



高职高专“十二五”规划教材

机械设计基础

李文兴 时彦林 刘杰 主编



JIXIE SHEJI JICHU



化学工业出版社

高职高专“十二五”规划教材

机械设计基础

李文兴 时彦林 刘 杰 主 编
王俊伟 于荣贤 赵振学 副主编
臧占文 主 审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书以机械设计为主线，融入工程力学、机械原理、机械零件等知识，使读者通过本书的学习，能够掌握常用机构和通用零件的基本理论和基本知识，具备初步的机械分析、设计能力。内容全面、系统，具有实用价值。内容包括绪论、构件的受力分析、变形及强度计算基础、平面机构运动简图及自由度、常用机构、齿轮及其传动、轮系、带传动与链传动、螺纹连接、轴及其连接件、轴承、机械装置的润滑与密封共 11 章。

本书可作为高职高专及成人院校的机械类专业教材，也可供工业企业从事机械设计工作的技术人员参考使用或作为培训教材。

326650

图书在版编目 (CIP) 数据

机械设计基础/李文兴, 时彦林, 刘杰主编. —北京:
化学工业出版社, 2012. 8
高职高专“十二五”规划教材
ISBN 978-7-122-14854-4

I. ①机… II. ①李…②时…③刘… 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 158812 号

责任编辑: 张双进 韩庆利

文字编辑: 闫 敏

责任校对: 吴 静

装帧设计: 王晓宇

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 15½ 字数 387 千字 2012 年 10 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: 32.00 元

版权所有 违者必究

前 言

机械设计基础是机械类各专业的一门重要的专业基础课，它以机械设计为主线，将工程力学、机械原理、机械零件等课程的主要内容进行精选，优化组合，使其成为一门完整系统的综合性课程。学习者通过本课程的学习，能够掌握常用机构和通用零件的基本理论和基本知识，具备初步的机械分析、设计能力。

本教材在编写过程中遵循了理论教学以应用为主，以必需、够用为度，加强了实用性内容，突出了理论和实践相结合，使教材内容尽量体现“宽、浅、用、新”，在教材结构上和叙述方式上遵循由浅入深、循序渐进的认知规律。全书共分 11 章，主要介绍了工程力学、常用机构、传动类零件、连接类零件、轴类零件、机械装置的润滑与密封等基础知识。

本书可作为高职高专及成人院校的机械类专业教材，也可供工业企业从事机械设计工作的技术人员参考使用或作为培训教材。

本书由李文兴、时彦林、刘杰任主编，王俊伟、于荣贤、赵振学任副主编。参加本书编写的还有班玉成、高金燕、赵宇辉、李秀娜。本书承河北科技大学臧占文教授担任主审。

在本书的编写过程中，编者参考了很多相关的资料和书籍，在此向有关资料和书籍的作者表示感谢。

限于编者的水平和经验有限，书中难免有不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2012 年 7 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 本课程研究的对象、内容	1
1.1.1 本课程的研究对象	1
1.1.2 本课程的主要内容	2
1.2 机械设计基础知识	2
1.2.1 机械零件设计的基本要求	2
1.2.2 机械零件的选用与工艺性要求	3
1.2.3 机械零件设计的基本准则	3
1.2.4 机械设计方法的发展	4
1.3 机械设计课程的特点和学习方法	4
思考与习题	5
第2章 构件的受力分析、变形及强度计算基础	6
2.1 力及其公理	6
2.2 主动力与约束力	8
2.2.1 外载荷的类型	8
2.2.2 常见的平面力系约束类型	9
2.3 物体的受力分析和力图	11
2.4 平面汇交力系的合成与平衡条件	12
2.5 力矩和力偶	12
2.5.1 力矩及其计算	12
2.5.2 力偶	13
2.6 刚体的定轴转动	14
2.6.1 转速和线速度	14
2.6.2 转矩的功率	14
2.7 杆件变形的基本形式	15
2.7.1 拉伸和压缩	15
2.7.2 拉伸和压缩时材料的力学性能	17
2.7.3 许用应力和安全系数	18
2.7.4 剪切和挤压	19
2.7.5 圆轴扭转	20
2.7.6 弯曲	23
2.7.7 疲劳失效	26
2.7.8 材料的疲劳极限	28
2.7.9 影响构件疲劳极限的因素	29
2.7.10 提高构件疲劳强度的措施	30
思考与习题	30
第3章 平面机构运动简图及自由度	33
3.1 运动副	33
3.1.1 低副	33
3.1.2 高副	33
3.2 平面机构的运动简图	34
3.2.1 机构运动简图的概念	34
3.2.2 机构运动简图的绘制方法	34
3.3 平面机构的自由度	37
3.3.1 平面机构自由度的计算	37
3.3.2 自由度计算中的三类问题	38
思考与习题	40
第4章 常用机构	42
4.1 四杆机构	42
4.1.1 四杆机构的基本类型	42
4.1.2 四杆机构的工作特性	46
4.1.3 四杆机构的设计	50
4.1.4 多杆机构简介	52
4.2 凸轮机构	53
4.2.1 凸轮机构的应用和分类	54
4.2.2 从动件的常用运动规律	55
4.2.3 凸轮轮廓设计与凸轮结构尺寸的确定	58
4.2.4 凸轮机构的材料、结构和精度	62
4.3 螺旋机构	64
4.3.1 螺纹的基本知识	64
4.3.2 螺旋机构的传动形式	66
4.4 间歇运动机构	68
4.4.1 棘轮机构	68

4.4.2 槽轮机构	72
4.4.3 不完全齿轮机构	74

思考与习题	74
-------------	----

第5章 齿轮及其传动

5.1 概述	77	5.9.3 传动比及其从动轮的旋转方向	94
5.1.1 齿轮机构的特点及应用	77	5.9.4 螺旋齿轮传动的优缺点	94
5.1.2 齿轮机构的分类	77	5.10 齿轮传动的失效形式和设计准则	94
5.1.3 对齿轮传动的两点要求	78	5.10.1 齿轮的失效形式	94
5.2 瞬时传动比与齿廓曲线的关系	78	5.10.2 设计准则	96
5.3 渐开线及其性质	78	5.11 齿轮常用材料	96
5.3.1 渐开线的性质	78	5.11.1 钢材	97
5.3.2 渐开线极坐标参数方程	79	5.11.2 铸铁	97
5.3.3 渐开线齿廓满足瞬时定比传动	79	5.11.3 非金属材料	97
5.3.4 渐开线齿廓传动的特点	80	5.12 齿轮传动的精度	98
5.4 齿轮各部分的名称和标准渐开线齿轮的几何尺寸	80	5.12.1 精度等级	98
5.4.1 齿轮各部分的名称	80	5.12.2 齿侧间隙	99
5.4.2 标准渐开线直齿圆柱齿轮主要参数	81	5.12.3 精度的标注	99
5.4.3 标准齿轮的几何尺寸计算	81	5.13 标准直齿圆柱齿轮传动的强度计算	100
5.4.4 任意圆上的齿厚 s_x	82	5.13.1 受力分析	100
5.5 标准渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	83	5.13.2 计算载荷	101
5.5.1 渐开线齿轮正确啮合的条件	83	5.13.3 齿根弯曲疲劳强度计算	101
5.5.2 标准齿轮传动的中心距和啮合角	83	5.13.4 齿面接触疲劳强度计算	104
5.5.3 标准齿轮传动的重合度	84	5.14 标准斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	109
5.6 渐开线轮齿的切削加工原理	85	5.14.1 受力分析	109
5.6.1 仿形法	85	5.14.2 齿根弯曲疲劳强度计算	110
5.6.2 范成法	86	5.14.3 齿面接触疲劳强度计算	110
5.6.3 标准渐开线轮齿的根切现象和最少齿数	87	5.15 蜗杆传动	112
5.7 变位齿轮简介	87	5.15.1 概述	112
5.8 斜齿圆柱齿轮机构	88	5.15.2 蜗杆蜗轮的形成	113
5.8.1 斜齿圆柱齿轮齿廓曲面的形成和啮合特点	88	5.15.3 圆柱蜗杆传动的基本参数与几何计算	113
5.8.2 斜齿圆柱齿轮的几何尺寸计算	89	5.15.4 蜗杆传动的正确啮合条件	113
5.8.3 斜齿轮的正确啮合条件	91	5.15.5 传动比和蜗轮的转向	116
5.8.4 斜齿轮传动的重合度	92	5.15.6 蜗轮蜗杆传动的滑动速度	116
5.8.5 斜齿圆柱齿轮的当量齿数	92	5.15.7 蜗杆的直径 d_1 和直径系数 q	116
5.8.6 斜齿轮传动的主要优缺点	93	5.15.8 蜗杆传动的优缺点	116
5.9 螺旋齿轮传动	93	5.15.9 蜗杆传动的失效形式、常用材料和结构	117
5.9.1 几何参数	93	5.15.10 蜗杆传动的强度计算	118
5.9.2 正确啮合的条件	94	5.15.11 蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算	120
		5.16 直齿圆锥齿轮传动	124

5.16.1 锥齿轮传动的特点和应用	124	5.17.2 受力分析	128
5.16.2 锥齿轮的背锥和当量齿轮	124	5.17.3 齿根弯曲疲劳强度计算	128
5.16.3 直齿锥齿轮的啮合传动	125	5.17.4 齿面接触疲劳强度计算	129
5.17 标准直齿圆锥齿轮传动的强度 计算	127	5.18 齿轮的结构设计	129
5.17.1 几何关系	127	思考与习题	131
第6章 轮系	134		
6.1 轮系的分类	134	6.3.2 可获得变速和换向传动	139
6.2 轮系传动比	134	6.4 其他行星轮系简介	139
6.2.1 定轴轮系传动比	134	6.4.1 渐开线少齿差轮系	139
6.2.2 周转轮系传动比	135	6.4.2 谐波齿轮机构	139
6.3 周转轮系的功用	137	6.4.3 摆线针轮行星齿轮机构	140
6.3.1 可实现运动的合成和分解	137	思考与习题	141
第7章 带传动、链传动	143		
7.1 带传动的组成、类型、特点及其 应用	143	7.7 V带传动的张紧、安装和维护	155
7.1.1 带传动的组成	143	7.7.1 V带传动的张紧	155
7.1.2 带传动的主要类型	143	7.7.2 带传动的安装和维护	156
7.1.3 带传动的特点和应用	144	7.8 链传动的组成、类型、特点及应用	156
7.2 带传动的受力分析和应力分析	145	7.8.1 链传动的组成	156
7.2.1 带传动的受力分析	145	7.8.2 链传动的类型	157
7.2.2 带传动的应力分析	146	7.8.3 链传动的特点和应用	157
7.3 带传动的弹性滑动及其传动比	147	7.9 滚子链传动	157
7.4 普通V带传动的失效形式与设计 准则	148	7.9.1 滚子链的结构和标准	157
7.4.1 带传动的失效形式	148	7.9.2 滚子链链轮	159
7.4.2 带传动的设计准则	148	7.10 链传动的运动不均匀性	159
7.5 普通V带的结构和标准	152	7.11 滚子链传动的失效形式与设计 准则	160
7.6 普通V带轮的常用材料与结构	154	7.11.1 滚子链传动的失效形式	160
7.6.1 V带轮的材料	154	7.11.2 滚子链的设计准则	161
7.6.2 V带轮的结构和尺寸	154	思考与习题	163
第8章 螺纹连接	164		
8.1 螺纹连接件与螺纹连接的基本类型	164	8.3.1 普通螺栓连接的强度计算	169
8.1.1 常用螺纹连接件及应用	164	8.3.2 铰制孔螺栓的强度计算	170
8.1.2 螺纹连接件的基本类型及应用	164	8.3.3 螺纹连接件常用材料及许用 应力	171
8.2 螺纹连接的预紧和防松	167	8.4 螺纹连接结构设计要点	173
8.2.1 螺纹连接的预紧	167	思考与习题	174
8.2.2 螺纹连接的防松	167		
8.3 螺栓连接的强度计算	168		

第 9 章 轴及其连接件	175
9.1 轴	175
9.1.1 轴的功用与分类	175
9.1.2 轴的材料	176
9.1.3 轴的结构设计	177
9.1.4 轴的强度计算	181
9.1.5 轴的刚度校核简介	185
9.2 轴毂连接	186
9.2.1 键连接	186
9.2.2 花键连接与销连接	190
9.3 联轴器、离合器和制动器	191
9.3.1 联轴器	192
9.3.2 离合器	195
9.3.3 制动器	197
思考与习题	198
第 10 章 轴承	199
10.1 轴承概述	199
10.2 非液体摩擦滑动轴承的主要类型、 结构和材料	199
10.2.1 向心滑动轴承	199
10.2.2 推力滑动轴承	201
10.2.3 轴瓦和轴承衬	202
10.2.4 轴承材料	202
10.3 非液体摩擦滑动轴承的设计计算	205
10.3.1 计算准则	205
10.3.2 设计步骤	205
10.3.3 向心滑动轴承的校核计算	205
10.4 滚动轴承的组成、类型及特点	206
10.4.1 滚动轴承的组成	206
10.4.2 滚动轴承的类型及特点	206
10.5 滚动轴承的代号	208
10.5.1 基本代号	208
10.5.2 前置代号	210
10.5.3 后置代号	210
10.5.4 轴承代号表示法举例	211
10.6 滚动轴承类型选择	211
10.6.1 轴承的受载情况	211
10.6.2 轴承的转速	211
10.6.3 对轴承的特殊要求	212
10.6.4 经济性	212
10.7 滚动轴承的失效形式及寿命计算	212
10.7.1 滚动轴承的主要失效形式	212
10.7.2 滚动轴承的设计准则	212
10.7.3 轴承的寿命计算	212
10.7.4 向心角接触轴承实际轴向载荷的 计算	220
10.8 滚动轴承组合设计	222
10.8.1 滚动轴承的轴向固定	222
10.8.2 轴系的轴向定位	222
10.8.3 滚动轴承组合结构的调整	223
10.8.4 滚动轴承的装拆	225
思考与习题	226
第 11 章 机械装置的润滑与密封	227
11.1 常用润滑剂及选择	227
11.1.1 润滑油	227
11.1.2 润滑脂	229
11.1.3 固体润滑剂	230
11.2 常用润滑方式及装置	230
11.2.1 油润滑方式及装置	230
11.2.2 脂润滑方式及装置	232
11.3 常用传动装置的润滑	232
11.3.1 滑动轴承的润滑	232
11.3.2 滚动轴承的润滑	232
11.3.3 齿轮传动的润滑	234
11.3.4 蜗杆传动的润滑	234
11.4 机械装置的密封	235
11.4.1 静密封	236
11.4.2 动密封	236
思考与习题	238
参考文献	239

第1章 绪 论

1.1 本课程研究的对象、内容

机械广泛应用于生产、生活各个领域，机械设计和制造水平已经成为衡量一个国家科学技术水平和现代化水平的重要标志。在工业生产中，机械工程是最基本的技术科学之一，其中，机械设计学科又是机械工程科学的基础。可见，工程技术人员掌握机械设计知识的重要性。

机械设计基础课程是一门培养学生具有一定机械设计能力的技术基础课。

1.1.1 本课程的研究对象

本课程研究的对象是机械。机械是机器和机构的统称。

什么是机器？在英语中，机器译为 machine and mechanism。在生产实践和日常生活中，广泛地使用着各种机器，如自行车、拖拉机、汽车、起重机、机床等。机器的种类繁多，用途千差万别，但都有着共同的特性。

机器的作用是实现能量转换或完成有用的机械功，用以减轻或代替人的劳动。一台机器无论用途如何，内部结构多么复杂，一般都由四部分组成：动力系统、传动系统、执行系统和控制系统。

机器都具有以下特征：都是组合实体，各部分分别制造，再经装配组成机器；各实体间必具有确定的相对运动；可实现能量和信息的转化，完成有用的机械功。

什么是机构呢？从研究机器的工作原理、运动特点和设计机器的角度看，机器可视为若干机构的组合。机构可以看成机器当中的传动系统。

单缸内燃机如图 1-1 所示。当燃气推动活塞 4 做往复移动时，通过连杆 3 使曲柄 2 做连续转动，从而将燃气的压力能转换为曲柄的机械能。齿轮、凸轮和推杆的运动规律按时开闭阀门，以吸入燃气和排出废气。这种内燃机可视为下列三种机构的组合。

① 曲柄滑块机构。由活塞 4、连杆 3、曲柄 2 和机架 1 构成，作用是将活塞的往复移动转换为曲柄的连续转动。

② 齿轮机构。由齿轮 9、10 和机架 1 构成，作用是改变转速的大小和转动的方向。

③ 凸轮机构。由凸轮 8、推杆 7 和机架 1 构成，作用是将凸轮的转动变为推杆的往复移动。

上述曲柄滑块机构、凸轮机构和齿轮机构在机器中的作用是传递运动和力，实现运动形式或速度的变化。

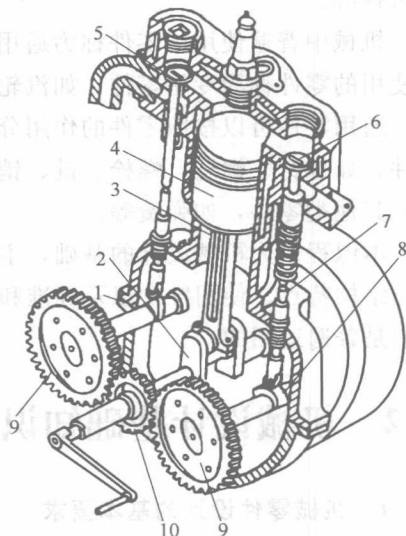


图 1-1 单缸内燃机

- 1—机架（气缸体）；2—曲柄；3—连杆；
4—活塞；5—进气阀；6—排气阀；
7—推杆；8—凸轮；9、10—齿轮

机构必须满足两点要求：首先，它是若干构件的组合；其次，这些构件均有确定的相对运动。

所谓构件，是指机构的基本运动单元。它可以是单一的零件，或者几个零件连接而成的运动单元。构件可以定义为由若干零件组成但无相对运动的刚性连接。如图 1-1 中的内燃机连杆，就是由如图 1-2 所示连杆体 1、连杆盖 5、螺栓 2、螺母 3、开口销 4、轴瓦 6 和轴套 7 等多个零件构成的一个构件；又如图 1-3 中的齿轮-凸轮轴，则是由凸轮轴 1、齿轮 2、键 3、轴端挡圈 4 和螺钉 5 等零件构成的。显然，零件是制造的基本单元。

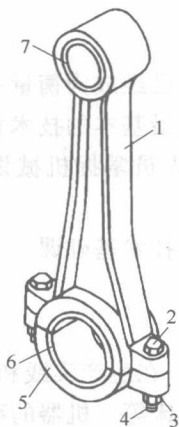


图 1-2 内燃机连杆

1—连杆体；2—螺栓；3—螺母；4—开口销；
5—连杆盖；6—轴瓦；7—轴套

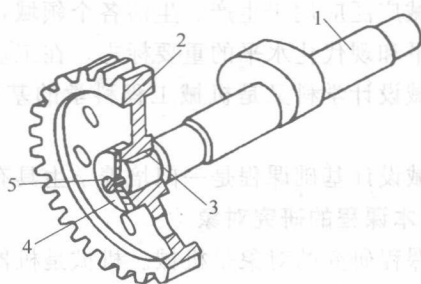


图 1-3 齿轮-凸轮轴

1—凸轮轴；2—齿轮；3—键；
4—轴端挡圈；5—螺钉

1.1.2 本课程的主要内容

机械中经常使用的机构称为常用机构，如平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构和间歇运动机构等。

机械中普遍使用的零件称为通用零件，如齿轮、轴、螺钉和弹簧等。只在某一类型机械中使用的零件称为专用零件，如汽轮机的叶片、内燃机的活塞等。

通用零件可以按照零件的作用分成以下类型：传动类零件，如齿轮、带、链等；连接类零件，如螺钉、螺柱、螺栓、键、销等；轴类零件，如轴、轴承以及轴上的联轴器、离合器等；其他类零件，如弹簧等。

本课程作为机械设计的基础，主要介绍机械中常用机构和通用零件的工作原理、运动特性、结构特点、使用维护以及标准和规范。这些内容是机械设计的基本内容，在各种机械设计中是普遍适用的。

1.2 机械设计基础知识

1.2.1 机械零件设计的基本要求

机械的种类很多，用途、结构、性能差别很大，但设计的基本要求大致相同。基本要求如下。

(1) 使用要求

即满足使用功能和适应环境。如运动形式、速度、精度、工作振动的稳定性和所传递的

功率以及寿命等。

(2) 制造工艺性和经济性 是在满足使用要求的前提下,结构简单、便于加工和维护,即零件的加工工艺性和装配工艺性好,以降低设计和制造成本,使产品质优价廉,具有市场竞争力。

(3) 通用性要求

即满足标准化、通用化、系列化的要求。现在我国已经加入 WTO,新产品和出口产品应优先采用国际标准,国家标准也将和国际标准逐渐接轨。

(4) 可靠性要求

可靠性要求是指在规定的使用期(寿命)内和预定的环境条件下,机械能够正常工作的一定概率。机械的可靠性是机械的一种重要属性。

(5) 其他特殊要求

对不同的用户,设计的机械产品还应满足一些特殊的要求。例如,对机床有长期保持精度的要求;对流动使用的机器有便于安装和拆卸的要求;对大型机器有便于起重运输的要求等。此外,随着人们审美观念不断提高,还要满足装潢美学要求,即造型美观大方、简洁流畅等。

1.2.2 机械零件的选用与工艺性要求

(1) 机械零件的选用

① 根据使用要求选用。使用要求一般包括:零件的工作和受载情况;对零件尺寸和质量的限制;零件的重要程度等。

② 根据制造零件的工艺性选用。由于制造零件的工艺不同,同一材料制造的零件内力和应力不同,即材料的力学性能不同。因此,材料的制造工艺对零件的选用很重要。

③ 按经济要求选用。经济性首先表现为零件的相对价格。相同的材料加工同种规格的零件,其加工工艺不同。因此,相对价格也就不同。影响经济性的因素还有材料的利用率等。

(2) 机械零件的工艺性

在一定的生产条件下,加工费用和工时最少的零件,就认为具有良好的工艺性。但是不能把零件的工艺性和整个机器的工艺性分割开来。单个零件要具有良好的工艺性,而且要使整机便于安装和维修。工艺性的基本要求如下。

① 与生产条件、批量大小及获得毛坯的方法相适应。单件或小批量生产的零件,应充分利用现有的生产条件。以齿轮为例,当直径较大($>600\text{mm}$)时,用一般的锻压设备难于锻造,采用焊接件较为合理;若批量较大,则可采用铸件。

② 造型简单化。形状越复杂,制造越困难,产品成本也越高。在可能范围内,应采用最简单的表面(如平面、圆柱面、共轭曲面等)及其组合。同时力求减少加工面积和数量。

③ 加工的可能性、方便性、精确性和经济性。画出来的零件不一定能够制造,即使能加工,也不一定满足加工方便和精度要求,不满足精度要求即为废品。而 CAD/CAM 能满足编程则可加工。

1.2.3 机械零件设计的基本准则

机械设计除基本要求外,还需有设计准则。在此,需要首先理解“失效”的概念。机械零件丧失工作能力或达不到工作能力时称为失效。失效并不单纯意味着破坏,例如传动带传动出现打滑现象,使传动不能顺利进行,即传动失效,但传动带不一定遭到破坏。失效分为

永久性失效和暂时性失效。常见的失效形式有：强度不足而断裂，刚度不够而产生过大的弹性和塑性变形。磨损、打滑或过热使运动精度达不到要求，震动稳定性及可靠性差等。机械设计的准则，就是根据零件的失效形式作出原因分析，针对性地进行强度或刚度设计计算，以保证机械或零件在使用期限（寿命）内不失效。

1.2.4 机械设计方法的发展

机械设计方法是伴随着现代科学技术的发展、社会的进步、生产力的高速增长而产生的。设计吸收了当代各种先进的科学方法，逐渐形成了研究现代设计规律、方法、程式等一门多元性的新兴交叉科学体系——现代设计方法。现代设计方法具有程式性、创造性、探究性、优化性、综合性、CAD 等特点。现代设计方法实质上是科学方法论在工程设计中的应用。它的形成使设计领域产生了突破性的变革。

传统的设计方法是静态的、经验的、手工的，是被动地重复分析产品的性能；而现代设计方法是动态的、科学的、计算机化的，是主动地、创造性地设计产品参数，其目的是使设计过程自动化、合理化，从而设计出高质量、低成本的技术产品，以满足社会的需求。

现代机械设计方法是一门广义的综合性学科，所用方法较多。下面就机械设计中目前常用的方法加以简要介绍。

(1) 设计方法学

属系统论方法，是研究产品设计的程序、规律及设计中的思维和工作方法的一门新型综合性学科。

(2) 相似性设计

属对应论方法，是相似理论在产品系列化设计中的应用。在具有相同功能、相同结构方案、相同或相似加工工艺的产品中，选定某一中档的产品为基型，通过最佳方案的设计，确定其材料、参数和尺寸，再按相似理论设计出不同参数和尺寸的其他产品，从而构成不同规格的系列化产品。

(3) 最优化设计

属优化论方法，是根据最优化原理，采用最优化数学方法，以人机配合方式或自动搜索方式，在计算机上应用计算程序进行半自动或自动设计，选出工程设计中最佳设计方案的一种现代设计方法。

(4) 可靠性设计

属功能论方法，其设计的正确与否在很大程度上决定了零部件或系统等在正常使用条件下的工作是否长期可靠、性能是否长期稳定的特性，即可靠性。

(5) 计算机辅助设计

属智能论方法，简称 CAD，它是利用计算机辅助设计人员进行产品设计，以实现最佳设计效果的一门涉及图形处理、数据分析等多学科高度集合的新技术。

(6) 有限单元法

属离散论方法，是将连续体简化为有限个单元组成的离散化模型，再对这一模型进行数值求解的一种实用有效的方法。

1.3 机械设计课程的特点和学习方法

机械设计基础是机械类专业基础课程，有很强的实践性，建议学习者在学前、学中和学

后多到制造类企业参观实习,以加深对课程内容的认识。

另外,课程内容涉及范围广,各章节知识点多也是困扰初学者的问题。但只要牢牢抓住课程“一个研究对象——机械,两个基本内容——常用机构、通用零件”的主线,参照《机械设计手册》中的内容,多研究,多思考,就不难取得较好的学习效果。

思考与习题

- 1-1 何为机器?它具有哪些特征?它与机构有什么区别?
- 1-2 构件与零件有什么区别和联系?通用零件与专用零件有什么区别?请举例说明。
- 1-3 列举生活中所见到的事例来说明机构的应用。
- 1-4 什么叫失效?机械设计的准则是什么?机械设计中应满足哪些基本要求?
- 1-5 试述机械设计方法的发展情况。



图 1-1 机器示意图



图 1-2 机器示意图

第2章 构件的受力分析、变形及强度计算基础

当机械运转时,其构件在外力(载荷)作用下,可能遭到破坏或产生过大的变形,导致机器不能正常工作。为此,必须对构件进行受力分析,并对其变形和破坏等问题加以讨论,在保证构件安全经济的前提下,合理选择材料,合理研究构件截面尺寸和形状,以满足机器的正常运转,本章的学习将为解决这些问题提供必要的力学基础。

2.1 力及其公理

力是物体之间的相互机械作用,力的作用效果是物体的运动状态发生变化或变形。其作用效果取决于力的三要素,即力的大小、方向和作用点。力的单位名称为牛[顿],以符号N表示。

公理一:二力平衡

如图2-1所示,作用在同一刚体上的两个力 F_1 和 F_2 ,使刚体处于平衡状态的必要和充分条件是:二力等值、反向、共线。各种构件只有两个着力点而平衡的构件称为二力构件,若构件呈杆状形,则称其为二力杆。特点是所受力必在其两作用点的连线上。

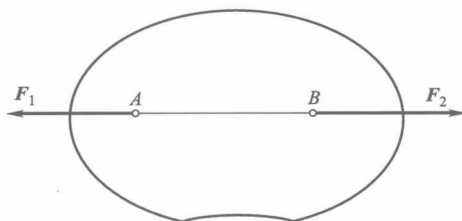


图 2-1 二力平衡

公理二:加减平衡力系

在已知力系的刚体上,加上或减去任意平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用效果。根据此公理的应用,可得出力的可传递性原理:作用于刚体上某点的力,可沿着它的作用线移到刚体内任意一点,而不改变该力对刚体的作用效果。其证明如图2-2所示。力 F 作用于A点,在其作用线上任意取一点B,若在B点加上两个平衡力 F_1 和 F_2 ,即 $F_2 = F$, $F_1 =$

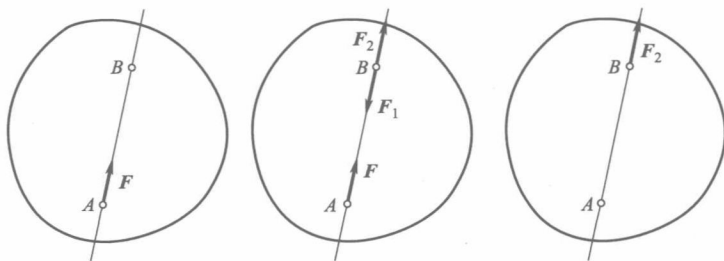


图 2-2 力的可传递性

$-F$, 显然若除去 F 和 F_1 所组成一对平衡力, 则刚体上只剩下 F_2 并与 F 等效, 即原来的力 F 沿作用线从 A 点移到 B 点。这就是力的可传递性。

公理三: 力的平行四边形法则

如图 2-3 所示, 作用于物体上同一点 O 的两个力, 合成一个合力 F , 如图 2-3 (a) 所示, 作用点仍在 O , 其大小和方向, 用 F_1 和 F_2 为邻边所构成的平行四边形的对角线即为合力 F 。为简便只作出对角线一侧的 $\triangle OAB$ 即可, 如图 2-3 (b) 所示, 此法称为力的三角形法则。它是力的合成和分解的依据, 也是简化复杂力系的基础。由此还可推出三力平面汇交定理。如图 2-4 (a) 所示, 物体上 A 、 B 、 C 三点作用着共面且不平行的三个力 F_1 、 F_2 和 F_3 , 使物体平衡。根据力的可传递性, 将力 F_1 和 F_2 分别沿其作用线移到它们的交点 O , 其合力为 F , 则力 F 应与 F_3 平衡。根据二力平衡公理, F 和 F_3 必在同一直线上, 所以 F_3 必通过 O 点。即 F_1 、 F_2 和 F_3 三力汇交, 并称此物体为三力构件。

应注意: 三力平衡汇交定理是共面且不平行的三力平衡的必要条件, 但不是充分条件, 即同一平面作用汇交于一点的三个力不一定是平衡的。

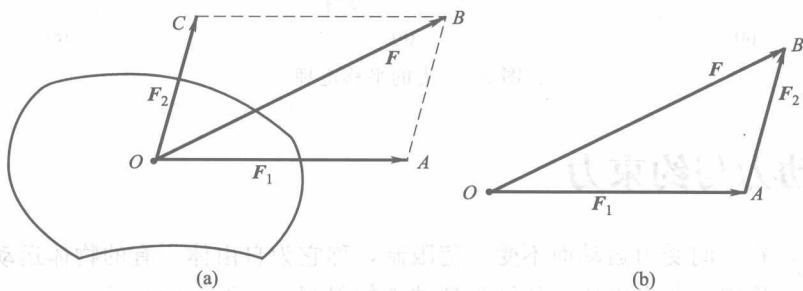


图 2-3 力的平行四边形法则

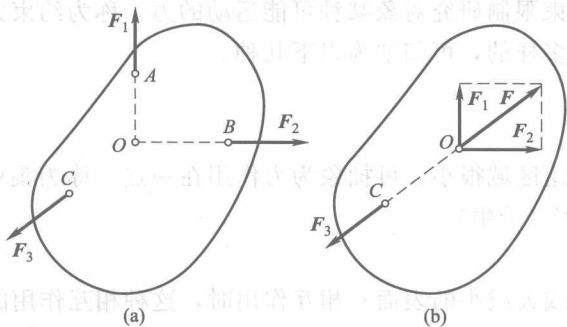


图 2-4 三力平面汇交定理

公理四: 作用与反作用公理

两个物体间的作用力与反作用力总是成对出现, 且等值、反向、沿着同一直线, 分别作用在两个物体上。

关于力的平移定理。力对物体的作用效果取决于力的大小、方向和作用点, 且力沿作用线移动时, 对物体作用效果不变。但若将力的作用线平移到另一位置, 则力对物体的作用效果将发生改变。

如图 2-5 (a) 所示, 将刚体上 A 点的力 F , 平移到 O 点, 如何等效。设在 O 点添加一对等值、反向的力 F' 和 F'' , 即 $F' = F'' = F$, 如图 2-5 (b) 所示。 F 、 F' 和 F'' 可看成作用于

O 点的 F' 和由 F 和 F'' 组成的力偶矩 M , 如图 2-5 (c) 所示。显然, F 、 F' 和 F'' 组成的新力系与原来的一个力 F 等效。这三个力可以看作是作用于 O 点的力 F' 和一个附加的力偶 M (F' , F'')。

以上说明, 附加力矩大小及转向与 F 对 O 点的矩相同, 所以力的平移定理是, 若将刚体上某点的力平移到刚体的另一点, 而不改变原有力的作用效果, 则必须添加一个力偶, 其力偶矩等于原有力对作用点的矩。也可理解为, 将原有力分解到作用于 O 点的另一平行力 F' 及一个力偶矩 M (F' , F'')。

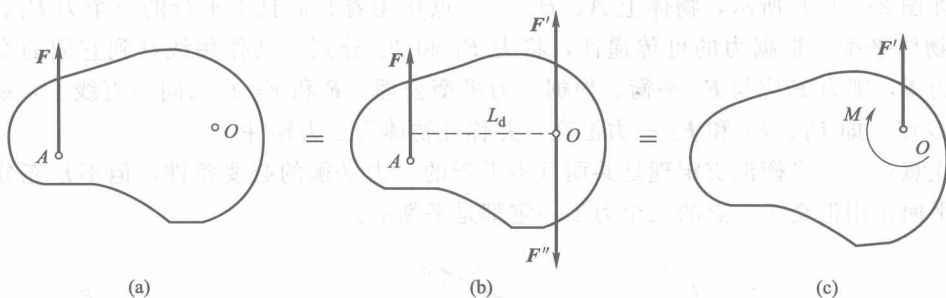


图 2-5 力的平移定理

2.2 主动力与约束力

一个物体, 在空间受力运动而不受任何限制, 称它为自由体。有的物体运动受到周围物体的某些限制, 称它为非自由体, 如轴受到轴承的限制, 只能绕轴心转动。

工程中常把研究对象所受的力分为两类: 一是使研究对象可能产生运动的力称为主动力或称载荷; 另一类是约束限制研究对象某种可能运动的力, 称为约束力。

载荷的形式是多种多样的, 可归纳为以下几种。

2.2.1 外载荷的类型

(1) 集中力

若外力对物体的作用区域很小, 可抽象为力作用在一点, 称为集中力, 以 F 或 P 表示, 其单位为 N (牛) 或 kN (千牛)。

(2) 表面力

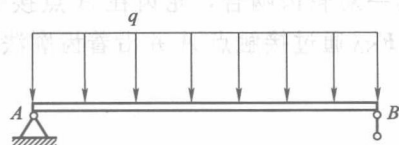
当两个物体接触 (或大或小的表面) 相互作用时, 这种相互作用的力称为表面力。分布在物体表面上的力的大小, 通常用单位面积上的力表示, 称为分布力集度, 单位是 N/m^2 或 kN/m^2 。

(3) 线分布载荷

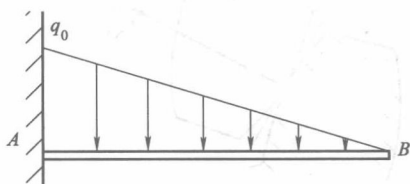
当分布力沿轴线作用时, 称为线分布载荷, 它以单位长度上的力的大小作为载荷集度, 以 q 表示, 单位为 N/m 或 kN/m 。如图 2-6 (a) 所示为均布载荷, 如图 2-6 (b) 所示为三角形线分布载荷。

(4) 力偶

如图 2-7 所示, 方向盘上作用着一对大小相等、方向相反、作用线不重合的平行力 F 和 F' , F 和 F' 所组成的力系称为力偶。力偶能使物体改变转动状态, 它的转动效应用力偶矩 M (或 T) 度量。表示方法如图 2-8 (a) 和 (b) 所示, 力偶矩的单位为 $N \cdot m$ 。



(a) 均布载荷



(b) 三角形线分布载荷

图 2-6 均布载荷和三角形线分布载荷

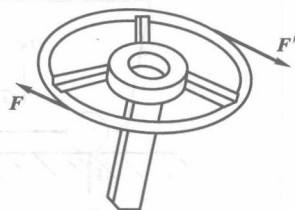
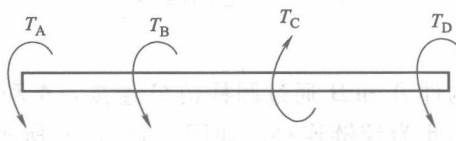
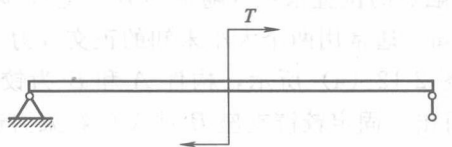


图 2-7 力偶的实例



(a)



(b)

图 2-8 力偶的表示

2.2.2 常见的平面力系约束类型

工程中的约束力总是作用在约束与研究对象的接触处，约束力的方向总是与被约束物体的运动方向相反，约束力与主动力组成平面力系，因此可以利用平衡条件计算约束反力。

(1) 柔体约束

如图 2-9 所示，带传动中所形成的约束称为柔体约束，其约束反力作用于带轮的连接点，其方向沿着传动带背离带轮，如图中 F_0 、 F_2 和 F_1 所示。因为，柔体约束对物体约束反力的方向只能是沿着柔体拉直时的中心线而背离被约束物体。

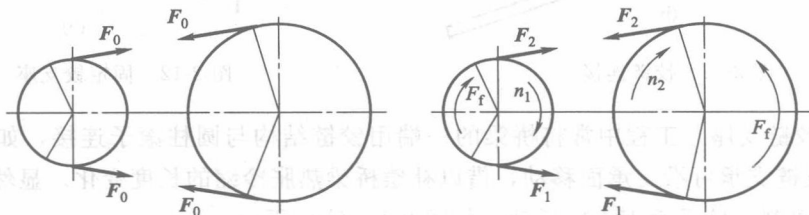


图 2-9 柔体约束

(2) 光滑面约束

两个相互接触的物体，若忽略接触表面的摩擦，这种接触面的约束，称为光滑面约束。如图 2-10 (a) 所示，小车停留在光滑地面上，地面对 A、B 两轮的约束反力都沿着接触表