张紧	155
5.5.2	V 带传动的安装和维护	156
5.6	链传动类型和特点	156
5.6.1	链传动的类型	156
5.6.2	链传动的特点	160
5.7	链传动的工作情况分析	161
5.8	滚子链传动设计	162
5.8.1	滚子链传动的失效形式	162
5.8.2	滚子链传动设计计算及主要参数的选择	162
5.9	链传动的布置	166
5.9.1	链传动的布置	166
5.9.2	链传动的张紧	167
第 6 章	齿轮传动	171
6.1	齿轮传动的特点和类型	172
6.1.1	齿轮传动的特点	172
6.1.2	齿轮传动的常用类型	172
6.2	齿廓啮合基本定律	173
6.3	渐开线及渐开线齿廓啮合特性	174
6.3.1	渐开线的形成	174
6.3.2	渐开线的性质	175
6.3.3	渐开线齿廓的啮合特性	175
6.4	渐开线标准直齿圆柱齿轮的几何尺寸计算	177
6.4.1	齿轮各部分名称及符号	177

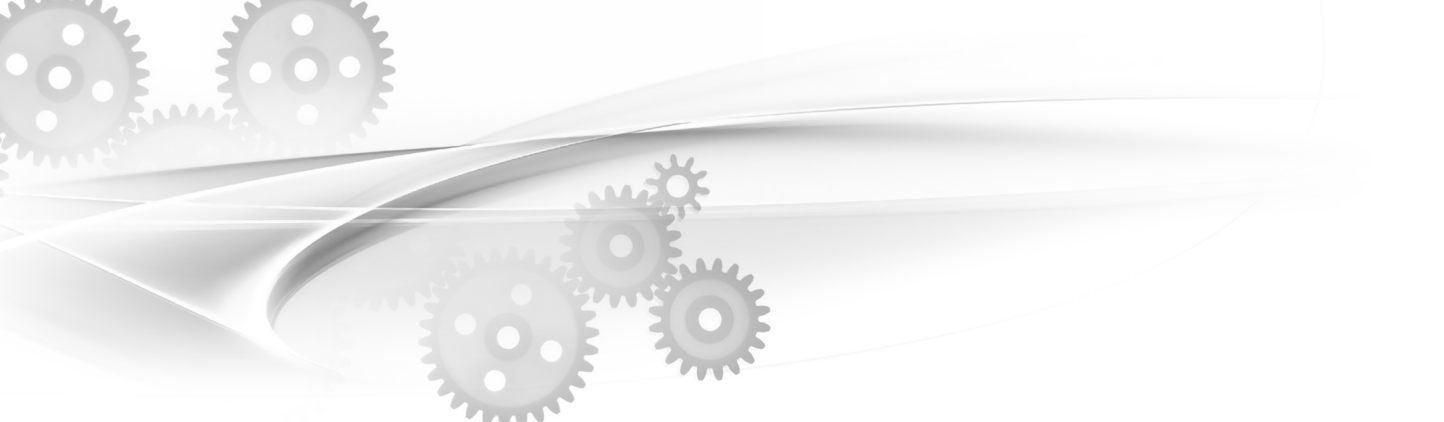
6.4.2	渐开线齿轮的基本参数	178
6.4.3	渐开线标准直齿圆柱齿轮的几何尺寸计算	179
6.4.4	径节制齿轮	181
6.5	渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合条件	181
6.5.1	正确啮合条件	181
6.5.2	标准中心距和标准安装	182
6.5.3	连续传动条件	183
6.6	渐开线齿轮的加工方法与根切现象	183
6.6.1	渐开线齿轮的加工方法	183
6.6.2	根切的成因与不产生根切的最小齿数	186
6.6.3	避免根切的措施	187
6.7	变位齿轮传动简介	188
6.7.1	标准齿轮传动的缺点	188
6.7.2	变位齿轮的概念	188
6.7.3	变位齿轮传动的类型	188
6.8	圆柱齿轮传动的精度	190
6.8.1	齿轮精度要求	190
6.8.2	渐开线圆柱齿轮的精度等级及选择原则	191
6.8.3	齿轮精度的图样标注	193
6.9	齿轮传动的失效形式、计算准则与齿轮传动常用材料	193
6.9.1	齿轮传动的失效形式	193
6.9.2	齿轮传动的计算准则	196
6.9.3	齿轮传动常用材料	196
6.9.4	极限应力和许用应力	199
6.10	齿轮传动的受力分析和计算载荷	202
6.10.1	轮齿的受力分析	202
6.10.2	轮齿的计算载荷	202
6.11	直齿圆柱齿轮的强度计算	203
6.11.1	齿面接触疲劳强度计算	204

目 录

Contents

6. 11. 2	齿根弯曲疲劳强度计算	205
6. 11. 3	直齿圆柱齿轮传动设计	207
6. 12	斜齿圆柱齿轮传动	211
6. 12. 1	斜齿圆柱齿轮齿廓的形成及啮合特点	211
6. 12. 2	斜齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸计算	212
6. 12. 3	斜齿轮正确啮合的条件和重合度	214
6. 13	直齿圆锥齿轮传动	221
6. 13. 1	锥齿轮机构的特点及应用	221
6. 13. 2	直齿圆锥齿轮齿廓曲面的形成	222
6. 13. 3	直齿圆锥齿轮的背锥和当量齿数	222
6. 13. 4	直齿圆锥齿轮的啮合传动和几何尺寸计算	223
6. 13. 5	直齿锥齿轮传动的强度计算	225
6. 14	蜗杆传动	229
6. 14. 1	蜗杆蜗轮的形成、类型和特点	229
6. 14. 2	蜗杆蜗轮机构正确啮合条件、主要参数及几何尺寸计算	230
6. 14. 3	蜗杆传动的失效形式及设计准则	233
6. 15	齿轮的结构	239
6. 15. 1	齿轮结构	239
6. 15. 2	蜗杆蜗轮结构	241
第 7 章	轮系	245
7. 1	轮系及其分类	245
7. 1. 1	定轴轮系	246
7. 1. 2	周转轮系	246
7. 1. 3	复合轮系	247
7. 2	定轴轮系的传动比	247
7. 3	周转轮系的传动比	250
7. 4	复合轮系的传动比	252

7.5 轮系的应用	254
第8章 支承设计	261
8.1 轴及轴承设计概述	261
8.1.1 轴的功用、类型及材料	261
8.1.2 轴承的功用及类型	264
8.2 滑动轴承设计	264
8.2.1 滑动轴承的类型及结构	264
8.2.2 轴瓦结构和轴承材料	268
8.2.3 滑动轴承的润滑	274
8.2.4 不完全油膜滑动轴承的设计	277
8.2.5 液体动压润滑轴承的工作原理	279
8.2.6 液体静压滑动轴承和气体轴承简介	283
8.3 滚动轴承设计	285
8.3.1 滚动轴承的结构、类型和特点	285
8.3.2 滚动轴承的失效形式和设计准则	292
8.3.3 滚动轴承的寿命计算	293
8.3.4 滚动轴承的静强度计算	301
8.3.5 滚动轴承的组合设计	301
8.4 轴的设计	307
8.4.1 轴径的初步估算	307
8.4.2 轴的结构设计	307
8.4.3 轴的强度校核	312
8.4.4 轴的设计实例分析	313
8.5 弹簧设计简介	317
8.5.1 弹簧的功用和类型	317
8.5.2 圆柱螺旋弹簧的设计	319



目 录

Contents

第9章 连接	327
9.1 螺纹连接的类型和应用	327
9.1.1 螺纹连接的基本知识	327
9.1.2 螺纹连接的类型和应用	329
9.2 螺纹连接的预紧和防松	330
9.2.1 螺纹连接的预紧	330
9.2.2 螺纹连接的防松	331
9.3 螺栓组连接的设计	332
9.3.1 螺栓组连接的结构设计	332
9.3.2 螺栓组连接的受力分析与计算	333
9.4 螺纹连接的强度计算	338
9.4.1 螺纹连接的失效形式	338
9.4.2 螺纹连接的常用材料和许用应力	338
9.4.3 单个螺栓连接的强度计算	340
9.4.4 铰制孔螺栓连接的强度计算	342
9.5 提高螺纹连接强度的措施	343
9.6 螺旋传动	346
9.7 轴毂连接	351
9.7.1 键连接	351
9.7.2 花键连接	355
9.7.3 无键连接与销连接	356
9.8 轴间连接	358
9.8.1 联轴器	358
9.8.2 离合器	362
9.9 铆接、焊接和黏接简介	364
9.9.1 铆接	364
9.9.2 焊接	365

9.9.3 黏接	365
第 10 章 机械运转的调速和平衡	369
10.1 机械运转速度波动的调节	369
10.1.1 周期性速度波动的调节	369
10.1.2 非周期性速度波动的调节	371
10.2 机械的平衡	372
10.2.1 机械平衡的目的和分类	372
10.2.2 刚性转子的平衡	373
10.2.3 刚性转子的平衡实验	376
参考文献	379



第1章 总论

【本章知识点】

1. 机械、机器、机构、部件、构件及零件的概念及其之间关系；
2. 机械设计的基本要求、原则和一般程序；
3. 常用的设计方法。

【先导案例】

人类从使用简单工具到今天能够设计、制造和利用现代机械改造自然，造福社会，经历了漫长的过程。如今，人们的日常生活和工作中已广泛使用着各种各样的机械，且人们也越来越离不开机械。在当今世界，机械的设计水平和机械现代化程度已成为衡量一个国家工业发展水平的重要标志之一。如图1-1所示为牛头刨床结构示意图，它是机械加工车间常用的一种机器，它是怎样工作的，具体组成情况又如何呢？

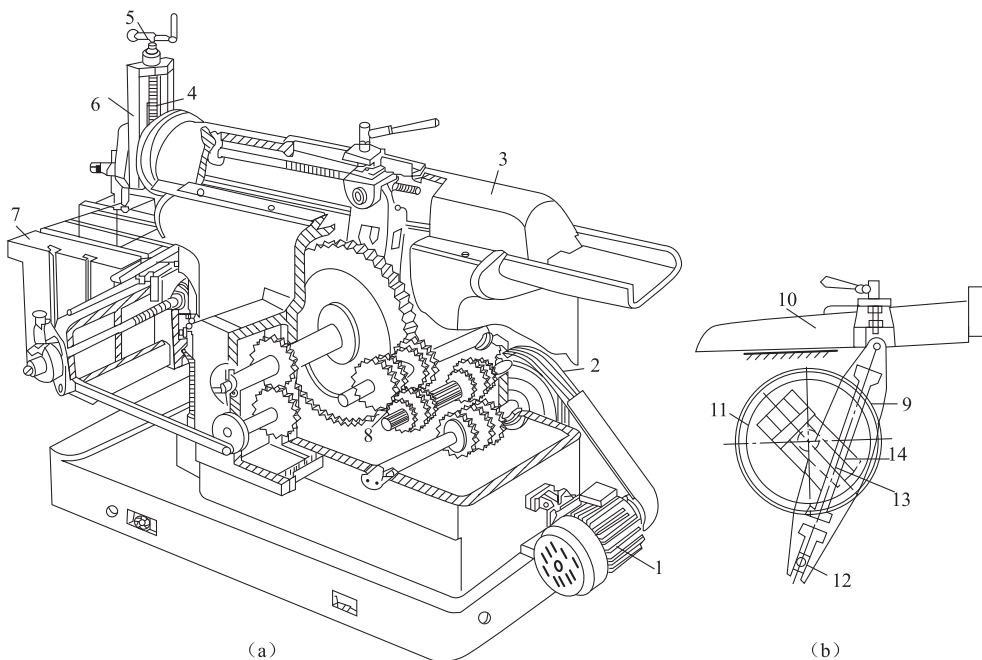


图1-1 牛头刨床结构示意图

- 1—电动机；2—带传动；3—滑枕；4—进刀丝杠；5—手柄；6—刀架；7—工作台；
8—齿轮传动；9—导杆；10—刨头；11—大齿轮；12—摇块；13—销钉；14—滑块

1.1 机构、机器与机械的概念

1.1.1 机器与机构

为了满足生活和生产的需要，人们普遍使用着各样的机器，人们熟知的如汽车、火车、飞机、轮船、自行车、洗衣机、发电机和各种机床等都是机器。机器的种类繁多，其结构、性能和用途也各不相同，但在机器的组成、运动和功能关系上都具有一些共同的特征。下面来分析两种机器实例。

如图 1-2 所示的单缸内燃机，它是由活塞 1、连杆 2、曲轴 3、气缸体（机架）4、齿轮 5 和 6、凸轮 7、推杆 8、排气阀 9 和进气阀 10 等组成。它可将燃料燃烧产生的热能转化为机械能。具体工作原理如下：燃气通过进气阀被下行的活塞 1 吸入气缸，然后进气阀关闭，活塞上行压缩燃气，点火使燃气在气缸中燃烧，燃烧的气体膨胀产生压力，推动活塞下行，通过连杆带动曲轴转动，向外输出机械能。当活塞再次上行时，排气阀打开，废气通过排气阀排出。这种内燃机可视为下列三部分的组合：主体部分（由活塞、连杆、曲柄和机架构成），其作用是将活塞的往复移动转化为曲柄的连续转动；控制部分（由凸轮、推杆和机架构成），其作用是将凸轮的连续转动转变为推杆的往复移动；传动部分（由齿轮和机架构成），其作用是改变转速的大小和方向。

又如图 1-3 所示的颚式碎矿机。它主要是由机架 1、动颚板 2、杆件 3、4、5 和曲轴 6 等组成。当电动机（图中未示出）驱动曲轴绕轴心 A 连续转动时，动颚板绕轴心 F 做往复摆动，从而将矿石轧碎。

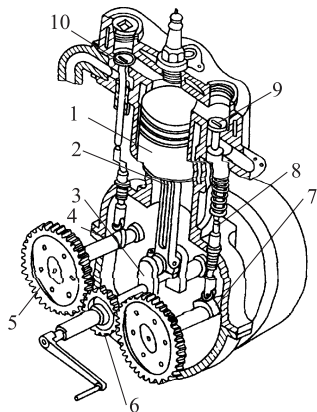


图 1-2 单缸内燃机

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

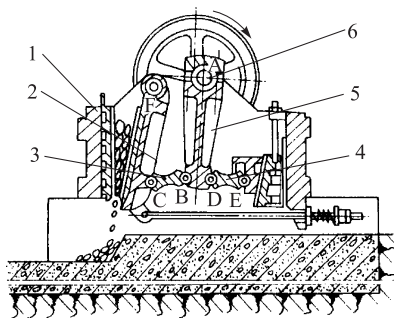


图 1-3 颚式碎矿机

1—机架；2—动颚板；
3、4、5—杆件；6—曲轴

从以上两个实例可以看出，尽管这些机器结构、性能和用途不同，但却具有以下共同特征：都是一种人为的实物组合体；各实体间具有确定的相对运动；能做有用的机械功或进行



功能转换。

凡具备上述三个特征的实物组合体称为机器，也可以说机器是执行机械运动的装置，用来变换或传递能量、物料与信息等。

具有前两个特征的实物组合体称为机构，可见，机构是具有确定相对运动的实物组合体，它的作用是传递运动和力，它能实现各种预期的机械运动。机构中接受外部给定运动规律的活动构件称为主动件，随主动件的运动而运动的活动构件称为从动件，支承活动构件的构件称为固定件（机架）。

从组成上看，机构是机器的主要组成部分，一台机器可由一个机构组成，也可由多个机构组成。图 1-2 所示的内燃机中，就包括连杆机构、凸轮机构和齿轮机构等多个机构。从功能上看，机器能做有用的机械功或完成能量形式的转换，图 1-3 所示的颞式碎矿机工作时即是将电能转化为机械能，而机构主要用于传递和转换运动。若单从运动观点来看，机器与机构并无本质区别，因此，我们常把机器与机构统称为机械。

机械一般由以下几个部分组成：原动机、传动部分和工作机。原动机是机械的动力来源，它主要为工作机提供运动和动力。常用的原动机有电动机、内燃机和液压机等。传动部分处于原动机和工作机之间，其作用是将原动机的运动和动力传给工作机。工作机是执行工作任务的部分，处于整个传动路线的终端。随着微电子技术、计算机技术和自动检测技术等技术的发展，现代机械又增加了控制部分和检测部分，使机械的结构、功能达到了更高的水平。

1.1.2 零件、构件和部件

从制造角度看，机器是由若干个零件装配而成的，零件是构成机器的基本要素，是机器中不可拆卸的制造单元。从运动角度看，机器是由若干个运动的单元所组成，这种运动单元称为构件。构件可以是一个单独的零件，如图 1-2 中的齿轮，也可以是若干个零件刚性连接而成的，如内燃机中的连杆，如图 1-4，就是由连杆体 1、轴套 2、连杆盖 3、轴瓦 4、螺杆 5 和螺母 6 等零件刚性连接而成的。

零件按其是否具有通用性可以分为两大类：一类是通用零件，它的应用很广泛，几乎在任何一部机器中都能找到它，例如齿轮、轴、螺母、销钉、键等；另一类是专用零件，它仅用于某些机器中，常可表征该机器的特点，例如内燃机中的活塞（见图 1-2）、起重机的吊钩等。

工程中也常将一组协同工作的零件分别装配或制造成一个相对独立的组合体，然后再装配成整机，这种组合体常称之为部件（或组件），例如汽车的发动机、变速器及后桥等，车床的主轴箱、尾座、进给箱以及自行车的脚蹬子等部件。将机器看成是由零部件组成的，不仅有利于装配，也有利于机器的设计、运输、安装和维修等。

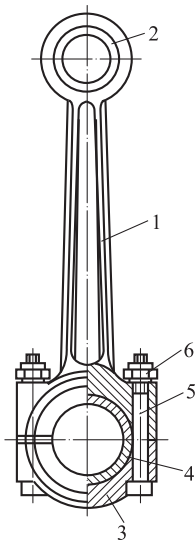


图 1-4 连杆的组成

1—连杆体；2—轴套；3—连杆盖；
4—轴瓦；5—螺杆；6—螺母

1.2 本课程的性质、内容和任务

本课程是一门理论性和实践性都很强的专业技术基础课，是后续专业课程学习和解决工程实际问题的必备基础，是机械类和近机械类专业的主干基础课程。本课程的研究对象为工程机械中的常用机构及一般工作条件下和常用参数范围内的通用零部件。主要研究其工作原理、种类、结构特点、基本设计理论、设计计算方法和选用及维护等方法；通过本课程的学习，初步具备分析和设计一般机构和零部件的能力。

本课程的主要任务是：

- ① 培养学生树立正确的设计思想和机械设计能力，尤其是创新设计能力。
- ② 培养学生掌握机械设计的一般规律和常用机构及通用零部件的设计原理和方法，要求学生具有与本课程有关的解题、运算、绘图、执行国家标准、收集和使用技术信息与资料的技能。
- ③ 培养学生熟悉常用机构及通用零部件的工作原理、特点、应用、结构和标准等，要求学生初步具有测绘、装拆、调整、检测一般机械装置的技能，并具有正确使用和维护机械传动装置的能力。
- ④ 培养学生掌握典型机械零件实验方法的技能。
- ⑤ 使学生了解机械设计的最新发展状况及现代设计方法在机械设计中的应用。

1.3 机械设计的基本要求、原则和一般程序

1.3.1 机械设计的基本要求

机械设计是人们从生产和生活的实际需要出发，运用设计理论、方法和技能，经过构思、计算、绘图等过程，创造新机械的活动。机械设计可以是开发新产品，也可以是改造现有的机械。机械产品的设计阶段是决定其各项性能指标高低优劣的关键。机械产品的结构、性能、质量、成本、可制造性、可维修性及人机环境等，原则上都是设计阶段确定的。尽管机械产品的类型很多，但其设计应满足的基本要求大致相同，主要有以下几个方面。

- ① 使用要求：使用要求是对机械产品的首要要求。是指机械产品必须满足用户对所需要的功能的要求，这是机械设计最根本的出发点。
- ② 可靠性和安全性要求：机械产品在规定的使用条件下，在规定的时间内，应具有完成规定功能的能力。安全可靠是机械产品的必备条件。
- ③ 经济性和社会性要求：经济性要求是指所设计的机械产品在设计、制造方面周期短、成本低；在使用方面效率高、能耗少、生产率高、维护与管理的费用少等。应该指出，在机械中采用标准零件，不仅可以优化设计，保证互换性，便于机械的修配，而且有利于保证零件的质量并降低其成本。此外，机械产品应操作方便、安全，具有宜人的外形和色彩，符合