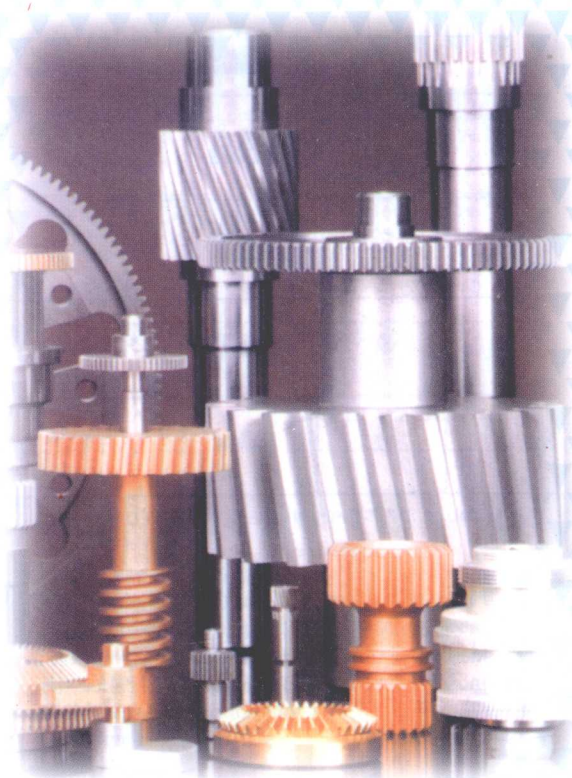




普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机械工程概论

刘永贤 蔡光起 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机械 工 程 概 论

主 编	刘永贤	蔡光起	
参 编	谢华龙	邹 平	刘 平
	胡 明	史家顺	许之伟
	盛忠起	张耀满	李长河
主 审	姚英学	王仁德	



机械工业出版社

本书用于机械工程学科相关专业学习,是一本用系统工程方法将知识与素质教育集于一体的教科书。全书共分7章。第1章为概论;第2章介绍了机械工程基础知识;第3章是机械设计;第4章为机械制造工艺技术;第5章是机械自动化技术;第6章是机械制造管理技术;第7章介绍了现代机械工程教育。本书对机械工程所涉及的知识、特别是机械工程的最新成果进行了阐述,并对新世纪的机械工程发展进行了展望。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程概论/刘永贤,蔡光起主编. —北京:机械工业出版社,
2009.9

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-28213-6

I. 机… II. ①刘…②蔡… III. 机械工程-高等学校-教材 IV. TH

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第156345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:刘小慧 责任编辑:刘小慧 严远波

版式设计:张世琴 责任校对:申春香

封面设计:张静 责任印制:李妍

北京振兴源印务有限公司印刷

2010年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·15.5印张·376千字

标准书号:ISBN 978-7-111-28213-6

定价:29.00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

社服务中心:(010) 88361066

销售一部:(010) 68326294

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

门户网:<http://www.cmpbook.com>

教材网:<http://www.cmpedu.com>

封面无防伪标均为盗版

前 言

《机械工程概论》是供机械工程学科相关专业学习的，是一本用系统工程方法将知识与素质教育集于一体的教材。全书共分7章。第1章绪论，介绍了机械工程的基本概念、部分工程名词术语、机械工程发展史、机械工程涵盖的内容、机械工程在国民经济中的作用和地位，以及21世纪的机械工程的展望。第2章介绍了机械工程基础知识，把机械作为一个系统，从系统出发认识机器，了解机器的用途、功能、性能，机器的组成、机构、形状，制造机器的各类材料以及互换性与公差。第3、4、5、6章对构成机械工程主要内容的四个方面进行了系统叙述。其中，第3章机械设计部分介绍了设计的内容、分类、过程，根据设计的发展介绍了设计理论与方法，并对现代设计技术有重点地进行了分类介绍；第4章机械制造工艺技术，主要介绍了毛坯制造、零件加工制造及机器装配、机械制造装备、现代制造工艺技术；第5章机械自动化技术，从机械装备自动化和生产制造自动化两个方面进行介绍，包括驱动系统与控制、传感器与信号处理、工业控制计算机和可编程序控制器、数字控制技术、机器人技术、柔性制造技术；第6章制造过程的生产管理模式，重点介绍了生产管理模式的演变过程及几种先进制造生产模式；第7章介绍了现代机械工程教育。

本书对机械工程所涉及到的知识、特别是机械工程的最新成果进行了阐述，并对新世纪的机械工程发展进行了展望，旨在希望初学者能对机械工程建立一个初步概念，对自己所学的专业有所认识，对自己今后从业的范围能有所了解，激发自己的志趣与热情，增强自信心，热爱自己的专业，明确自己的奋斗目标。

参加本书编写的人员有东北大学的刘永贤、蔡光起、谢华龙、邹平、刘平、胡明、史家顺、许之伟、盛忠起、张耀满，青岛理工大学的李长河等。刘永贤、蔡光起为主编。

哈尔滨工业大学博士生导师姚英学教授、东北大学王仁德教授担任本书主审，对本书进行了细致审阅并提出了许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。

我们还要感谢有关院校领导，在本书编写过程中自始至终给与的大力支持和帮助，同时还要感谢机械工业出版社给与的大力支持和帮助。

书中吸取和参考并引用了许多专家和学者的研究成果，在此致以谢意。

鉴于本书涉及的知识面非常广泛，加之编者水平有限，编写中难免有欠妥之处，恳请读者提出宝贵意见，以求改进。

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	2
1.1.3 制造业与机械工业	4
1.2 机械工程的涵义	5
1.3 机械工程发展	7
1.3.1 社会发展与机械工程	7
1.3.2 机械工程发展史	8
1.3.3 中国机械工程发展	11
1.4 机械工业的地位	14
1.5 我国机械制造业现状	16
1.6 21世纪的机械工程	18
第2章 机械工程基础	21
2.1 机械系统及其功能与组成	21
2.1.1 机械系统	21
2.1.2 机器的功能与性能	21
2.1.3 机器的组成	24
2.2 机器的结构	26
2.2.1 机器的功能与结构的关系	26
2.2.2 机械运动形态与变换	29
2.2.3 机、电、液机构组合的运动与 控制	37
2.2.4 机械运动与控制	38
2.3 工程材料	42
2.3.1 工程材料概述	42
2.3.2 金属材料	44
2.3.3 高分子材料	46
2.3.4 陶瓷材料	50
2.3.5 复合材料	51
2.4 零件的种类及表面组成	52
2.5 零件的互换性与公差	54
2.5.1 互换性与公差的概念	54
2.5.2 尺寸、公差配合方面的基本 术语	55

2.5.3 形状和位置公差	56
2.5.4 表面粗糙度	56
第3章 机械设计及现代设计方法	57
3.1 概论	57
3.1.1 工程设计的概念	57
3.1.2 机械设计的地位和意义	59
3.1.3 设计的分类	59
3.1.4 设计的本质与过程	60
3.2 设计理论与方法	63
3.2.1 设计理论与方法的分类	63
3.2.2 机械设计理论与方法的发展 趋向	63
3.3 现代设计技术	65
3.4 优良性能设计基础技术	66
3.4.1 可靠性设计	66
3.4.2 摩擦学设计	71
3.4.3 系统动态设计	73
3.4.4 优化设计	75
3.5 竞争优势创建设计技术	78
3.5.1 创新设计技术	78
3.5.2 快速响应设计技术	81
3.6 全生命周期设计技术	86
3.6.1 概述	86
3.6.2 并行设计技术	87
3.6.3 面向制造的设计技术	90
3.6.4 面向产品整个生命周期的 DFX 工具	91
3.7 绿色产品设计技术	92
3.7.1 绿色产品的定义及内涵	92
3.7.2 绿色产品设计的概念及评价 标准	93
3.7.3 绿色产品设计的主要内容及 方法	94
3.7.4 绿色产品设计的关键技术	95
第4章 机械制造工艺技术	97
4.1 概述	97

4.1.1 机械制造工艺的定义和内涵	97	5.4 机器人技术	181
4.1.2 机械制造工艺的发展现状	98	5.4.1 机器人的定义、组成及分类	182
4.1.3 机械制造工艺技术的发展趋势	100	5.4.2 机器人的运动轴系和自由度	184
4.2 毛坯制造方法	101	5.4.3 工业机器人的驱动与控制系统	186
4.2.1 铸造	101	5.4.4 工业机器人的应用	187
4.2.2 锻压成形	105	5.5 柔性制造技术	189
4.2.3 焊接	108	5.5.1 概述	189
4.2.4 毛坯成形方法比较	113	5.5.2 柔性制造系统的组成及分类	191
4.2.5 先进毛坯成形技术	114	5.5.3 柔性制造系统实例	195
4.3 材料热处理及表面处理技术	115	第6章 制造过程的生产管理模式	198
4.3.1 材料整体热处理	115	6.1 概述	198
4.3.2 表面处理技术	116	6.2 制造业生产模式的演变	199
4.4 零件加工制造	117	6.2.1 制造业生产模式的发展	199
4.4.1 传统切削加工方法	117	6.2.2 先进制造生产模式的创立基础及 战略目标	201
4.4.2 特种加工方法	125	6.2.3 先进制造生产模式的核心问题	202
4.4.3 高速加工技术	131	6.3 先进制造生产模式	205
4.4.4 超精密加工技术	132	6.3.1 并行工程	205
4.4.5 快速原型制造技术	133	6.3.2 敏捷制造	209
4.5 机器装配	134	6.3.3 精益生产	212
4.5.1 概述	134	6.3.4 智能制造系统	215
4.5.2 装配尺寸链	136	6.3.5 绿色制造	216
4.5.3 保证装配精度的方法	137	第7章 现代机械工程教育	218
4.5.4 自动化装配	139	7.1 中国机械工程教育规模	218
4.6 机械制造装备	140	7.2 机械工程学科划分及基础理论	218
4.6.1 机械制造装备及系统	140	7.2.1 机械工程学科划分	218
4.6.2 数控机床	145	7.2.2 机械工程学科基础理论	219
4.6.3 新一代机械制造装备技术及其 发展	150	7.3 机械类专业本科生培养	223
第5章 机械自动化技术	151	7.3.1 我国大学分类	223
5.1 概述	151	7.3.2 机械类本科专业的培养目标、要 求和主要课程	224
5.2 机电一体化基础技术	152	7.3.3 机械类主要课程安排	227
5.2.1 机电一体化的概念	152	7.4 机械工程学科研究生培养	229
5.2.2 驱动技术	154	7.4.1 我国的学位制度和研究生培养 目标	229
5.2.3 传感技术	164	7.4.2 研究生培养过程	229
5.2.4 工业控制计算机	168	7.5 机械类专业的人才择业	230
5.2.5 可编程序控制器	173	7.6 面向21世纪的机械工程教育	230
5.3 数控系统	178	参考文献	236
5.3.1 数控技术概况	178	读者信息反馈表	239
5.3.2 数控装置	178		
5.3.3 数控应用	179		
5.3.4 数控系统分类	180		

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。机械技术与人类社会的历史一样源远流长，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 为内燃机机构，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 作上下运动，开启或关闭进、排气门。

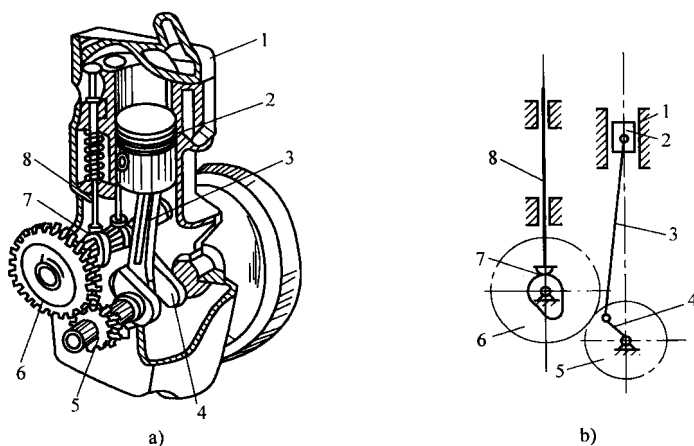


图 1-1 内燃机

a) 模型 b) 简图

1—气缸 2—活塞 3—连杆 4—曲轴 5、6—齿轮 7—凸轮轴 8—顶杆

- 1) 它们是一种人为的实物构件的组合。
- 2) 它们各部分之间具有确定的相对运动。

机器除了具备上述两个特征外，还必须具备第三个特征：能代替人类完成有用的机械功或转换机械能。所以，机器是能转换机械能或完成有用机械功的机构。

机械的种类繁多，机械制造产品遍及人们的生活、生产、社会活动的方方面面。当今，机械几乎已进入到人类活动的一切领域，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。机械按功能，可分为动力机械、油料搬运机械、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。

工作原理、功能相同或服务于同一产业的机械有共性的问题和特点，因而机械又出现了各种各样不同的分类体系。分类方法也有多种类别，可根据部分机械在某些方面的类同特性或特征区分类别。例如，希罗将简单机械分为五类：轮与轴、杠杆、滑车、尖劈、螺旋；按马克思对机器系统的分类，机械可分为发动机、传动机构和工作机；刘仙洲在《中国机械工程发明史（第一编）》中将机械分为七类，即：简单机械、发动机或原动机、工作机、传动机、仪表、仅用发动机原理的机械、发电机与电动机。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、流体机械和涡轮机械，它属于船用动力装置，可能也属于核动力装置。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。研究合理分类有知识意义，反而在实用中没有很大的价值。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。

考虑到分类的科学性和普适性，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》，采用混合分类法将机械进行分类。具体分类见表1-1。

表1-1 机械的种类

动力机械	原动机	热力发动机（柴油机、汽油机、煤气机）、燃汽轮机、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、镗铣床、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、爆炸成形、化学加工（光刻、照相制版）、挤压成形等
	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（各种塔设备）等

(续)

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）、伐区作业联合机、林业起重输送机械等
	矿山机械	采掘机械（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
	纺织机械	纺织机械、织选机械、印染机械等
	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、橡胶机械、塑料机械等
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行业的行业。制造业是所有与制造有关的企业群体的总称。制造业涉及到国民经济的许多部门，根据《国民经济行业分类》（GB/T 4754—2002）的规定，我国制造业分为农副食品加工业、食品制造业、饮料制造业等 30 个种类，如表 1-2 所示。

表 1-2 我国制造业分类

代码	类别名称	代码	类别名称
13	农副食品加工业	18	纺织服装、鞋、帽制造业
14	食品制造业	19	皮革毛皮羽毛（绒）及其制品业
15	饮料制造业	20	木材加工及木竹藤棕草制品业
16	烟草制品业	21	家具制造业
17	纺织业	22	造纸及纸制品业

(续)

代码	类别名称	代码	类别名称
23	印刷业和记录媒介的复制	33	有色金属冶炼及压延加工业
24	文教体育用品制造业	34	金属制品业
25	石油加工、炼焦及核燃料加工业	35	通用设备制造业
26	化学原料及化学制品制造业	36	专用设备制造业
27	医药制造业	37	交通运输设备制造业
28	化学纤维制造业	39	电气机械及器材制造业
29	橡胶制品业	40	通信设备、计算机及其他电子设备制造业
30	塑料制品业	41	仪器仪表及文化办公用机械制造业
31	非金属矿物制品业	42	工艺品及其他制造业
32	黑色金属冶炼及压延加工业	43	废弃资源和废旧材料回收加工业

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，属于制造业，是制造业的重要组成部分，它与制造业是分不开的，在很多方面往往将机械工业与制造业联系在一起，甚至会把制造业的作用与机械工业的作用看成是一回事。机械工业在国民经济中居主导地位，是工业体系的核心部门。它包括各种机械、工具、机床、仪器、仪表等行业，其作用是为国民经济、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。人们通常把机械工业称为国民经济的装备部门。

1.2 机械工程的涵义

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经验与实践的内容。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的基本内容，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。机械学是把各种信息，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。

机械工程包括的内容如图 1-3 所示。

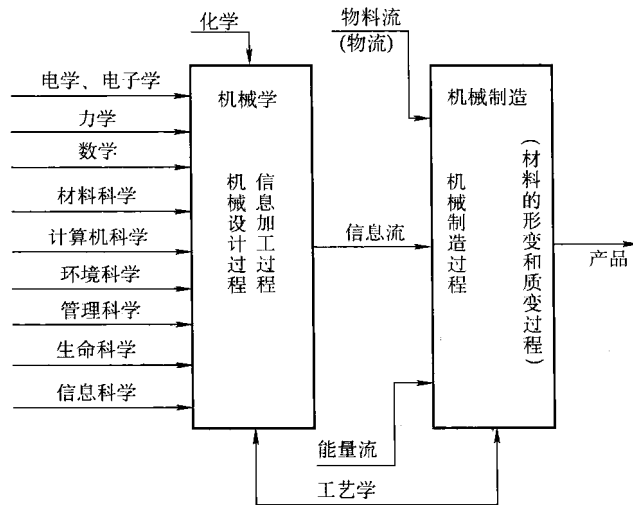


图 1-3 机械工程包括的内容

机械工程的服务领域广阔，凡是使用机械、工具，以及能源和材料进行生产的部门，都需要机械工程的服务。概括说来，现代机械工程有五大服务领域：①研制和提供能量转换机械，包括将热能、化学能、原子能、电能、流体压力能和天然机械能转换为适合于应用的机械能的各种动力机械，以及将机械能转换为所需要的其他能量（电能、热能、流体压力能、势能等）的能量变换机械；②研制和提供用于生产各种产品的机械，包括应用于第一产业的农、林、牧、渔业机械和矿山机械，以及应用于第二产业的各种重工业机械和轻工业机械；③研制和提供从事各种服务的机械，包括交通运输机械，物料搬运机械，办公机械，医疗器械，通风、采暖和空调设备，防尘、净化、消声等环境保护设备等；④研制和提供家庭和个人生活中应用的机械，如洗衣机、冰箱、钟表、照相机、运动器械等；⑤研制和提供各种军用机械和机械武器。

不论服务于哪一领域，机械工程的工作内容基本相同，按其工作性质可分为以下六个方面：

1) 建立和发展可以直接应用于机械工程的工程理论基础。这方面主要有：研究力和运动的工程力学，包括流体力学；研究金属和非金属材料的性能及其应用的工程材料学；研究材料在外力作用下的应力、应变等的材料力学；研究热能的产生、传导和转换的燃烧学、传热学和热力学；研究摩擦、磨损和润滑的摩擦学；研究机械中各构件间的相对运动的机构学；研究各类有独立功能的机械元件的工作原理、结构、设计和计算的机械原理及机械零件学；研究金属和非金属的成形及切削加工的金属工艺学与非金属工艺学等。

2) 研究、设计和发展新的机械产品，不断改进现有机械产品和生产新一代机械产品，以适应当前和将来的需要。这方面包括：调研和预测社会对机械产品新的要求；探索应用机械工程和其他工程技术中出现的新理论、新技术、新材料、新工艺，进行必要的新产品试

验、试制、改进、评价、鉴定和定型；分析正在试用的和正式使用的机械存在的缺点、问题和失效情况，并寻求解决措施。

3) 机械产品的生产。包括：生产设施的规划和实现；生产计划的制订和生产调度；编制和贯彻制造工艺，设计和制造工具、模具；确定劳动定额和材料定额；组织加工、装配、试车和包装发运；对产品质量进行有效的控制。

4) 机械制造企业的经营和管理。机械一般是由许多各具独特的成形、加工过程的零件组装而成的复杂制品，生产批量有单件和小批，也有中批、大批，直至大量生产，销售对象遍及全部产业和个人、家庭，而且销售量在社会经济状况的影响下，可能出现很大的波动。因此，机械制造企业的管理和经营特别复杂，企业的生产管理、规划和经营等研究也多是开始于机械工业。生产工程、工业工程等成为独立学科之前，都曾是机械工程的分支。

5) 机械产品的应用。这方面包括选择、订购、验收、安装、调整、操作、维护、修理和改造各产业所使用的机械和成套机械装备，以保证机械产品在长期使用中的可靠性和经济性。

6) 研究机械产品在制造过程中，尤其是在使用中所产生的环境污染和自然资源过度耗费方面的问题及其处理措施。这是现代机械工程的一项特别重要的任务，而且其重要性与日俱增。

一般认为，机械工程涵盖的内容有：①机械设计工程学，主要解决做什么样的机械的问题，包括机械设计理论、方法；②机械制造工程学，主要解决机械怎么做出来的问题，包括制造工艺、方法、自动化、管理等；③机械基础学，主要解决机械的性能是怎么样的问题，包括机构、强度、振动、寿命、摩擦等基础理论。

1.3 机械工程发展

1.3.1 社会发展与机械工程

在人类历史的发展中，发生了几次决定人类命运的大转折，被史学誉为大革命。

第一次发生在大约 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，它们学会了用木棍和石块这些天然工具保卫自己，并用之猎取食物。使用天然工具，锻炼了它们的大脑和手指。

第二次发生在大约 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。烧熟的食物不仅好吃，且利于吸收，为提高他们的体力和智力创造了条件，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“抱儿带女”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。

第四次发生在 1750 年到 1850 年之间。1760 年，瓦特经过十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。

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、主要依赖工匠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。大批的发明家涌现出来。各种专科学校、大学、工厂纷纷建立。机械工业代替了手工业,生产迅速发展。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。

1.3.2 机械工程发展史

关于机械工程发展史,在许多研究机械工程史著作中将其分为三个阶段:古代机械史、近代机械工程史和现代机械工程史。

1.3.2.1 古代机械史 (ancient history of machinery, ~1750年)

机械始于工具。公元前3000年以前(史前期),人类已广泛使用石制和骨制的工具。搬运重物的工具有滚子、撬棒和滑橇等,如古埃及建造金字塔时就已使用这类工具。公元前3500年后不久,苏美尔人已有了带轮的车。史前期的重要工具有弓形钻和制陶器用的转台。弓形钻由隧石钻头、钻杆、窝座和弓弦等组成,用来钻孔、扩孔和取火。埃及第三至第六王朝(约公元前2686年~前2181年)的早期,开始将牛拉的原始木犁和金属镰刀用于农业。约公元前2500年,欧亚之间地区就曾使用两轮和四轮的木质马车。叙利亚在公元前1200年制造了磨谷子用的手磨。

在建筑和装运物料过程中,已使用了杠杆、绳索、滚棒和水平槽等简单工具。滑轮最早出现于公元前8世纪,亚述人用作城堡上的放箭机构。绞盘最初用在矿井中提取矿砂和从水井中提水。这时,埃及的水钟、虹吸管、鼓风机和活塞式唧筒等流体机械也得到初步的发展和应。

公元前600年~公元400年的古希腊和古罗马称为古典文化时期,这一时期木工工具有了很大改进,除木工常用的成套工具如斧、弓形锯、弓形钻、铲和凿外,还发展了球形钻、能拔铁钉的羊角锤、伐木用的双人锯等。广泛使用的还有长轴车床和脚踏车床,用来制造家具和车轮辐条。脚踏车床一直延用到中世纪,为近代车床的发展奠定了基础。

约在公元前1世纪,古希腊人在手磨的基础上制成了石轮磨。这是机械和机器方面的一个进展。约在同时,古罗马也发展了驴拉磨和类似的石轮磨。

公元400年~1000年的欧洲地区,机械技术的发展因古希腊和古罗马的古典文化的消沉而陷于长期停顿。公元1000年~1500年,随着农业和手工业的发展,意、法、英等国相继兴办大学,发展自然科学和人文科学,培养人才,同时又吸取了当时中国、阿拉伯和波斯帝国的先进科学技术,机械技术开始恢复和发展。西欧开始用煤冶炼生铁,制造了大型铸件。随着水轮机的发展,已有足够的动力来带动用皮革制造的大型风箱,以获得较高的熔化温度,铸造大炮和大钟的作坊逐渐增多,铸件重量渐渐增大。在农业方面创造出装有曲凹面犁板的犁头,以取代罗马时代的尖劈犁头。这个时期还出现了手摇钻,其构造表明曲柄连杆机构的原理已用于机械。加工机械方面出现了大轮盘的车床。12世纪和13世纪后半期,先后出现了装有绳索擒纵机构的原始钟和天平式的钟。天平式的钟是第一种实际应用的机械式的钟,其中装有时针和秒针,表明时钟齿轮系有了进一步的发展,15世纪在欧洲家庭中已得到较为普遍的应用。

表是1500年前开始制造的。重要的改进是用螺旋弹簧代替重物以产生动力,此外还加了棘轮机构。机械式钟表创造的成功,不仅为现代文明所必需,也推动了精密零件的制造技术。机械式钟表后来又得到全面改进,如单摆式时钟取代了原来的天平式时钟。1676年英国为格林威治天文台制作了摆长不同的两种精密时钟。怀表采用双金属条,解决了平衡轮的温度补偿问题。

公元1500年~1750年,机械技术发展极为迅速。材料方面的进展主要表现在用钢铁、特别是用生铁代替木材制造机器、仪器和工具。同时为了解决采矿中的运输问题,1770年前后,英国发展了马拉有轨货车,先是用木轨,后又换成铁轨。

这一时期工具机也获得不少成就:制造出水力辗轧机械和几种机床,如齿轮切削机床、螺纹车床、小型脚踏砂轮磨床及研磨光学仪器镜片的抛光机等。

在欧洲诞生了工程科学。许多科学家,如牛顿、伽利略、莱布尼兹、玻意耳和胡克等,为新科学奠定了多方面的理论基础。为了鼓励创造发明,意大利和英国分别在1474年和1561年建立了专利机构。17世纪60年代出现了科学学会,如英国皇家学会。英国于1665年开始出版科学报告会文献。法国约于同时建立了法国科学院。俄、德两国也分别于1725年和1770年建立了俄国科学院和柏林科学院。这些学术机构冲破了当时教会的禁锢,展开自由讨论,交流学术观点和实验结果,因而促进了科学技术以及机械工程的发展。

1.3.2.2 近代机械工程史(modern history of mechanical engineering)

在1750年~1900年这一近代历史时期内,机械工程在世界范围内出现了飞速的发展,并获得了广泛的应用。1847年,在英国伯明翰成立了机械工程师学会,机械工程作为工程技术的一个分支得到了正式的承认。后来在世界其他国家也陆续成立了机械工程的行业组织。

在这一历史时期内,世界上发生了引起社会生产巨大变革的工业革命。工业革命首先在英国掀起,后来逐步波及其他各国,前后延续了一个多世纪。工业革命是从出现机器和使用机器开始的。在工业革命中最主要的变革是:

- 1) 用生产能力大和产品质量高的大机器取代手工工具和简陋机械。
- 2) 用蒸汽机和内燃机等无生命动力取代人和牲畜的肌肉动力。

3) 用大型的集中的工厂生产系统取代分散的手工业作坊。在这期间,动力机械、生产机械和机械工程理论都获得了飞速发展。

机械工程的发展,在工业革命的进程中起着主干作用。如18世纪中叶以后,英国纺织机械的出现和使用,使纺纱和织布的生产技术迅速提高。蒸汽机的出现和推广使用,不仅促进了当时煤产量的迅速增长,并且使炼铁炉、鼓风机有了机器动力而使铁产量成倍增长,煤和铁的生产发展又推动各行各业的发展。蒸汽机用于交通运输,出现了蒸汽机车、蒸汽轮船等,这反过来又促进了煤、铁工业和其他工业的发展。汽轮机、内燃机和各种机床相继出现。

其中动力机械技术的突破,促进了各技术领域的突飞猛进。第一台有实用意义的蒸汽动力装置是英国的T. 纽科门于1705年制成的大气式蒸汽机,曾在英国的煤矿和金属矿中使用。1712年制成的纽科门蒸汽机,它的蒸汽气缸和抽水缸是分开的。蒸汽通入气缸后在内部喷水使它冷凝,造成气缸内部真空,气缸外的大气压力推动活塞做功,再通过杠杆、链条等机构带动水泵活塞运动。1765年瓦特制作了一台试验性的有分离冷凝器的小型蒸汽机,1781年他又取得双作用式蒸汽机的专利。1776年瓦特与M. 博尔顿合作制造的两台蒸汽机开始运转。到1804年,英国的棉纺织业已普遍采用蒸汽机作为生产动力。

19世纪中期,内燃机问世。第一台在工厂中实际使用的内燃机是1860年法国的勒努瓦制造的无压缩过程的煤气机,其基本结构与当时的蒸汽机相差不多。1862年,法国A. E. B. de 罗沙提出四冲程循环的基本原理。1876年,德国N. A. 奥托制成四冲程往复式单缸卧式煤气机,比勒努瓦的煤气机效率更高,功率更大。1878年,英国D. 克拉克制成二冲程循环的内燃机。1892年,德国R. 狄塞尔提出压缩式内燃机原理,为提高内燃机热效率作出了重要贡献。1897年他制成第一台压缩点火式内燃机(柴油机),使用液体燃料,按四冲程原理工作,热效率高于当时其他任何内燃机。早期的压缩式内燃机的转速比较低,进入20世纪后内燃机的转速大幅度提高。

随着发电机和电动机的发明,世界开始进入电气时代。中心发电站迅速兴起,大功率的高速汽轮机应运而生。

1873年,电动机成为机床的动力,开始了电力取代蒸汽动力的时代。最初,电动机安装在机床以外的一定距离处,通过带传动。后来把电动机直接安置在机床本身内部。19世纪末,已有少数机床使用两台或多台电动机,分别驱动主轴和进给机构等。至此,被称为“机械工业的心脏”的机床工业已初具规模。进入20世纪后,迅速发展的汽车工业和后来的飞机工业,又促进了机械制造技术向高精度、大型化、专用化和自动化的方向继续发展。

1.3.2.3 现代机械工程史(contemporary history of mechanical engineering)

20世纪以来,世界机械工程的发展远远超过了上个世纪。尤其是第二次世界大战以后,由于科学技术工作从个人活动走向社会化,科学技术的全面发展,特别是电子技术、核技术和航空航天技术与机械技术的结合,大大促进了机械工程的发展。

第二次世界大战前的40年,机械工程发展的主要特点是:继承19世纪延续下来的传统技术,并不断改进、提高和扩大其应用范围。例如,农业和采矿业的机械化程度有了显著的提高,动力机械功率增大,效率进一步提高,内燃机的应用普及到几乎所有的移动机械。随着工作母机设计水平的提高及新型工具材料和机械式自动化技术的发展,机械制造工艺的水平有了极大的提高。美国人F. W. 泰勒首创的科学管理制度,在20世纪初开始在一些国家广泛推行,对机械工程的发展起了推动作用。

第二次世界大战以后的30年间,机械工程的发展特点是:除原有技术的改进和扩大应

用外,与其他科技领域的广泛结合和相互渗透明显加深,形成了机械工程的许多新的分支,机械工程的领域空前扩大,发展速度加快。这个时期,核技术、电子技术、航空航天技术迅速发展。生产和科研工作的系统性、成套性、综合性大大增强。机器的应用几乎遍及所有的生产部门和科研部门,并深入到生活和服务部门。

进入20世纪70年代以后,机械工程与电工、电子、冶金、化学、物理和激光等技术相结合,创造了许多新工艺、新材料和新产品,使机械产品精密化、高效化和制造过程的自动化。

1.3.3 中国机械工程发展

中国的机械工程技术不但历史悠久,而且成就十分辉煌,不仅对中国的物质文明和社会经济的发展起到了重要的促进作用,而且对世界技术文明的进步作出了重大贡献。

中国机械工程在漫长的历史进程中自然形成了中国机械史的几个不同时期。从机械的动力、材料、设计、制造、应用和实际效能,以及当时对国家经济所起的作用等来考虑,可以把中国机械史分为四个时期:简单工具时期、古代机械时期、近代机械时期和现代机械时期,每个时期又可分为不同的发展阶段。

1. 简单工具时期

这一时期的时间大体相当于中国历史上的原始社会,亦即石器时代。这一时期的时间很长,从云南元谋发掘出土的170万年前的古人石制刮削器和尖状器等,一直延续到大约4000多年前。其中,还可将其进一步分为两个阶段:粗制工具阶段和精制工具阶段。

粗制工具阶段相当于旧石器时代。这一阶段的工具主要用捡拾到的石块、木棒、蚌壳和兽骨制作,经过敲砸、粗略修整、磨制和钻孔等,使工具的结构较为合理,使用较为方便。这反映出当时人们已具有初步的生产经验和加工技术。以后种类陆续有所增多,大约在2.8万年前出现了弓箭,生产经验和加工技术逐步有所提高。

精制工具阶段大体相当于新石器时代。这一阶段人们已能利用开采的石料制作各种工具。工具种类有原始刀、斧、犁、锄、铤、凿、锯、钻、锉、矛、网坠、纺轮和滚子等几十种,能够用来从事农业、狩猎、渔业、建筑和纺织等方面的生产劳动。这一阶段后期出现了原始织机和制陶器转轮,后者已具有车削加工机构的雏型。工具一般都经过较为精细的磨削加工,结构合理,表面比较光洁。工具的改进推动了生产力迅速提高,使中国原始社会向奴隶社会发展。

根据这一时期的工具,可看出当时人们已能在生产中利用杠杆、尖劈、惯性、弹力和热胀冷缩等原理,生产知识逐渐丰富,加工能力不断提高。

2. 古代机械时期

这一时期大约从4000多年前直到19世纪40年代,相当于中国历史上的奴隶社会和封建社会两个时代。在此期间,中国古代机械经历了一个“迅速发展—成熟—缓慢前进”的过程。

1) 迅速发展阶段。古车的出现和广泛应用可看作是这一时期开始的标志。接着一批古代机械相继出现。古代机械的出现是中国机械发展的一次飞跃。

当时,机械加工方法和工具日渐完善,木材、铜和铁相继得到广泛应用。大约4000年前开始使用畜力拉车,3000年前开始用牛耕地和利用马力。机械的种类由少到多,结构由