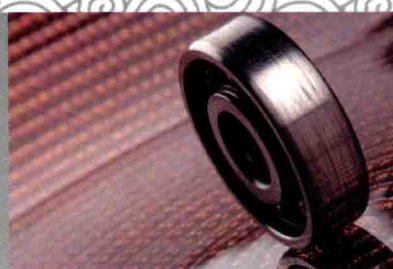


机械工程概论

刘元林 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

机械工程概论

主编 刘元林
参编 董金波 胡金平
刘春生 审



机械工业出版社

《机械工程概论》是以高等院校机械工程类学生的专业素质培养为目的,为普及机械和机械工程的基本概念、基本知识、基本内容及最新发展状况而编写的教材。全书主要包括:机械的基本概况,机械工程概况,机械制造业的地位、现状及发展;机械设计及现代设计方法;机械工程材料;机械制造工艺技术;机电一体化技术;先进制造技术;现代制造系统;机械工程教育。

本书是根据编者多年的教学实践,按照新形势下教材改革的要求编写的,其内容新颖,简明扼要,注重系统性、实用性,适应面广,伸缩性强,可作为高等院校机械工程类学生的入门教材及机械工程学科教师的教学参考书,也可供其他专业学生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程概论/刘元林主编. —北京:机械工业出版社,
2015.8

ISBN 978-7-111-50806-9

I. ①机… II. ①刘… III. ①机械工程-高等学校-
教材 IV. ①TH

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第154544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:黄丽梅 责任编辑:黄丽梅

封面设计:陈沛 责任印制:康朝琦

北京京丰印刷厂印刷

2015年9月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·16印张·393千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-50806-9

定价:49.00元

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

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

策划编辑:010-88379770

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

前 言

本书是供高等院校机械类专业学生了解机械工程基本内容的入门教材,也可作为其他专业学生学习机械工程知识的教材或参考书。

本书涵盖内容丰富,读者可有选择地阅读学习,特别是对非机械类本科学生,可以通过阅读本书的内容,比较全面地了解整个机械工程的基本专业知识。

由于本书的使用对象为机械类低年级本科学生及非机械类本科学生,因此编者根据教学改革的经验,在内容安排上具有以下特点:

- (1) 强调机械工程知识的入门性与前瞻性。
- (2) 强调机械工程知识的系统性、全面性。
- (3) 针对不同读者,强调了本书的适应性。

本书的编写,是适应21世纪所需科技人才的需要,意在激发学生们的专业学习热情,促使学生能够更加自主地投入到大学的后续学习生活。通过对本书的学习,对机械工程及相关领域的知识有一个较为全面的认识,为进一步学习专业知识奠定一个良好的基础,培养学生具有一定的创新意识和创新能力。

全书共分8章。第1章绪论;第2章机械设计及现代设计方法;第3章机械工程材料;第4章机械制造工艺技术;第5章机电一体化技术;第6章先进制造技术;第7章现代制造系统;第8章机械工程教育。

本书由黑龙江科技大学刘元林担任主编,董金波和胡金平参加编写,全书由刘春生教授主审。具体编写分工如下:刘元林(第1章、第8章),董金波(第2章、第3章、第5章),胡金平(第4章、第6章、第7章)。

书中参考并引用了许多专家、学者的研究成果,在此表示诚挚的感谢!

本书在编写过程中得到了许多专家、同仁的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢!

鉴于本书涉及的知识面非常广泛,加之编者水平有限,书中难免有不足或错误之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 绪论..... 1

1.1 机械的基本概况..... 1

1.1.1 机械的基本名词..... 1

1.1.2 机械的特征及种类..... 3

1.1.3 制造业与机械工业..... 4

1.2 机械工程概况..... 6

1.2.1 机械工程的含义..... 6

1.2.2 机械工程的发展..... 7

1.2.3 机械工业的地位..... 12

1.2.4 机械工程的应用领域..... 13

1.2.5 21 世纪的机械工程..... 15

1.3 机械制造业..... 17

1.3.1 制造业的战略地位..... 17

1.3.2 制造的发展与现状..... 18

1.3.3 我国机械制造业的现状..... 21

参考文献..... 23

第2章 机械设计及现代设计方法..... 24

2.1 概论..... 24

2.1.1 工程设计的基本概念..... 24

2.1.2 机械设计的地位与意义..... 24

2.1.3 机械设计的分类..... 25

2.1.4 设计的本质与过程..... 25

2.2 设计理论与方法..... 27

2.2.1 设计理论与方法的分类..... 27

2.2.2 机械设计理论与方法的发展 趋势..... 29

2.3 现代设计技术..... 31

2.3.1 可靠性设计..... 31

2.3.2 摩擦学设计..... 35

2.3.3 系统动态设计..... 39

2.3.4 优化设计..... 41

2.3.5 并行设计技术..... 44

2.3.6 绿色产品设计技术..... 49

2.3.7 反求设计..... 54

参考文献..... 60

第3章 机械工程材料..... 61

3.1 工程材料概述..... 61

3.1.1 工程材料的分类..... 61

3.1.2 工程材料的应用..... 61

3.2 常用工程材料..... 64

3.2.1 金属材料..... 64

3.2.2 高分子材料..... 66

3.2.3 陶瓷材料..... 74

3.2.4 复合材料..... 77

参考文献..... 81

第4章 机械制造工艺技术..... 82

4.1 概述..... 82

4.1.1 机械制造工艺的定义和 内涵..... 82

4.1.2 机械制造工艺的发展现状..... 83

4.1.3 机械制造工艺技术的发展 趋势..... 85

4.2 毛坯制造方法..... 86

4.2.1 铸造..... 86

4.2.2 锻压成形..... 90

4.2.3 焊接..... 93

4.2.4 毛坯成形方法比较..... 98

4.2.5 先进毛坯成形技术..... 99

4.3 材料热处理及表面处理技术..... 99

4.3.1 材料整体热处理..... 99

4.3.2 表面处理技术..... 101

4.4 零件加工制造..... 101

4.4.1 传统切削加工方法..... 102

4.4.2 特种加工方法..... 109

4.5 机器装配..... 115

4.5.1 概述..... 115

4.5.2 装配尺寸链..... 117

4.5.3 保证装配精度的方法..... 118

4.5.4 自动化装配..... 120

4.6 机械制造装备..... 121

4.6.1 机械制造装备及系统..... 121

4.6.2 新一代机械制造装备技术及其 发展..... 126

参考文献	126	6.4.3 快速原型制造工艺	179
第5章 机电一体化技术	127	6.5 柔性制造技术	182
5.1 概述	127	6.5.1 概述	182
5.1.1 机电一体化的概念	127	6.5.2 柔性制造系统	182
5.1.2 机电一体化的技术、经济和 社会效益	127	6.6 CAD/CAM/CAE/CAPP	184
5.1.3 机电一体化的发展趋势	129	6.7 微机械及其微细加工技术	187
5.2 机电一体化系统的基本组成及 相关技术	130	6.7.1 概述	187
5.2.1 机电一体化系统的基本组成	130	6.7.2 微细加工技术	187
5.2.2 机电一体化系统的相关技术	132	参考文献	189
5.3 数控技术	134	第7章 现代制造系统	191
5.3.1 数控技术概况	134	7.1 概述	191
5.3.2 数控系统分类	139	7.1.1 现代机械制造企业所面临的 严峻的生存环境	191
5.3.3 数控技术的应用	143	7.1.2 现代制造系统的演变和特点	192
5.4 可编程控制器	150	7.1.3 现代制造系统的发展趋势	193
5.4.1 可编程控制器的定义及分类	150	7.1.4 典型现代制造系统模式	193
5.4.2 可编程控制器的特点及应用	151	7.2 计算机集成制造系统	194
5.4.3 可编程控制器的发展趋势	152	7.2.1 概述	194
5.5 传感技术	153	7.2.2 计算机集成制造系统的组成与 体系结构	195
5.5.1 传感器及其组成	153	7.3 精益生产	197
5.5.2 传感器的分类	154	7.3.1 概述	197
5.5.3 传感器的应用	156	7.3.2 精益生产的主要内容与体系 结构	200
5.6 机器人技术	157	7.4 敏捷制造	204
5.6.1 机器人的定义及分类	157	7.4.1 概述	204
5.6.2 工业机器人的组成	158	7.4.2 敏捷制造的特征与关键技术	205
5.6.3 工业机器人的控制系统	160	7.5 虚拟制造	206
5.6.4 工业机器人的应用	163	7.5.1 概述	206
5.6.5 工业机器人的发展趋势	165	7.5.2 虚拟制造的分类与关键技术	208
参考文献	167	7.6 智能制造系统	210
第6章 先进制造技术	168	7.6.1 概述	210
6.1 概述	168	7.6.2 智能制造系统的支撑技术和 关键技术	213
6.2 高速加工技术	168	7.7 绿色制造	215
6.2.1 概述	168	7.7.1 概述	215
6.2.2 高速加工关键技术	170	7.7.2 绿色制造的研究内容	215
6.3 超精密加工技术	173	参考文献	217
6.3.1 概述	173	第8章 机械工程教育	218
6.3.2 超精密加工关键技术	174	8.1 机械工程教育知识体系	218
6.3.3 超精密加工方法	177	8.1.1 知识体系的结构	218
6.4 快速原型制造技术	178	8.1.2 专业教育组成	219
6.4.1 概述	178	8.1.3 机械工程教育知识领域	220
6.4.2 快速原型制造技术的原理 和特点	178		

8.2	科学、技术、工程与能力培养	224
8.2.1	科学、技术与工程	224
8.2.2	工程教育的核心是能力的培养	225
8.2.3	以学生为中心	226
8.3	机械工程学科划分及基础理论	226
8.3.1	机械工程学科划分	226
8.3.2	机械工程学科基础理论	226

8.4	机械类专业本科生培养	231
8.4.1	我国大学分类	231
8.4.2	机械类本科专业的培养目标、要求和主要课程	232
8.4.3	机械类主要课程安排	240
8.5	机械类专业的人才择业	242
8.6	面向 21 世纪的机械工程教育	243
	参考文献	247

第1章 绪 论

1.1 机械的基本概况

1.1.1 机械的基本名词

机械是伴随人类社会的不断进步逐渐发展和完善的，是人类生产和生活的基本要素之一，是人类物质文明最重要的组成部分。机械的发明是人类区别于其他动物的一项主要标志，机械技术在整个技术体系中占有基础和核心地位。机械技术与人类历史一样源远流长，它对人类社会生产和经济的发展起着极其重要的作用，是推动人类社会进步的重要因素。

为了更好地学习机械工程技术，首先需要明确机械的概念。其中，机构、机器与机械是机械工程中的基本概念。

1. 机构

机构是由两个以上的构件通过活动连接以实现规定运动的组合体，其各组成部分之间具有一定的相对运动用来传递、转换运动与动力，或实现某种特定的运动。

机构可由刚体组成，也可以由气体、液体以及特定条件下的可变形体和挠性体组成，直接参与运动的变换。

图 1-1 所示为单缸四冲程内燃机，活塞 2 在气缸 1 内作直线往复运动，通过连杆 3 带动曲轴 4 作回转运动，输出动力，同时通过齿轮 5、6 带动凸轮轴 7 旋转，由凸轮轴 7 推动顶杆 8 做上下运动，开启或关闭进、排气门。

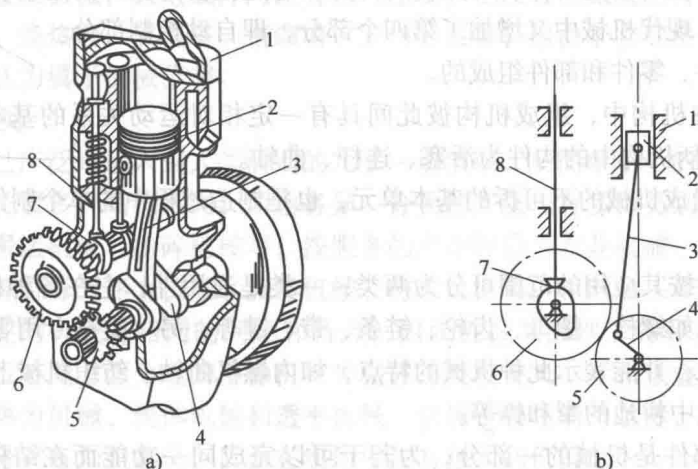


图 1-1 单缸四冲程内燃机

1—气缸 2—活塞 3—连杆 4—曲轴 5、6—齿轮 7—凸轮轴 8—顶杆

图 1-2 所示为液压千斤顶的工作原理。工作时向上提起杠杆 1, 小活塞 3 被带动上升, 油腔 4 密封容积增大, 于是油箱 6 中的油液在大气压力的作用下, 推开单向阀 5 (钢球) 并沿着吸油管道进入油腔 4。当用力压下杠杆 1 时, 小活塞 3 下移, 油腔 4 的油压迫使单向阀 5 关闭, 并使单向阀 7 打开, 压力油注入油腔 10, 推动大活塞 11 连同重物 G 一起上升。反复提压杠杆 1, 就能不断地将油液压入油腔 10, 使大活塞 11 与重物 G 不断上升, 达到举起重物的目的。做完功, 扭转放油阀 8, 压力油流回油箱 6, 大活塞 11 回复到原位置。由此可见, 液压千斤顶以油为介质, 依靠压力油传递运动和动力。

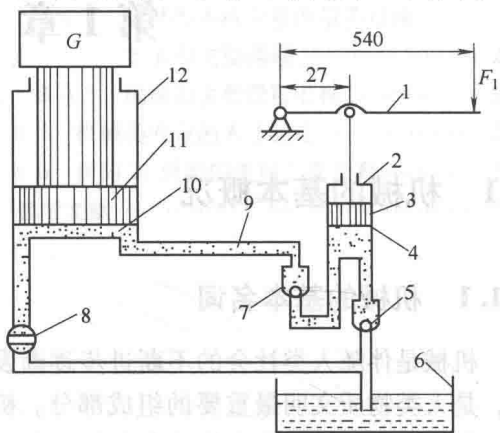


图 1-2 液压千斤顶的工作原理

- 1—杠杆 2—泵体 3—小活塞 4、10—油腔
5、7—单向阀 6—油箱 8—放油阀
9—油管 11—大活塞 12—缸体

2. 机器

机器是由一个或一个以上的机构组成, 具有确定机械运动并完成一定有用工作过程的装置, 用来完成有用的机械功或转换机械能。例如, 各种机床完成加工, 汽车、起重机搬运物料; 打印机、绘图仪处理信息等完成有用的机械功。内燃机、蒸汽机、电动机等动力机器将其他能量转换为机械能。

3. 机械

机械是机器和机构的泛称, 是将已有的机械能或非机械能转换成便于利用的机械能, 以及将机械能变换为某种非机械能用机械能来做一定工作的装备或器具。

设计机械的目的是为了完成预定的机械运动及特定的动作。一般来说, 每一种复杂机械都由三大部分组成: 一是动力源部分, 它是机械动力的来源; 二是执行部分, 它处于传动路线的终点, 完成机械的预定动作; 三是传动部分, 它是把动力机件的运动和功率传递给执行部分的中间环节。现代机械中又增加了第四个部分, 即自动控制部分。

机械是由构件、零件和部件组成的。

(1) 构件 在机构中, 组成机构彼此间具有一定相对运动关系的基本单元。如图 1-1 中, 活塞-连杆-曲柄机构中的构件为活塞、连杆、曲轴。

(2) 零件 组成机械的不可拆的基本单元, 也是制造过程中的单个制件, 如图 1-1 中的齿轮 5、6 等。

机械中的零件按其应用的范围可分为两类: 一类是通用件, 它在各种机械中都能用到, 且具有同一功能, 如螺栓、螺母、齿轮、链条、带、键等; 另一类是专用零件, 它仅适用于一定类型的机械中, 并能表示此种机械的特点, 如内燃机曲轴、纺织机械上的纺锭、汽轮机的叶片、农业机械中耕地的犁和铧等。

(3) 部件 部件是机械的一部分, 为若干可以完成同一功能而在结构上连接在一起、能协同工作的零件的组合物。如图 1-3 中活塞与连杆部件由 17 种零件组成, 它的功能就是把活塞的往复运动通过连杆转换为曲轴的旋转运动。

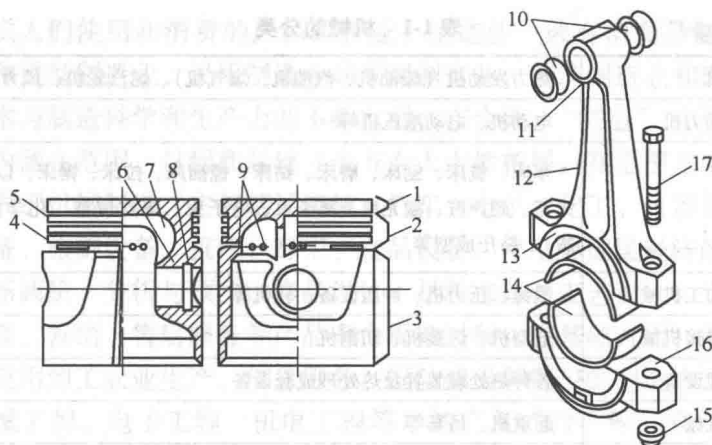


图 1-3 活塞与连杆结构

- 1—顶部 2—环槽部 3—裙部 4—环岸 5—环槽 6—销座 7—加强筋
8—卡环槽 9—泄油孔与泄油槽 10—活塞销套 11—连杆小头
12—连杆身 13—连杆大头 14—连杆轴承 15—连杆螺母
16—连杆轴承盖 17—连杆螺栓

1.1.2 机械的特征及种类

1. 机械的特征

机械的种类繁多,不同的机械,其构造、用途也各不相同,但各种机械又具有共同特征。

1) 均为人类制造的实体组合。

2) 其组成件之间有确定的相对运动和力的传递。例如图 1-1 所示单缸四冲程内燃机中活塞 2 相对气缸 1 做往复运动,曲轴 4 相对气缸 1 作相对转动。

3) 能代替人类完成有用的机械功或转换机械能。

还有一些装置或器械,其组成件间没有相对运动,也没有机械能的转换和利用,如蒸汽发生器、凝汽器、换热器、反应塔、精馏塔、压力容器等,但由于它们是通过机械加工而制成的产品,也被认为属于机械范畴。

2. 机械的种类

当今,机械已广泛地进入到人类活动的几乎一切领域,从简单小巧的剃须刀到复杂庞大的航天飞机,门类繁多,结构不同,用途各异。分类的方法也有多种类别。如按功能可分为动力机械、物料搬运机械、粉碎机械等;按服务的产业可分为农业机械、矿山机械、纺织机械等;按工作原理可分为热力机械、流体机械、仿生机械等。相同的工作原理、相同的功能或服务于同一产业的机械有相同的问题和特点,因而机械又出现了各种各样不同的分类体系。但是,这些按不同方面分成的多种机械类型往往互相交叉、互相重叠。如船用汽轮机是动力机械,也是热力机械、流体机械和透平机械,它属于船用动力装置,可能也属于核动力装置。研究合理分类有知识意义,反而在实用中没有很大的价值。

考虑到分类的科学性和通用于多个行业,以及科学原理应用于多个行业的共性,这里以“大工程”为背景,参照《中国大百科全书·机械工程卷》,采用混合分类法,具体分类见表 1-1。

表 1-1 机械的分类

动力机械	原动机	热力发动机（柴油机、汽油机、煤气机）、燃气轮机、风力机、水力机等
	二次动力机	电动机、电动液压机等
工艺类机械	机床	车床、铣床、刨床、磨床、钻床、镗插床、拉床、锯床，以及特种加工机床：电火花、超声波、激光束、离子束、电子束、爆炸成型、化学加工（光刻、照相制版）、挤压成型等
	压力加工机械	锻锤、压力机、冲压设备、轧机等
	铸造焊接机械	造型机、焊接机、切割机
	热处理设备	各种热处理装置及热处理成套设备
	起重机械	起重机、吊车等
	交通运输机械	汽车、无轨电车、摩托车、自行车、机车、船舶、输送机，仓储设备、装卸机等
	化工机械	化工反应设备（压力容器等）、物料输送设备（泵、压缩机、通风机、鼓风机）、分离设备（各类塔设备）、橡胶机械、塑料机械等
产业机械	农业机械	耕作机械、水井钻机、种植机械、收获机械、植保机械、施肥机械、农田排灌机械、饲料加工机械、农产品加工机械等
	林业机械	营林机械（挖坑机、作床机、插条机、越苗机、植树机）、油锯、伐区作业联合机、林业起重输送机械等
	矿山机械	采矿机械（采掘机械、掘进机械）、采煤机械、石油钻采机械、选矿机械（破碎机械、粉磨机械、筛分机械、分选机械、脱水机械等）
	冶金机械	炼铁机械、炼钢机械、轧钢机械等
	纺织机械	纺纱机械（开清棉机、梳棉机）、织选机械、染整机械等
	工程机械	推土机、挖土机等
	建筑机械	混凝土机等
	食品机械	粮食机械、调味品加工机械、蛋品加工机械、果蔬加工及保鲜机械、制糖机械、制盐机械、罐头机械、酿酒机械、饮料机械、乳制品加工机械、食品和冷冻食品加工机械、包装机械、肉类加工机械等
	轻工机械	烟草机械、印刷机械、饮食炊事机械、制革机械、文体用品机械等
其他机械		信息机械（计算机、打印机、复印机、传真机、绘图机）、仿生机械、机器人等

1.1.3 制造业与机械工业

1. 制造与制造业

所谓制造，即为人类按照市场需求，运用主观掌握的知识和技能，借助于手工或可以利用的客观物质工具，采用有效的工艺方法和必要的能源，将原材料转化为最终物质产品并投放市场的全过程。制造的概念有广义和狭义之分：狭义的制造指生产车间内与物流有关的加工和装配过程；而广义的制造则包含市场分析、产品设计、工艺设计、生产准备、加工装配、质量保证、生产过程管理、市场营销、售前售后服务，以及报废后的回收处理等整个产品生命周期内一系列相互联系的生产活动。

制造业是指将制造资源，包括物料、设备、工具、资金、技术、信息和人力等，通过制

造过程转化为可供人们使用和消费的产品

的行业。制造业一般有消费品制造业和装备制造

业、轻型制造业和重型制造业、民用制造业和军用制造业、传统制造业和现代制造业之分。

随着制造技术与制造科学和生产力的不断发展，在今天，“制造”已不是指单独的加

工过程，其概念和内涵在范围、过程和基础三个方面大大地拓展。在范围方面，制造涉及的工

业领域远不仅局限于机械制造，它包括了机械、汽车、电子、化工、仪器仪表、航空航天设

备、交通运输设备、旅游设备、机床、轻工、食品设备、家电等国民经济的大量行业；在过

程方面，包括市场调研、分析与预测、产品设计、材料选择、工艺设计、生产加工、质量保

证、生产过程管理、营销、售后服务等产品寿命周期过程；在基础方面，把基本原理、基础

理论、基础技术应用到工农业生产、信息服务、国防建设等部门的制造中，形成了涵盖各种

工程学科（如机械工程、电子工程、机电工程等）的广义“大工程”观。所以，制造、制

造业均是一个广义的概念，是一个“大制造”的概念。

根据《国民经济行业分类》（GB/T 4754—2011）的规定，我国制造业分为农副食品加

工业、食品制造业等31个种类，见表1-2。

表 1-2 制造业的分类

代码	类 别 名 称	代码	类 别 名 称
13	农副食品加工业	29	橡胶和塑料制品业
14	食品制造业	30	非金属矿物制品业
15	酒、饮料和精制茶制造业	31	黑色金属冶炼和压延加工业
16	烟草制品业	32	有色金属冶炼和压延加工业
17	纺织业	33	金属制品业
18	纺织服装、服饰业	34	通用设备制造业
19	皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业	35	专用设备制造业
20	木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业	36	汽车制造业
21	家具制造业	37	铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业
22	造纸及纸制品业	38	电气机械和器材制造业
23	印刷和记录媒介复制业	39	计算机、通信和其他电子设备制造业
24	文教、工美、体育和娱乐用品制造业	40	仪器仪表制造业
25	石油加工、炼焦和核燃料加工业	41	其他制造业
26	化学原料和化学制品制造业	42	废弃资源综合利用业
27	医药制造业	43	金属制品、机械和设备修理业
28	化学纤维制造业		

2. 机械工业

机械工业是指制造业中从事机械设备或机械装置生产的行业。它包括各种机械、机床、

工具、仪器、仪表等行业，目的是为国民经济、国防建设以及科学技术的进步和发展提供先

进的手段和装备。

机械工业是制造机械产品的工业部门，本身就是机械制造业，它是制造业的基础。人们

把机械工业称为国民经济的装备部门，通常把机械工业称为机械制造业。

机械工业的综合经济技术能力主要表现在两个方面：一方面是机械工业在国民经济发展中的权重，特别表现在其生产规模以及为国民经济提供机械产品的数量和质量；另一方面是机械工业本身的技术、经济和组织管理水平，特别表现在生产中的劳动消耗和物质消耗，以及发展速度，也就是扩大再生产的能力。

1.2 机械工程概况

1.2.1 机械工程的含义

机械工程以有关的自然科学和技术科学为其理论基础，结合生产实践中积累的实际经验，研究和解决在开发、设计、制造、安装、应用和维修各种机械中的全部理论和技术。它是以机构和机器为基本对象的科学，各类和各种不同机械均属机械工程技术的范畴。

从动态观点看，机械工程又是一个技术过程。它包含了人类的主要技术活动：

- 1) 发明与革新。
- 2) 设计与测试。
- 3) 制造（加工与制作）。
- 4) 使用与维修。

因此，各种机械的发明、设计、加工与制造以及使用与维修均属机械工程技术的范畴。发明和设计包含了更多的智力因素和思想与知识内涵。制造和使用则包含了更多的体力因素和与实践的内容。机械加工与制作的对象以及加工制作过程无疑属于机械工程技术的根本内容，因此，某些通过机械加工获得的技术产品，尽管不能看作是机构和机器，也常常被认为属于机械工程的范畴。机械工程包括的内容如图 1-4 所示。

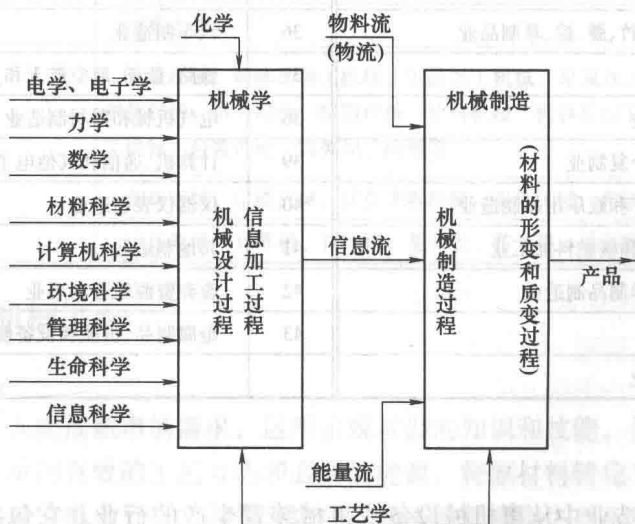


图 1-4 机械工程包括的内容

机械从构思到实现要经历设计和制造两个性质不同的阶段。按照经历的阶段不同，机械工程科学包含机械学和机械制造两大学科。

机械学是研究机械工程中图形的表示原理和方法；机械中运动和力的变换与传递规律；机械零件与构件中应力、应变和机械的失效；机械中的摩擦行为；设计机械及其系统的过程中思维活动规律及设计手段；机械及其系统与人和环境的相互影响的科学。总之，机械学是对机械及其系统进行功能综合并定量描述与控制其性能的基础技术学科。机械学把各种信息，经过人的思维和设计，加工成机械制造系统能接受的信息，输入机械制造系统。机械学研究学科分支如图 1-5 所示。

机械制造是研究制造系统、制造过程和制造方法的科学。制造过程就是按照给定的信息，利用向制造系统提供的能量，使材料改变成符合预想的机械产品及其系统的过程。

机械制造包括机械制造冷加工学和机械制造热加工学两大部分。机械制造发展至今，正逐步由一门技艺成长为一门科学。机械加工的根本目的是以一定的生产率和成本在零件上形成满足一定要求的表面。为此，正在逐步形成研究各种成型方法及其运动学原理的表面几何学；研究材料分离原理和加工表面质量的材料加工物理学；研究加工设备的机械学原理和能量转换方式的机械设备制造学；研究机械制造过程的管理和调度的机械制造系统工程学等。

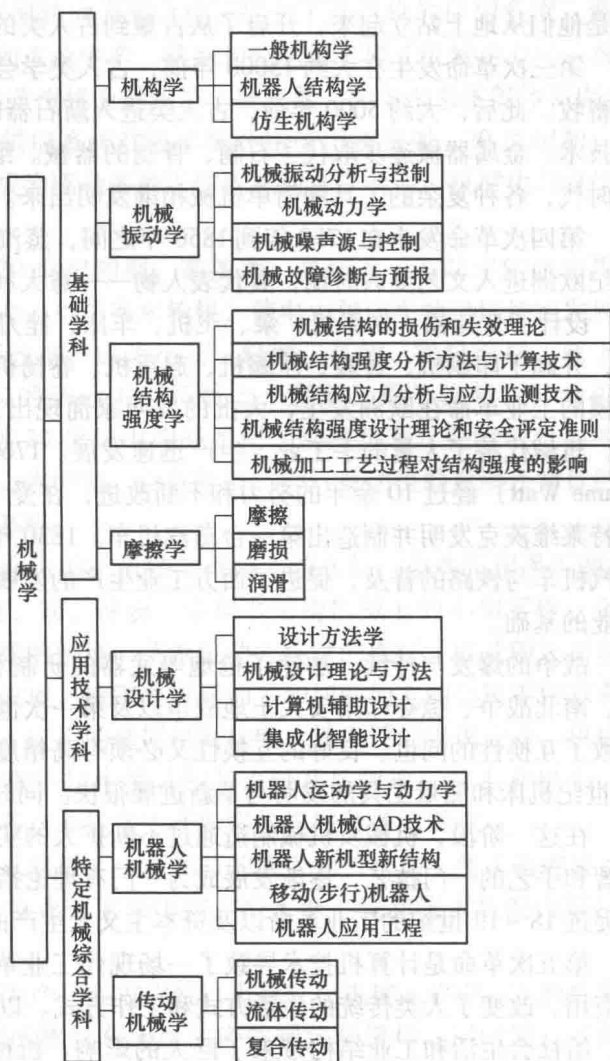


图 1-5 机械学学科分支

1.2.2 机械工程的发展

1. 社会发展与机械工程

在人类历史的长河中，发生了几次决定人类命运的大革命。

第一次革命发生在大约 200 万年前，由于自然条件的突然变化，生活在树上的类人猿被迫到陆地上觅食，为了和各种野兽抗争，他们学会了用天然的木棍和石块——天然工具保卫自己，并用之猎取食物，使用天然工具，锻炼了他们的大脑和手指。

第二次革命发生在大约 50 万年前，古猿人学会了制造和使用简单的木制和石制工具，从事劳动，继而发现了火，并学会了钻木取火。烘熟的食物不仅让古猿人感到好吃，且熟食利于吸收，也为提高他们的体力和脑力创造了条件，进而使古猿人的生活质量有了改善和提

高。使用工具,携带食物,甚至“拖儿带女”都需要他们的前肢从支撑行走中解脱出来,于是他们从地上站立起来,开启了从古猿到古人类的新纪元。

第三次革命发生在大约 15000 年前,古人类学会了制作和使用简单的机械,开始了农耕与畜牧。此后,大约 5000 年前,古人类进入新石器时代。4000 年前,发现金属并学会了冶炼技术。金属器械逐步取代了石制、骨制的器械。继而约 2000 年前发现了铁金属,进入铁器时代,各种复杂的工具和简单机械相继发明出来。

第四次革命发生在 1750 年到 1850 年之间,蒸汽机的发明导致了一场工业革命。公元 16 世纪欧洲进入文艺复兴时期,其代表人物——意大利的著名画家达·芬奇(Leonardo da Vinci)设计了变速器、纺织机、泵、飞机、车床、锉刀制作机、自动锯、螺纹加工机等大量机械,并画了印刷机、钟表、压缩机、起重机、卷扬机、货币制造机等大量机械草图。一场大规模的工业革命在欧洲发生,大批的发明家涌现出来。各种专科学校、大学、工厂纷纷建立。机械代替了大量的手工业,生产迅速发展。1760 年,在英国格拉斯哥大学工作的瓦特(Jame Watt)经过 10 余年的努力和不断改进,在爱丁堡制造出第一台蒸汽机。1804 年英国人特莱维茨克发明并制造出第一台蒸汽机车。1830 年在法国修筑了从圣亚田到里昂的铁路。蒸汽机车与铁路的普及,促进了西方工业生产的发展,促进了西方的机械文明,奠定了现代工业的基础。

战争的爆发与持续,加速了枪炮等武器的研制和生产。欧洲战争、英美战争、美墨战争、南北战争、掠夺印第安人土地战争以及第一次世界大战等战事不断,对兵器的配件要求导致了互换性的问世。良好的互换性又必须有高精度的测量工具和加工机床来保证,因此,19 世纪机床和测量工具的发明与革新进展很快。同时,钢铁工业也获得很快发展。

在这一阶段,机械及机械制造通过不断扩大的实践,从分散性的、主要依赖匠师们个人才智和手艺的一门技艺,逐渐发展成为一门有理论指导的系统和独立的工程技术。机械工程是促进 18~19 世纪的工业革命以及资本主义大生产的主要技术因素。

第五次革命是计算机技术导致了一场现代工业革命。进入 20 世纪,计算机的发明与广泛应用,改变了人类传统的生活方式和工作方式。以集成电路为中心的微电子技术的广泛应用,给社会生活和工业结构带来了巨大的影响。机械工程与微处理机结合诞生了“机电一体化”的复合技术,使机械设备的结构、功能和制造技术等提高到了一个新的水平。机械工程学、微电子学和信息科学三者的有机结合,构成了一种优化技术,应用这种技术制造出来的机械产品结构简单、轻巧、省力和高效率,并部分代替了人脑的功能,即实现了人工智能。机电一体化产品必将成为今后机械产品发展的主流。

进入 21 世纪,计算机技术、信息技术、网络技术以及由其带动的相关科学的发展,推动了科学迅速前进,机械工程学也发生了极大变化,制造业发展的重要特性是向全球化、网络化、虚拟化方向发展。

2. 机械工程的发展历程

(1) 动力机械的发展 纵观机械工程发展史,动力成为发展生产的重要因素。17 世纪后期,各种机械不断改进和发展,煤和金属矿石的需要量逐年增加,依靠人力和畜力已不能进一步提高生产力水平。英国的纺织、磨粉等产业越来越多地在河边设场,利用水轮来驱动工作机械。但仍存在一些颇具规模的煤矿、锡矿、铜矿,依然沿用大量畜力在地下矿井中排水和提水。18 世纪初出现了 T. 纽科门的大气式蒸汽机,用以驱动矿井排水泵。但这种蒸汽

机的燃料消耗巨大,所以只应用于煤矿。1765年J. 瓦特发明了有分开凝汽器的蒸汽机,降低了燃料消耗。1781年J. 瓦特又创制出回转动力蒸汽机,扩大了蒸汽机的应用范围。蒸汽机的发明和完善带来了工业革命,矿业和工业生产、铁路和航运都实现了机械动力化。蒸汽机几乎成为19世纪唯一的动力源。但是蒸汽机及其锅炉、凝汽器、冷却水系统等体积庞大、笨重,应用很不方便。19世纪末,电力供应系统和电动机开始应用和发展。20世纪初,电动机在工业生产中慢慢取代了蒸汽机,成为驱动各种工作机械的基本动力。机械化与电气化相互促进又相互发展。

发电站初期应用蒸汽机为原动机。20世纪初期,高效率、高转速、大功率的汽轮机出现了,随之出现了适应各种水力资源的大、小功率水轮机,使电力供应系统得以快速发展。

19世纪后期发明的内燃机经过逐年改进,成为小巧、轻便、高效、操纵简单、便于起动的原动机。它先被用在没有电力供应的陆地工作机械上,逐渐又用于汽车、移动机械(如拖拉机、挖掘机械等)和轮船上,到20世纪中期开始用于铁路机车。在汽轮机和内燃机的排挤下,蒸汽机逐渐退出历史舞台。内燃机、燃气轮机、喷气发动机的发展还为日后飞机、航天器的发展奠定了坚实的技术基础。

(2) 机械加工技术的发展 工业革命以前,机械大都是木结构的,由木工用手工制成。金属(主要是铜、铁)仅用以制造仪器、锁、钟表、泵和木结构机械上的小型零件。金属加工主要靠机匠的精工细作,以达到需要的精度。蒸汽机动力装置的推广,以及随之出现的矿山、冶金、轮船、机车等大型机械的发展,使需要成形加工和切削加工的金属零件越来越多,越来越大,要求的精度也越来越高。应用的金属材料从铜、铁发展到以钢为主。机械加工包括铸造、锻压、钣金、焊接、热处理等技术及其装备,以及切削加工技术和机床、刀具、量具等,已得到迅速发展,保证了各产业发展生产所需的机械装备的供应。

社会经济的发展,对机械产品的需求猛增。生产批量的增大和精密加工技术的进展,促进了大量生产方法(零件互换性生产、专业分工和协作、流水加工线和流水装配线等)的形成。

简单的互换性零件和专业分工协作生产,在古代就已出现。在机械工程中,互换性最早体现在H. 莫兹利于1797年利用其创制的螺纹车床所生产的螺栓和螺母。同时期,美国工程师E. 惠特尼用互换性生产方法生产火枪,显示了互换性的可行性和优越性。这种生产方法在美国逐渐推广,形成了所谓“美国生产方法”。20世纪初期,H. 福特在汽车制造上又创造了流水装配线。大量生产技术加上F. W. 泰勒在19世纪末创立的科学管理方法,使汽车和其他大批量生产的机械产品的生产效率很快达到了过去无法想象的程度。

20世纪中、后期,机械加工的主要特点是:

- 1) 不断提高机床的加工速度和精度,减少对手工技艺的依赖。
- 2) 发展少无切削加工工艺。
- 3) 提高成形加工、切削加工和装配的机械化和自动化程度,自动化从机械控制的自动化发展到电气控制的自动化和计算机程序控制的完全自动化,直至无人车间和无人工厂。
- 4) 利用数控机床、加工中心、成组技术等,发展柔性制造系统,使中小批量、多品种生产的生产效率接近于大量生产的水平。
- 5) 研究和改进难加工的新型金属和非金属材料的成形和切削加工技术。

(3) 机械工程基础理论的发展 18世纪以前,机械匠师全凭经验、直觉和手艺进行机

械制作,与科学几乎不发生联系。到18~19世纪,在新兴的资本主义经济的促进下,掌握科学知识的人士开始注意生产,而直接进行生产的匠师则开始学习科学文化知识。他们之间的交流和互相启发取得很大的成果。在这个过程中,逐渐形成一整套围绕机械工程的基础理论。

动力机械最先与当时的先进科学相结合。蒸汽机的发明人T. 萨弗里和J. 瓦特应用了物理学家D. 帕潘和J. 布莱克的理论。在蒸汽机实践的基础上,物理学家S. 卡诺、W. J. M. 兰金和开尔文建立起一门新的科学——热力学。内燃机最重要的理论基础是法国的A. E. B. de 罗沙在1862年创立的,1876年N. A. 奥托应用罗沙的理论,彻底改进了他原来创造的粗陋笨重、噪声大、热效率低的内燃机而奠定了内燃机的地位。其他如汽轮机、燃气轮机、水轮机等都在理论指导下得到发展,而理论也在实践中得到改进和提高。

早在公元前,中国已在指南车上应用复杂的齿轮系统,在被中香炉里应用了能永保水平位置的十字转架等机件。古希腊已有圆柱齿轮、锥齿轮和蜗杆传动的记载。但是,关于齿轮传动瞬时速比与齿形的关系和齿形曲线的选择,直到17世纪之后才有理论阐述。手摇把和踏板机构是曲柄连杆机构的先驱,在各文明古国都有悠久历史,但是曲柄连杆机构的形式、运动和动力的确切分析和综合,则是近代机构学的成就。机构学作为一个专门学科直至19世纪初才第一次列入高等工程学院(国立巴黎工艺美术学院)的课程。通过理论研究,人们方能精确地分析各种机构,包括复杂空间连杆机构的运动,并能按需要综合出新的机构。

机械工程的工作对象是动态的机械,它的工作情况会发生很大的变化。这种变化有时是随机的,不可预见;实际应用的材料也不完全均匀,可能存在各种缺陷;加工精度也有一定的偏差。与以静态结构为工作对象的土木工程相比,机械工程中各种问题更难以用理论精确解决。因此,早期的机械工程只运用简单的理论概念,结合实践经验进行工作。设计计算多依靠经验公式;为保证安全,都偏于保守。结果,制成的机械笨重而庞大,成本高,生产率低,能量消耗很大。

从18世纪起,设计计算从以下两个方面不断提高精确度:

1) 在材料强度方面,从早期按静强度除以安全系数(考虑一切不精确性和分散性因素的经验系数)的粗糙计算,提高到考虑材料的疲劳(19世纪后半期);从一律按材料的无限疲劳寿命进行设计,改为按照实际要求的寿命进行有限寿命设计(20世纪前半期);从认为材料原则上不能有裂纹,发展到以断裂力学理论为依据,考虑裂纹材料的强度和寿命。

2) 在机械结构的力学分析方面,从应用经验公式和简化的力学分析来确定各种受力和力矩,发展到应用复杂的力学分析和数学计算方法。进入20世纪,又出现各种实验应力分析方法。人们已能用实验方法测出模型和实物上各部位的应力,在发现应力过高或过低时,便可能做出必要的调整。20世纪后半叶,人们开始应用有限元法和电子计算机迅速可靠的数值计算,对复杂机械及其零件、构件进行力、力矩、应力、应变等的分析和计算。对于掌握有充分的实践或实验资料的机械或其元件,已经可以运用统计技术,按照要求的可靠度科学地进行机械设计,或者按机械的实际情况(实际质量、实际使用条件等)科学地判断其可靠度和寿命。但在许多机械工程中,仍在应用一些经验方法、经验公式和经验系数等,不过其中的科学成分在不断增加,经验成分则不断减少。

3. 中国机械工业的发展

中国是世界上机械发展最早的国家之一。采矿与冶炼技术比欧洲早1000多年。我们的