



高职高专规划教材

机械设计基础

孙占刚 主 编
邹克武 贾志宁 副主编

JIXIE
SHEJI JICHU



化学工业出版社

高职高专规划教材

机械设计基础

孙占刚 主 编

邹克武 贾志宁 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书共分四篇 18 章。第一篇为构件的静力分析与承载能力分析,内容包括构件的静力分析以及构件受轴向拉伸与压缩、扭转、弯曲等变形后的强度、刚度、稳定性分析。第二篇为常用平面机构,内容包括平面机构的运动简图、连杆机构、凸轮机构以及间歇运动机构。第三篇为常用机械传动,内容包括带传动、链传动、齿轮传动和轮系。第四篇为常用机械零部件,内容包括螺纹连接、轴和轴毂连接、轴承、联轴器和离合器以及回转体的平衡。

本书适用于高职高专院校、成人高校的机械类或近机类各专业,以及应用型本科院校的非机类专业的教学,也可供相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/孙占刚主编. —北京:化学工业出版社, 2012

高职高专规划教材

ISBN 978-7-122-15525-2

I. ①机… II. ①孙… 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 (2012) 第 237682 号

责任编辑:高钰

文字编辑:张绪瑞

责任校对:陈静

装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 18 $\frac{1}{4}$ 字数 445 千字 2013 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888 (传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书按照高等职业教育教学要求，以生产实际所需的基本知识、基本理论和基本技能为基础，以应用设计为主线，根据近几年来高职高专院校学生基础知识的实际和编者多年来的教学实践经验，在总结本校的教学改革经验的基础上编写而成。主要适用于高职高专、成人高校的机械类或近机类各专业以及应用型本科院校的非机类专业的教学，推荐教学时数为100~140学时。

本书将机械工程设计所涉及的静力学、材料力学、机械原理和机械零件等课程的内容进行了规划整合，全部内容被划分为四篇，十八章（除绪论外）。本书的主要特点如下：

（1）整合并精选教学内容，结构编排合理，知识体系清晰，突出实用性、综合性。

（2）采用最新国家标准、规范和设计资料。

（3）根据学生实际情况，把握理论深度，对一些纯理论推导方面的内容进行了适当的删减，对例题、图片进行精心筛选，强化检测、安装、维护、保养等的内容，突出工程应用。

（4）在例题的安排上，围绕附录中“带式运输机传动装置的设计”的相关内容进行选取，有较强的针对性，便于学生更好地掌握机械设计的设计内容。

参加本书编写工作的有：孙占刚（绪论、第2章、第4章、第8章、第11章、第12章、附录），邹克武（第1章、第7章、第9章、第15章），贾志宁（第3章、第13章、第14章、第16章、第17章、第18章），赵海贤（第5章、第6章），关晓东（第10章）。承德石油高等专科学校孙占刚担任本书主编，并负责全书统稿与最后定稿，邹克武、贾志宁任副主编。

本书承燕山大学姜世平教授认真细致地审阅，提出了很多宝贵意见和建议，对提高本书质量帮助很大，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，书中疏漏和不足之处，敬请读者不吝指正。

编 者

2012年8月

目 录

绪论	1	0.2.3 课程的任务	3
0.1 引言	1	0.3 机械设计的基本要求和一般程序	3
0.2 本课程的研究对象、内容与任务	1	0.3.1 机械设计的基本要求	3
0.2.1 研究对象	1	0.3.2 机械设计的一般程序	4
0.2.2 课程的内容	3	0.4 机械设计中的常用设计方法	4

第一篇 构件的静力分析与承载能力分析

第1章 构件的静力分析	8	2.5.1 试件、设备及方法	44
1.1 静力学基础	8	2.5.2 低碳钢拉伸时的力学性能	44
1.1.1 静力学基本概念	8	2.5.3 其他塑性材料拉伸时的力学性能	46
1.1.2 静力学基本公理	10	2.5.4 铸铁拉伸时的力学性能	46
1.1.3 约束与约束反力	11	2.5.5 低碳钢压缩时的力学性能	47
1.1.4 受力分析与受力图	14	2.5.6 铸铁压缩时的力学性能	47
1.2 平面力系	15	2.6 拉(压)杆件的强度计算	47
1.2.1 平面汇交力系	16	2.6.1 失效与许用应力	47
1.2.2 平面力偶系	19	2.6.2 强度条件	48
1.2.3 平面任意力系	20	2.7 应力集中的概念	50
1.3 空间力系	27	2.8 拉(压)杆连接件的强度计算	51
1.3.1 力在空间坐标轴上的投影	27	2.8.1 剪切的实用计算	51
1.3.2 力对轴的矩	28	2.8.2 挤压的实用计算	52
1.3.3 空间力系的平衡条件及应用	30	思考题与习题	53
思考题与习题	31	第3章 扭转	55
第2章 轴向拉伸与压缩	36	3.1 扭转的概念	55
2.1 轴向拉伸与压缩的概念	36	3.2 圆轴扭转时的内力	55
2.2 轴向拉伸与压缩时横截面的内力	36	3.2.1 外力偶矩的计算	55
2.2.1 内力的概念与轴力的计算	36	3.2.2 扭转时的内力—扭矩	55
2.2.2 轴力正负号的规定	37	3.2.3 扭矩图	56
2.2.3 轴力图	37	3.3 圆轴扭转时的应力和强度计算	57
2.3 轴向拉伸与压缩时的应力	38	3.3.1 圆轴扭转时的应力	57
2.3.1 应力的概念	38	3.3.2 圆轴扭转时的强度条件	59
2.3.2 轴向拉伸与压缩时横截面的应力	38	3.4 圆轴扭转时的变形和刚度计算	60
2.3.3 斜截面的应力	39	3.4.1 圆轴扭转时的变形	60
2.4 拉(压)杆的变形	41	3.4.2 圆轴扭转时的刚度计算	61
2.4.1 纵向变形与胡克定律	41	思考题与习题	61
2.4.2 横向变形与泊松比	41	第4章 弯曲	63
2.5 材料在拉伸、压缩时的力学性能	43	4.1 概述	63

4.1.1 平面弯曲的概念	63
4.1.2 梁的类型	63
4.2 梁的内力——剪力和弯矩	64
4.3 剪力方程和弯矩方程、剪力图和弯矩图	65
4.4 梁横截面上的正应力和强度条件	68
4.4.1 纯弯曲时梁横截面上的正应力	69
4.4.2 横力弯曲时梁横截面上的正应力	72
4.4.3 弯曲正应力强度条件	72
4.5 梁的变形和刚度条件	74
4.5.1 挠度和转角	74
4.5.2 用叠加法求梁的位移	75
4.5.3 梁的刚度条件	77
4.6 梁的弯曲切应力及弯曲切应力强度条件	78
4.6.1 矩形截面梁	78
4.6.2 工字形截面梁	79
4.6.3 圆形及圆环形截面梁	79
4.6.4 弯曲切应力强度条件	79
4.7 提高梁的弯曲强度和弯曲刚度的措施	80

思考题与习题	82
第5章 应力状态分析和强度理论	84
5.1 应力状态的概念	84
5.2 平面应力状态分析	85
5.2.1 解析法	85
5.2.2 图解法	86
5.3 广义胡克定律	88
5.4 强度理论	89
思考题与习题	93
第6章 压杆稳定	95
6.1 压杆稳定的概念	95
6.2 细长压杆的临界载荷	96
6.2.1 两端铰支细长压杆的临界载荷	96
6.2.2 其他约束情况下细长压杆的临界载荷	97
6.3 压杆的临界应力	97
6.3.1 细长压杆的临界应力	97
6.3.2 欧拉公式的适用范围	98
6.3.3 临界应力的经验公式	98
6.4 压杆的稳定性设计	99
6.4.1 压杆的稳定条件	99
6.4.2 提高压杆稳定性的措施	100
思考题与习题	101

第二篇 常用平面机构

第7章 平面机构的运动简图及

自由度	104
7.1 运动副及其类型	104
7.1.1 运动副的概念	104
7.1.2 平面运动副的类型	104
7.2 平面机构运动简图及其绘制	105
7.2.1 机构运动简图及其作用	105
7.2.2 机构运动简图的绘制	105
7.3 平面机构的自由度	107
7.3.1 平面机构自由度及计算	107
7.3.2 计算平面机构自由度的注意事项	108
7.3.3 构件组合成为机构的条件	111
思考题与习题	112

第8章 平面连杆机构

8.1 平面连杆机构的特点及应用	114
8.1.1 平面连杆机构的特点	114
8.1.2 平面连杆机构的应用	114

8.2 铰链四杆机构的基本形式及其判定	115
8.2.1 铰链四杆机构的基本形式	115
8.2.2 铰链四杆机构基本形式的判定	117
8.3 铰链四杆机构的演化	118
8.3.1 转动副演化成移动副	118
8.3.2 扩大转动副	119
8.3.3 取不同构件为机架	119
8.4 平面四杆机构的运动特性	122
8.4.1 急回特性	122
8.4.2 压力角和传动角	122
8.4.3 死点	123
8.5 平面四杆机构的运动设计	124
8.5.1 图解法	124
8.5.2 实验法	125
思考题与习题	126

第9章 凸轮机构及其设计

9.1 凸轮机构的组成、特点及分类	128
9.1.1 凸轮机构的基本组成和特点	128
9.1.2 凸轮机构的类型	129

9.2 从动件的运动规律	130
9.2.1 平面凸轮机构的运动循环和基本概念	130
9.2.2 从动件的常用运动规律	131
9.3 凸轮轮廓设计	133
9.3.1 对心直移尖顶从动件盘形凸轮轮廓的设计	134
9.3.2 偏置直移尖顶从动件盘形凸轮轮廓的设计	134
9.3.3 对心直移滚子从动件盘形凸轮轮廓的设计	135
9.3.4 凸轮设计中的几个问题	135

思考题与习题	137
--------------	-----

第 10 章 间歇运动机构

10.1 棘轮机构	139
10.1.1 棘轮机构的工作原理	139
10.1.2 棘轮机构的类型	139
10.1.3 棘轮机构的特点和应用	140
10.2 槽轮机构	141
10.2.1 槽轮机构的组成和工作原理	141
10.2.2 槽轮机构的类型	142
10.2.3 槽轮机构的特点与应用	142
思考题与习题	143

第三篇 常用机械传动

第 11 章 带传动和链传动

11.1 带传动概述	146
11.1.1 摩擦型带传动的类型	146
11.1.2 摩擦型带传动的特点和应用	147
11.2 V 带和 V 带轮	147
11.2.1 V 带的结构和标准	147
11.2.2 V 带轮的材料和结构	148
11.3 带传动工作情况的分析	149
11.3.1 带传动的受力分析	149
11.3.2 带传动的打滑与弹性滑动	150
11.3.3 带传动的应力分析	151
11.4 普通 V 带传动的设计计算	152
11.4.1 带传动的失效形式及设计准则	152
11.4.2 单根 V 带的许用功率	152
11.4.3 普通 V 带传动的设计计算及参数选择	152
11.5 带传动的张紧、安装与维护	159
11.5.1 带传动的张紧	159
11.5.2 带传动的安装与维护	160
11.6 链传动简介	161
11.6.1 链传动的组成、特点和应用	161
11.6.2 滚子链与链轮	161
11.6.3 链传动的运动特性	163
11.6.4 链传动的布置、张紧和润滑	164
思考题与习题	166

第 12 章 齿轮传动

12.1 齿轮传动的特点和类型	167
12.2 渐开线直齿圆柱齿轮	168

12.2.1 渐开线的形成和性质	168
12.2.2 渐开线齿廓的啮合特点	169
12.2.3 渐开线直齿圆柱齿轮的名称、参数及几何尺寸计算	170
12.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动	172
12.3.1 正确啮合条件	172
12.3.2 连续传动条件	173
12.3.3 标准中心距	174
12.4 渐开线齿轮轮齿的加工方法和根切	174
12.4.1 轮齿的加工方法	174
12.4.2 根切	175
12.5 齿轮的失效形式与设计准则	176
12.5.1 齿轮的失效形式	176
12.5.2 齿轮的设计准则	177
12.6 齿轮的常用材料及许用应力	178
12.6.1 齿轮的常用材料	178
12.6.2 齿轮的许用应力	179
12.7 渐开线标准直齿圆柱齿轮传动的设计	182
12.7.1 轮齿的受力分析	182
12.7.2 轮齿的计算载荷	182
12.7.3 齿面接触疲劳强度的计算	183
12.7.4 齿根弯曲疲劳强度的计算	184
12.7.5 齿轮传动主要参数的选择	185
12.7.6 齿轮精度的选择	186
12.7.7 齿轮的结构	187
12.7.8 齿轮传动的润滑	188
12.8 平行轴标准斜齿圆柱齿轮传动	191

12.8.1	齿廓曲面的形成及其啮合	191
12.8.2	主要参数及几何尺寸	192
12.8.3	斜齿圆柱齿轮的当量齿数	193
12.9	直齿圆锥齿轮传动	193
12.9.1	直齿圆锥齿轮传动的传动比	193
12.9.2	主要参数及几何尺寸计算	194
12.10	蜗杆传动	195
12.10.1	蜗杆传动的组成和特点	195
12.10.2	蜗轮旋转方向的确定	195
12.10.3	蜗杆传动的主要参数	195
	思考题与习题	196

第 13 章	轮系	198
13.1	轮系的类型	198
13.2	轮系的传动比	199
13.2.1	一对齿轮啮合的传动比的表示	199
13.2.2	定轴轮系传动比的计算	199
13.2.3	行星轮系传动比的计算	201
13.2.4	组合轮系传动比的计算	202
13.3	轮系的应用	204
	思考题与习题	205

第四篇 常用机械零部件

第 14 章	螺纹连接与螺旋传动	208
14.1	螺纹的主要参数和常用类型	208
14.1.1	螺纹的形成和分类	208
14.1.2	螺纹的主要参数	209
14.1.3	几种常用螺纹的特点及应用	209
14.2	螺纹连接的基本类型和螺纹连接件	210
14.2.1	螺纹连接的基本类型	210
14.2.2	标准螺纹连接件	212
14.3	螺纹连接的预紧与防松	213
14.3.1	螺纹连接的预紧	213
14.3.2	螺纹连接的防松	214
14.4	螺栓连接的强度计算	216
14.4.1	松螺栓连接	216
14.4.2	紧螺栓连接	216
14.4.3	铰制孔用螺栓连接	217
14.5	螺纹连接结构设计注意事项	218
14.6	螺旋传动简介	220
	思考题与习题	223

第 15 章	轴和轴毂连接	224
15.1	轴的类型及材料	224
15.1.1	轴的类型	224
15.1.2	轴的常用材料及其选择	225
15.2	动载荷与交变应力	226
15.2.1	动载荷与交变应力的概念	226
15.2.2	疲劳失效与疲劳极限	227
15.3	轴的结构组成及设计	228
15.3.1	轴的结构组成	228
15.3.2	轴的结构设计	228
15.4	轴的设计计算	232

15.4.1	按扭转强度估算轴的最小直径	232
15.4.2	按弯扭组合强度校核	232
15.4.3	刚度校核	233
15.5	轴毂连接	237
15.5.1	键连接	237
15.5.2	花键连接	240
15.5.3	销连接	241
	思考题与习题	241

第 16 章	轴承	243
16.1	滑动轴承概述	243
16.1.1	滑动轴承的类型	243
16.1.2	滑动轴承的结构	243
16.1.3	轴瓦	245
16.1.4	滑动轴承的润滑	246
16.2	液体摩擦滑动轴承简介	247
16.2.1	液体动压滑动轴承	247
16.2.2	液体静压滑动轴承	248
16.3	滚动轴承概述	249
16.3.1	滚动轴承的结构	249
16.3.2	滚动轴承的类型及选择	249
16.3.3	滚动轴承的代号	252
16.4	滚动轴承的寿命计算	254
16.4.1	滚动轴承的失效形式与计算准则	254
16.4.2	基本额定寿命与基本额定动载荷	254
16.4.3	当量动载荷	254
16.4.4	寿命计算公式	256
16.4.5	角接触轴承轴向载荷计算	258
16.4.6	滚动轴承静强度计算	259

16.5 滚动轴承的组合设计	260	17.2.1 操纵离合器	270
16.5.1 轴系的轴向定位	260	17.2.2 自动离合器	271
16.5.2 轴向位置及轴承游隙的调整	261	思考题与习题	272
16.5.3 轴承的配合与装拆	261	第 18 章 回转体的平衡	273
16.5.4 滚动轴承的润滑	263	18.1 回转体的静平衡	273
16.5.5 滚动轴承的密封	264	18.1.1 静平衡计算	273
思考题与习题	265	18.1.2 静平衡试验	274
第 17 章 联轴器和离合器	266	18.2 回转体的动平衡	274
17.1 联轴器	266	18.2.1 动平衡计算	274
17.1.1 刚性联轴器	266	18.2.2 动平衡试验	275
17.1.2 挠性联轴器	268	思考题与习题	275
17.1.3 联轴器的选择	269	附录 带式运输机传动装置的设计	276
17.2 离合器	269	参考文献	281

绪 论

0.1 引言

在日常生活和生产活动中，人们广泛使用着各种各样的机械，如汽车、起重机、机床、机器人等。机械的使用起到降低人们的劳动强度、提高工作效率和产品质量的作用，在某些场合，机械承担人力所不能或不便进行的工作。随着科学技术的迅速发展，对机械的自动化、智能化提出越来越高的要求，机械产品向高速、高效、精密、多功能和轻量化方向发展。目前，机械产品的技术水平已成为衡量一个国家技术水平和现代化程度的重要标志。

机械从构思到实现经过设计和制造两个不同的阶段，机械设计是机械产品生产的重要步骤，产品设计的优劣对产品的销售情况和竞争能力有很大的影响。统计结果表明，机械设计的消耗占机械生产总成本的 3% 左右，而机械生产成本的 80% 左右在设计阶段就已经决定了。因此，对于现代工程技术人员，学习和掌握一定的机械设计基础知识是极为必要的。

0.2 本课程的研究对象、内容与任务

0.2.1 研究对象

本课程的研究对象为机械。如图 0-1 所示的单缸内燃机，由活塞 1、连杆 2、曲轴 3、齿轮 4 与 5、凸轮 6、顶杆 7 及汽缸体 8 等组成。其工作原理如下：燃气通过进气阀被下行的活塞 1 吸入汽缸，然后进气阀关闭，活塞 1 上行压缩燃气，点火使燃气在汽缸中燃烧，燃烧的气体膨胀产生压力，推动活塞下行，通过连杆 2 带动曲轴 3 转动。当活塞再次上行时，排气阀打开，废气通过排气阀排出。经过燃气在缸内的进气—压缩—燃烧—排气的循环过程，将燃烧的热能转换为机械能，从而使活塞的往复运动转换为曲轴的连续转动。

又如图 0-2 所示的游梁式抽油机，由底座 1、支架 2、悬绳器 3、驴头 4、游梁 5、横梁轴承座 6、横梁 7、连杆 8、曲柄销装置 9、曲柄 10、减速器 11、刹车保险装置 12、刹车装置 13、电动机 14、配电柜 15 等组成。其工作原理如下：电动机 14 通过带传动把运动传递给减速器 11 的输入轴，经减速后，由减速器 11 的输出轴驱动曲柄

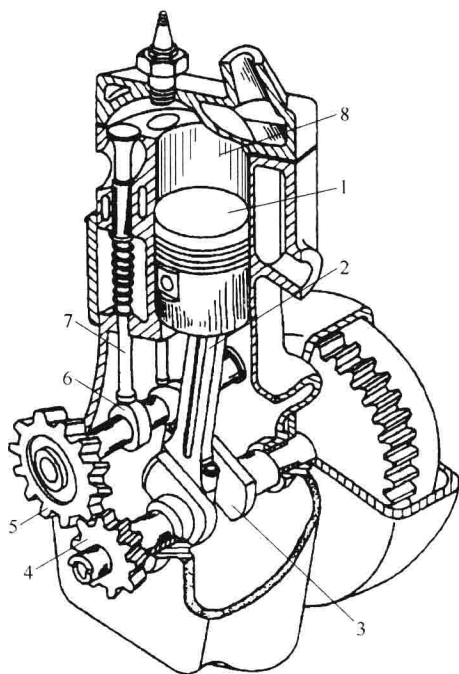


图 0-1 单缸内燃机

1—活塞；2—连杆；3—曲轴；4、5—齿轮；
6—凸轮；7—顶杆；8—汽缸体

10 作匀速圆周运动，曲柄 10 通过连杆 8 带动四杆机构的游梁 5 以支架上中央轴承为支点，作上下摆动，再通过固定在游梁前端的驴头 4 及其上悬绳器 3 带动抽油杆柱、油泵柱塞作上下往复直线运动，实现机械采油。

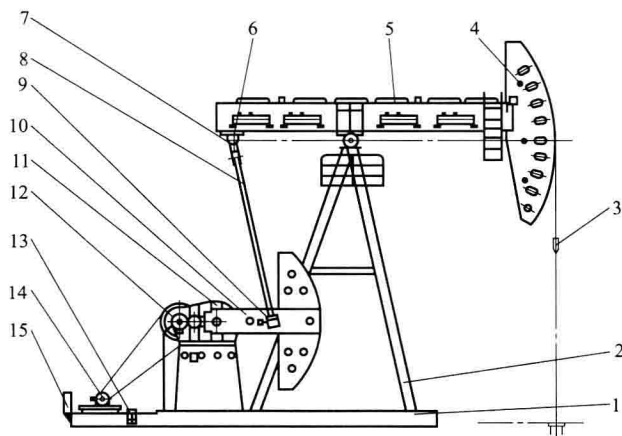


图 0-2 常规曲柄平衡抽油机

1—底座；2—支架；3—悬绳器；4—驴头；5—游梁；6—横梁轴承座；7—横梁；
8—连杆；9—曲柄销装置；10—曲柄；11—减速器；12—刹车保险装置；
13—刹车装置；14—电动机；15—配电柜

以上两种机械具有以下三个共同的特征：

- ① 是一种人为的多种实体的组合；
- ② 各实体之间具有确定的相对运动；
- ③ 能代替或减轻人的劳动，完成有效的机械功或能量的转换。

同时具备以上三个特征的实体组合称为机器；只具备前两个特征的实体组合称为机构。由此可见，机器与机构的重要区别在于：机器同时产生能量的转换和运动的传递，使之获得有用的机械功；而机构只反映各构件之间的相对运动关系，着重研究运动的传递。通常机器都由若干个机构所组成，如内燃机中包含曲柄滑块机构、齿轮机构和凸轮机构。但从组成和运动的观点看，机器与机构并无区别，所以通常将机器和机构统称为机械。

机器一般由以下几部分组成：动力部分、传动部分、执行部分、控制及辅助部分。各部分的组成及相互关系如图 0-3 所示。

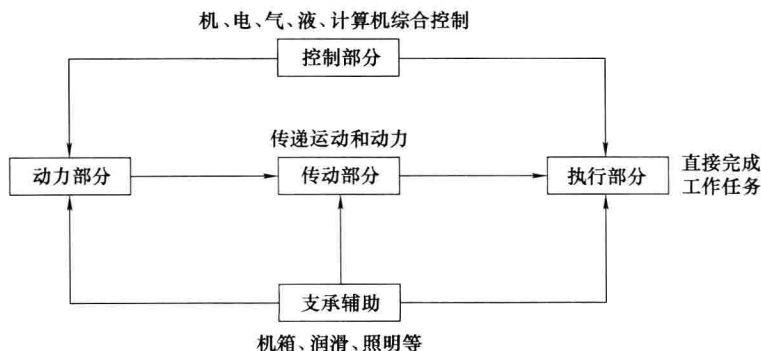


图 0-3 机器的组成及相互关系

机构中的运动单元称为构件。如图 0-4 所示内燃机的连杆即为构件，它由连杆体 1、连杆盖 3、螺栓 2 和螺母 4 等组成，组成该构件的每一个实体称为零件。零件是机械中最小的制造单元，是不可拆的基本单元，如连杆体。构件可以是一个零件，如内燃机中的曲轴；也可以是多个零件的刚性组合体，如连杆。

在机械中，对于一套协同工作且共同完成任务的零件组合，通常称为部件，如减速器、滚动轴承和联轴器等。

0.2.2 课程的内容

本课程主要讲述机械中的构件静力分析与承载能力分析，常用机构和机械传动以及零部件的工作原理、结构特点、运动特性、基本设计理论和计算方法，同时介绍一些零部件的选用原则、国家标准、机器设备的使用和维护等。

0.2.3 课程的任务

本课程是一门重要的专业基础课程，通过对本课程的学习，使学生达到以下基本要求：

- ① 掌握构件静力分析与承载能力分析的基本理论和基本计算方法，能初步具备解决工程实际问题的能力。
- ② 了解常用机构和机械传动以及零部件的工作原理、特点、类型及应用等基本知识。
- ③ 掌握常用机构和机械传动以及零部件的基本设计理论和设计方法。
- ④ 具有运用标准、规范、手册、图册等有关技术资料的能力。
- ⑤ 获得机械设计实验技能，并初步具有设计机械传动装置的能力。

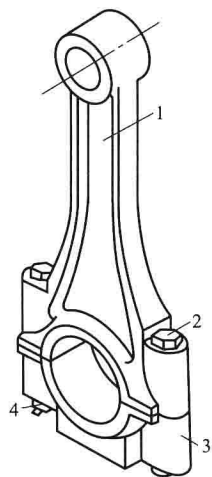


图 0-4 连杆

1—连杆体；2—螺栓；
3—连杆盖；4—螺母

0.3 机械设计的基本要求和一般程序

0.3.1 机械设计的基本要求

机械设计是指从社会需要出发，创造性地设计出具有特定功能的新机械或改进原有机械性能的全过程。设计机械时应满足以下基本要求：

- ① 预定功能要求 实现预定功能是设计机器的基本出发点。通过正确选择机器的工作原理、机构的类型、机械传动方案以及合理配置必要的辅助部分来实现。
- ② 可靠性要求 可靠性是指产品在规定的条件下和规定的时间内，完成规定功能的能力。机械产品的可靠性取决于设计、制造、管理、使用等各阶段。其中，产品的固有可靠性是由设计、制造阶段确定的。
- ③ 操作使用要求 所设计的机器操作方便和安全，操作方式要符合人们的心理、生理特征和习惯；改善操作者的工作环境，根据工程美学的原则，美化机器的外形及外部色彩等；同时要降低机器运转时的噪声，防止有毒、有害介质的渗漏。
- ④ 经济性要求 机器的经济性体现在设计、制造和使用的全过程中，是一个综合的技术指标。为此，设计者要正确使用材料，采用合理的结构尺寸和加工工艺，以降低产品的成本；设计机械系统和零部件时，应尽可能标准化、通用化、系列化，以提高设计质量、降低

制造和维护成本。

⑤ 其他要求 某些机器还有一些特殊的要求。例如：机床有长期保持精度的要求；飞机有质量小、飞行阻力小而运载能力大的要求；食品机械有不得污染产品的要求等。

0.3.2 机械设计的一般程序

机械设计并无固定的程序，视具体情况而定。以下是机械设计的一般程序。

(1) 制定设计任务书

首先应根据用户的需要和要求，对同类或相近产品进行调查研究，然后进行可行性分析，最后制定出设计任务书。设计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

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，拟定机器的总体设计方案；进行运动和动力分析，绘制机构简图等。方案设计是影响机械产品结构、性能、工艺、成本的关键环节，是实现机械产品创新的重要阶段。为此，常需从多种方案中，选取较理想的方案。

(3) 技术设计

在总体方案设计的基础上，确定机器各部分的结构和尺寸，绘制总装配图、部件装配图和零件图。这个过程一般是边设计、边计算、边修改，最后还应编制技术文件，包括设计计算说明书、使用说明书、标准件明细表等。

(4) 样机的试制与技术鉴定

样机试制是通过样机制造、使用、试验，检查及修正设计图纸，完善设计方案，更好地满足设计要求。然后对机器组织鉴定，从技术、经济上作出全面的评价。

(5) 产品定型

在样机的试制与鉴定基础上，将机器的全套设计图纸和全套技术文件提交产品定型鉴定会评审。在评审通过后，才可进行批量生产。

0.4 机械设计中的常用设计方法

(1) 理论设计

理论设计是指根据长期研究与实践总结出来的传统理论和实践数据进行的设计。在机械设计中，多数机构的尺寸设计和重要零、部件的工作能力设计均采用理论设计。

(2) 经验设计

根据长期使用中总结出来的经验公式或设计者本人的经验用类比法所进行的设计。其优点是简便、快捷，避免复杂计算。

(3) 模型实验设计

对于尺寸很大，结构复杂，工况条件特殊，又难以进行理论计算和经验设计的重要零件，可把初步设计的零、部件或机器制成小模型或小尺寸样机，通过实验手段对其各方面特性进行检验，再根据实验结果对原始设计进行修改，从而获得尽可能完善的设计结果。这种方法费时、费钱，只用于特别重要的设计。

(4) 计算机辅助设计 (CAD)

计算机辅助设计是把计算机技术引入设计过程，设计者通过使用 CAD 应用软件，在计

算机及其外围设备的辅助下进行的机械设计，如利用计算机进行计算、绘图、模拟以及其他作业。目前，CAD 技术已经成为现代机械设计的重要组成部分，在国内外的机械设计中被大量采用。市场上有很多通用和专用的应用软件，包括绘图软件（如 AutoCAD）、工程分析和计算软件（如 MATLAB）、有限元分析软件（如 ANSYS、Abaqus）、集成化的 CAD/CAM/CAE 软件（如 SolidWorks、UG、CAXA）等。

第一篇 构件的静力分析与承载能力分析

构件的静力分析是研究构件在平衡状态下的受力情况。为了简化研究的问题，静力分析中的“构件”被抽象为一个理想化的力学模型——刚体。所谓刚体，就是指在力的作用下不发生变形的物体。

构件的承载能力包括构件的强度、刚度和稳定性。

强度：构件在载荷作用下抵抗破坏的能力。

刚度：构件在载荷作用下抵抗变形的能力。

稳定性：构件在载荷作用下保持其原有平衡状态的能力。

在构件的承载能力分析时，把研究的对象视为变形固体，并对变形固体采用以下假设：

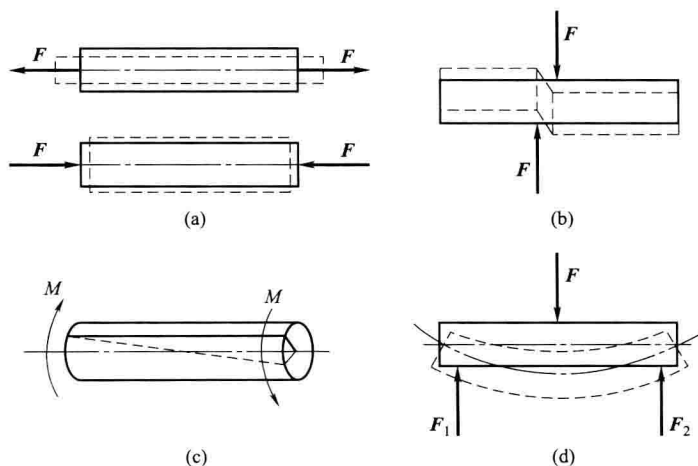
① 连续均匀假设：认为整个体积内无间隙地充满了材料，材料各点的力学性质完全相同。

② 各向同性假设：认为材料在各个方向具有相同的力学性质。

③ 小变形假设：绝大多数工程构件的变形都极其微小，比构件本身尺寸要小得多，在分析构件承受外力与运动时，通常不考虑变形的影响，而仍可以用变形前的尺寸。

在构件的承载能力分析时，所研究的仅限于杆、轴、梁等物体，其几何特征是纵向尺寸远大于横向尺寸，这类构件统称为杆或杆件。大多数工程结构的构件都可以简化为杆件。

杆件受力后，发生的变形是多种多样的，其基本变形形式有轴向拉伸与压缩 [图 (a)]、剪切 [图 (b)]、扭转 [图 (c)]、弯曲 [图 (d)] 四种。其他复杂的变形形式，均可看成是上述基本变形形式的组合。



本篇首先研究刚体的平衡问题，然后研究构件受力后发生基本变形时的强度、刚度问题，对于复杂变形形式下的强度问题，通过点的应力状态和强度理论进行求解。最后研究了压杆的稳定性问题。

第 1 章 构件的静力分析

1.1 静力学基础

1.1.1 静力学基本概念

(1) 力与力系

力是物体之间的相互机械作用，其作用效应是使物体的机械运动状态发生改变和形状发生变化。前者称为力的外效应，后者称为力的内效应。

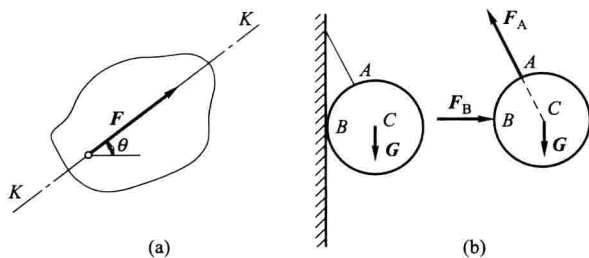


图 1-1 力的表示

实践证明，力对物体的作用效应取决于力的大小、方向和作用点，这三个因素通常称为力的三要素。

力是矢量，常用一个有向线段表示，如图 1-1 所示。其中，线段的长度表示力的大小，箭头指向表示力的方向，线段的起点或终点表示力的作用点。用英文字母表示力时，常以黑体字母表示力的矢量，白体字母表示力的大小。

力的国际单位为牛顿 (N) 或千牛顿 (kN)。

力系是指作用于同一物体上的一群力。若在某一力系作用下，物体处于平衡状态，则称该力系为平衡力系。若两个力系分别作用于同一物体，且其作用效应相同，则称这两个力系等效。当一个力与一个力系等效时，则称该力为这一力系的合力，而该力系中的每一个力称为此合力的分力。

(2) 刚体

在力的作用下不变形的物体称为刚体。实际上，任何物体受力后都要发生程度不同的变形，但在很多情况下，物体受力后的变形很小，对物体平衡状态的影响可忽略不计，则可以抽象为刚体。在构件静力分析时，除绳索、链条、皮带等柔性体以外的物体，全部视为刚体。

(3) 力对点的矩

不通过质心的力作用于物体时，不但使物体产生移动效应，还会有转动效应。例如打乒乓球削球时，球拍施加给球的作用力不通过球心，则乒乓球在移动的同时还会产生转动。物体的这种转动效应用力对点的矩来度量。

如图 1-2 所示，力 F 作用时，物体绕 O 点转动，力 F 对 O 点的矩（简称力矩）为

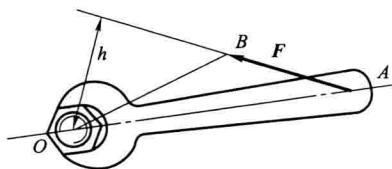


图 1-2 力对点的矩