



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

普通高等学校机械制造及其自动化专业“十二五”规划教材

顾 问 杨叔子 李培根 李元元

# 机械工程概论

(第三版)

主 编 ◎ 张宪民 陈 忠

副主编 ◎ 邝泳聪 黄沿江



扫码关注  
数字教学资源



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

普通高等教育本科国家级规划教材

校机械制造及其自动化专业“十二五”规划教材  
问 杨叔子 李培根 李元元

# 机械工程概论

(第三版)

主 编 张宪民 陈 忠

副主编 邝泳聪 黄沿江



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

## 内 容 简 介

根据机械工程技术的基础性、入门性、全面性、前瞻性的要求,本书从机械设计、机械制造、机电控制三大部分,按照一定逻辑路线组织内容。在机械设计部分,从简单的力学知识到机构、零件、机器与创新设计;在机械制造部分,从原料到毛坯制造、少无切削的成形技术、传统制造、非传统制造;在机电控制部分,从机电控制基础到检测与传感、分布式控制技术;全面而简略地阐述了机械工程的基础知识。同时,特别增加了机器人技术概论与电子制造技术两个章节,以求突出现代机械工程所涉及的新领域与智能化技术。

本书可作为大专院校机械类专业一年级学生或非机械类专业学生开展机械工程通识教育的教学用书,也可作为从事机械工程相关工作的工程技术人员全面了解机械工程的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

机械工程概论/张宪民,陈忠主编.—3版.—武汉:华中科技大学出版社,2018.11  
普通高等学校机械制造及其自动化专业“十三五”规划教材  
ISBN 978-7-5680-4736-4

I. ①机… II. ①张… ②陈… 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(2018)第 257304 号

### 机械工程概论(第三版)

Jixie Gongcheng Gailun(Di-san Ban)

张宪民 陈 忠 主编

策划编辑:俞道凯

责任校对:刘 竣

责任编辑:姚 幸

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:武汉市新华印刷有限责任公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:23 插页:2

字 数:478千字

版 次:2018年11月第3版第1次印刷

定 价:48.00元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换  
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务  
版权所有 侵权必究

## 第三版前言

本书自 2011 年 9 月第一版及 2015 年 1 月第二版,目前已列入“十二五”普通高等教育(本科)国家级教材目录,日益受到广大师生的关注。随着我国普通高校本科教育继续强调“强基础、通识教育、交互学习”的教学理念及机械工程领域技术发展的日新月异,特别是工业信息物理系统、工业物联网、工业 4.0、人机交互工业机器人等新概念、新技术的出现与发展,故对本书进行增补并再版。

本书第三版继承第一、第二版中有关通识阐述的体系结构,强调机械工程知识的入门性与前瞻性、机械工程知识的全面性和知识选择性学习的灵活性三个特征,并着重在以下几个方面进行了增补与修订。

(1) 为了反映工业信息物理系统、工业物联网及工业 4.0 的相关基础内容,对第 12 章相关章节增补了主流实时工业以太网技术、工业信息物理系统的基础知识介绍。其中,为了简明扼要介绍工业信息物理系统的基础网络互联技术,以表格指标对比的方式,归纳介绍了主流实时工业以太网技术;同时,重点阐明了工业信息物理系统、工业物联网与工业 4.0 概念的相互关系,并以图形的形式简明扼要地阐明了工业信息物理系统的多层体系结构、基于云的分布式监控系统及与工业实时以太网技术的关系。在该章的拓展部分,强调了工业物理信息系统技术在电子制造领域中的应用案例。

(2) 为了在新版中反映机器人技术的在人机交互、软体机器人、机器人智能化等技术发展,对第 5 章内容进行了重新撰写。重点强调了工业机器人的历史发展与现状、工业机器人典型运动链构成、软体机器人等内容,并在拓展部分增加了机器人智能、机器人-机交互方面的内容。本章的重新撰写,力图引起学生学习的兴趣,并引导学生主动探索、学习相关前沿机器人主题技术。

(3) 为了增强新版教材的互动性,在数字资源建设及教材的互动方面进行全面建设。在出版社教材学习网站上传了课件、丰富的视频资源。同时,通过在书中内嵌二维码,实现了书本与网络资源的对接,方便了对相关专业知识点的学习。

全书第三版由张宪民、陈忠主编。参加编写的还有邝泳聪、黄沿江等。具体编写分工如下。



张宪民、陈忠:确定再版编写、修订方案与统稿。

陈忠:负责第1章、第2章、第3章、第4章、第5章、第6章、第7章、第8章、第9章的课件与视频资源建设;负责增补第12章内容,增加了实时工业以太网与工业物理信息系统相关的内容。

邝泳聪:负责第10章、第11章、第12章的课件与视频资源建设。

黄沿江:负责第5章撰写,洪潮参与其中关于“机器人-机交互”内容的撰写。

限于编者水平,书中不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2018年9月





# 前言

本书是应理工类普通高校本科学生机械工程知识的概述性教学需要而组织编写的,也可以作为高校其他专业本科学生学习机械工程知识的教学用书和参考读物。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,因此本书在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。本书在机械工程的机械设计、机械制造与机电控制三个部分,通过基础性知识的介绍,逐步引入一些先进的机械工程专业知识内容,使学生对机械工程专业要解决的问题及解决问题的基本方法有一个初步的认识。如在第2章简要介绍了力与力平衡的知识及其与机械设计的关系;在第4章以案例的方式介绍了机械产品概念设计的方式方法、创新设计的过程。

(2) 强调机械工程知识的全面性。本书涵盖了传统机械工程的设计、制造与控制的基本内容,还特别增加了第5章机器人技术概论、第9章电子制造技术等专题内容。这将进一步扩展读者的专业视野。

(3) 针对不同读者,强调了本书的适应性。本书涵盖内容丰富。读者可选择地阅读学习。特别是对非机械类本科学生,通过阅读本书的内容,可比较全面地了解整个机械工程基础专业知识。

本书的编写,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。

本书由张宪民、陈忠主编。参加编写的还有邝泳聪、管贻生。具体编写分工如下:张宪民、陈忠确定编写方案并统稿;陈忠编写了第1章、第2章、第3章、第4章、第6章、第7章、第8章、第9章;邝泳聪编写了第10章、第11章、第12章;管贻生编写了第5章。

限于编者水平,书中不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2011年8月

# 目录

|                              |      |
|------------------------------|------|
| 第 1 章 绪论 .....               | (1)  |
| 1.1 机械工程的起源与发展 .....         | (1)  |
| 1.2 机械工程的内涵与大学本科相关课程体系 ..... | (13) |
| 1.3 本书的特色与学习方法 .....         | (15) |
| 1.4 知识拓展 .....               | (17) |
| 本章重难点 .....                  | (21) |
| 思考与练习 .....                  | (21) |
| 第 2 章 机械结构的受力、运动与强度 .....    | (22) |
| 2.1 相关本科课程体系与关联关系 .....      | (23) |
| 2.2 结构所受的作用力与运动 .....        | (24) |
| 2.3 机械结构所受的应力 .....          | (29) |
| 2.4 知识拓展 .....               | (35) |
| 本章重难点 .....                  | (37) |
| 思考与练习 .....                  | (37) |
| 第 3 章 机构、零件与机器组成 .....       | (39) |
| 3.1 相关本科课程体系与关联关系 .....      | (40) |
| 3.2 机器的功能与机构 .....           | (41) |
| 3.3 常用机械零件 .....             | (62) |
| 3.4 机器的组成 .....              | (71) |
| 3.5 知识拓展 .....               | (78) |
| 本章重难点 .....                  | (81) |
| 思考与练习 .....                  | (81) |
| 第 4 章 机械设计 .....             | (82) |
| 4.1 相关本科课程体系与关联关系 .....      | (82) |
| 4.2 机械设计概述 .....             | (83) |
| 4.3 机械设计的过程 .....            | (85) |
| 4.4 概念设计的案例分析 .....          | (89) |

|                                  |              |
|----------------------------------|--------------|
| 4.5 创新设计 .....                   | (92)         |
| 4.6 创新设计的案例分析——智能化加工中心设计 .....   | (97)         |
| 4.7 现代设计方法简介 .....               | (101)        |
| 4.8 知识拓展 .....                   | (109)        |
| 本章重难点 .....                      | (112)        |
| 思考与练习 .....                      | (112)        |
| <b>第5章 机器人技术概论 .....</b>         | <b>(113)</b> |
| 5.1 相关本科课程体系与关联关系 .....          | (113)        |
| 5.2 机器人的概念、发展、分类和趋势 .....        | (114)        |
| 5.3 机器人的机构 .....                 | (130)        |
| 5.4 机器人的传感器 .....                | (133)        |
| 5.5 机器人的控制 .....                 | (138)        |
| 5.6 软体机器人 .....                  | (140)        |
| 5.7 知识拓展 .....                   | (142)        |
| 本章重难点 .....                      | (152)        |
| 思考与练习 .....                      | (152)        |
| <b>第6章 机械制造中的毛坯成形技术 .....</b>    | <b>(154)</b> |
| 6.1 相关本科课程体系与关联关系 .....          | (154)        |
| 6.2 钢铁冶金与型材准备 .....              | (155)        |
| 6.3 传统的毛坯成形技术 .....              | (159)        |
| 6.4 先进的毛坯成形或近净成形技术 .....         | (167)        |
| 6.5 知识拓展 .....                   | (173)        |
| 本章重难点 .....                      | (175)        |
| 思考与练习 .....                      | (176)        |
| <b>第7章 机械零件外形加工与装配连接技术 .....</b> | <b>(177)</b> |
| 7.1 相关本科课程体系与关联关系 .....          | (177)        |
| 7.2 机械零件外形加工的运动学原理 .....         | (178)        |
| 7.3 传统的外形加工方法 .....              | (181)        |
| 7.4 非传统的外形加工方法 .....             | (190)        |
| 7.5 装配与连接技术 .....                | (197)        |
| 7.6 知识拓展 .....                   | (199)        |
| 本章重难点 .....                      | (210)        |
| 思考与练习 .....                      | (210)        |
| <b>第8章 机械几何量的测量与检测 .....</b>     | <b>(211)</b> |





|             |                       |              |
|-------------|-----------------------|--------------|
| 8.1         | 相关本科课程体系与关联关系 .....   | (211)        |
| 8.2         | 测量与检测基础 .....         | (212)        |
| 8.3         | 传统测量仪器与量具 .....       | (220)        |
| 8.4         | 现代测量与检测技术 .....       | (226)        |
| 8.5         | 知识拓展 .....            | (230)        |
|             | 本章重难点 .....           | (232)        |
|             | 思考与练习 .....           | (233)        |
| <b>第9章</b>  | <b>电子制造技术 .....</b>   | <b>(234)</b> |
| 9.1         | 相关本科课程体系与关联关系 .....   | (234)        |
| 9.2         | 概述 .....              | (235)        |
| 9.3         | 集成电路制造技术 .....        | (237)        |
| 9.4         | 印制电路板的制造 .....        | (251)        |
| 9.5         | 印制电路板装配 .....         | (254)        |
| 9.6         | 知识拓展 .....            | (261)        |
|             | 本章重难点 .....           | (265)        |
|             | 思考与练习 .....           | (265)        |
| <b>第10章</b> | <b>机电控制基础 .....</b>   | <b>(267)</b> |
| 10.1        | 相关本科课程体系与关联关系 .....   | (267)        |
| 10.2        | 工业控制系统概述 .....        | (268)        |
| 10.3        | 经典控制方法 .....          | (272)        |
| 10.4        | 先进控制方法 .....          | (280)        |
| 10.5        | 伺服控制基础 .....          | (284)        |
| 10.6        | 数控技术基础 .....          | (293)        |
| 10.7        | 知识拓展 .....            | (303)        |
|             | 本章重难点 .....           | (303)        |
|             | 思考与练习 .....           | (304)        |
| <b>第11章</b> | <b>检测技术与传感器 .....</b> | <b>(305)</b> |
| 11.1        | 相关本科课程体系与关联关系 .....   | (305)        |
| 11.2        | 检测技术基础 .....          | (306)        |
| 11.3        | 常用传感器 .....           | (310)        |
| 11.4        | 传感信号的变换与调理 .....      | (323)        |
| 11.5        | 自动化仪表 .....           | (327)        |
| 11.6        | 虚拟仪器概述 .....          | (330)        |
| 11.7        | 知识拓展 .....            | (333)        |



|                                        |              |
|----------------------------------------|--------------|
| 本章重难点 .....                            | (333)        |
| 思考与练习 .....                            | (334)        |
| <b>第 12 章 分布式工业控制技术与工业信息物理系统 .....</b> | <b>(335)</b> |
| 12.1 相关本科课程体系与关联关系 .....               | (335)        |
| 12.2 现场设备的通信方式 .....                   | (336)        |
| 12.3 分布式控制系统 .....                     | (340)        |
| 12.4 工业信息物理系统 .....                    | (351)        |
| 12.5 知识拓展 .....                        | (355)        |
| 本章重难点 .....                            | (358)        |
| 思考与练习 .....                            | (358)        |

# 第1章 绪论



机械工程的发展不可避免地包含设计与制造的交合。回顾历史,人类的制造活动在工业革命前主要是凭手艺,以手工作坊形式进行的。工业革命后则是以制造厂、制造企业、制造业方式进行的。在 20 世纪前半叶,制造业的主体是机械制造业,企业关注的仅是产品在企业内的生产。在 20 世纪下半叶,制造业则已扩展为大制造业,为了企业的生存和发展,企业需要关注产品寿命的全过程,而不仅仅是产品在企业内的生产过程。

机械化、机械自动化、机电一体化的历史演进体现了现代机械工程技术的重要内涵。进入 20 世纪下半叶,微电子技术与信息技术的迅速发展和迅速普及,使人类的生产活动、技术开发和社会生活开始进入信息化和智能化时代,极大地减轻了人体力劳动的强度,提高了社会劳动生产率。在今天,现代机械工程技术已成为实现现代化的基石,是现代社会和现代文明发展的动力。



## 1.1 机械工程的起源与发展



### 1.1.1 机械设计

#### 1. 古代至 17 世纪初的古代设计技术

根据我国近代的考古发现和我国的古代书籍记载,表明在 4 000 多年前,我国的机械设计已经有了一定的规范,掌握了初步的物理知识。如新石器时代的尖底瓶,它是仰韶时代的产物,瓶为陶制,口小、腹大、底尖,两侧的耳可以装绳索。在汲水时,因瓶底尖、重心高,瓶会倾倒,水由瓶口流入;当瓶中水量达到一定量时,其重心改变,使瓶直立在水



中,瓶口露出水面,灌水自动停止。这一器皿的发现说明我国古代人民具有初步的物理知识,并能用于产品设计,其性能在当时是很先进的。《诗经·邶风·泉水》中有“载脂载辖,还车言迈”,说的是当时已经采用油脂润滑轴承。在我国古代文献中随处可见机械产品与人民生活密切的联系。在我国春秋战国时代的著作《道德经》中有“三十辐共一毂,像日月也”的说法,而在秦陵发掘出来的二号铜车马,其车轮就有 30 个轮辐。虽然当时的车并不都是每个车轮用 30 个轮辐,但是对轮辐的数目已经有了一定的规定,表明机械设计已经有了一些规则。

此外,我国古代在武器、纺织机械、农具、船舶等方面也有许多发明,到秦汉时期(公元前 221—公元 220 年),我国机械设计和制造已经达到相当高的技术水平,当时在世界上处于领先地位,在世界机械工程史上占有十分重要的位置。

东汉时已经设计制造了比较成熟的记里鼓车和指南车。记里鼓车能自报车行距离,从记里原理来看,其内部构造肯定为机械传动,甚至有人推测有齿轮组成的轮系传动,并作出了复原模型,如图 1-1 所示。

在我国古代,机械发明、设计与制造往往是一人所为。有许多著名的人物,他们的成果代表了当时我国的机械设计水平。

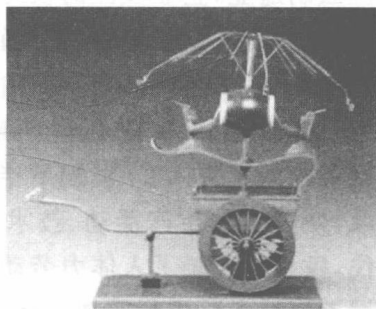


图 1-1 记里鼓车复原模型

三国时期魏人马钧以善于设计、制造机械闻名。他改革了纺织机械,简化其结构,提高了效率;设计了提水机械——翻车,翻车是一种刮板式提水机械,又名龙骨水车,轻快省力,在以后很长时间内得到广泛的应用;设计了水轮机,用水推动木轮转动,其上有机人作表演;此外还设计和改进了一些兵器。

三国时期魏乐陵太守韩暨在马排的基础上发明了水排,将卧式水轮的旋转运动,经绳传动,配以曲柄、连杆等,转换为直线往复运动。

唐朝时,我国与许多国家开展了经济、文化和科学技术交流,与东亚、东南亚、阿拉伯地区及非洲东海岸贸易频繁,这对我国和世界其他一些国家有很大的影响。由于贸易的发展,要求增加商品,从而改进生产设备,使机械设计也有了很大的发展,造纸、纺织、农业、矿冶、陶瓷、印染机械及兵器等都有新的进展,机械设计水平也提高了一大步。宋人沈括的著作《梦溪笔谈》记载了当时的许多科学成就,反映了当时的科学水平。

宋朝福建人苏颂奉皇帝之命设计制造了大型计时、天文仪器“水运仪象台”,其结构如图1-2所示。水运仪象台高约 12 m,宽约 7 m,分 3 层。上层平

台上安放“浑仪”，可对天体进行跟踪观测；中层密室内安放“浑象”，标出了约 1 400 颗恒星的位置，可以演示天象；下层是报时装置。水运仪象台运转时，用人力提水到高处的容器中，通过定量装置用水力推动水轮，带动传动系统，昼夜不停转动。这一装置中已经有了现代计时仪器中起擒纵器作用的机构，有初步的自动控制系统设计的思想，是机械史上引人注目的创造性设计。

13 世纪末出现了铜火铳，元朝时有较大的发展，明初已能生产多种形式的火铳，一门炮可重达数百斤。

中国火器传入西方后，13 世纪至 16 世纪欧洲火器技术得到很大的发展，并于明朝正德、嘉靖年间传入中国。这些火器的性能优于当时的中国火器。中国由 1523 年开始仿制欧洲火器。

以上成果反映了我国古代机械设计的光辉成就。世界其他国家也有不少古代机械设计的成果，但这些设计多是凭设计者的经验完成的，缺乏必要的和一定精度的理论计算。

## 2. 17 世纪初至第二次世界大战结束的机械设计

17 世纪，欧洲的航海、纺织、钟表等工业兴起，提出了许多技术问题。1644 年，英国组成了“哲学学院”，德国成立了实验研究会和柏林学会。1666 年，法国、意大利也都成立了研究机构。意大利人伽利略(1564—1642 年)发现了自由落体定律、惯性定律、抛射体轨迹，还进行过梁的弯曲实验；英国人牛顿提出了运动三定律，提出了计算流体粘度阻力的公式，奠定了古典力学的基础；英国人胡克建立了在一定范围内弹性体的应力-应变成正比的胡克定律；1705 年，伯努利提出了梁弯曲计算的微分方程式，在古典力学的基础上建立和发展了近代机械设计的理论(也称为常规机械设计理论)，为 18 世纪产业革命中机械工业的迅速发展提供了有力的理论支持；1764 年，英国人瓦特发明了蒸汽机，为纺织、采矿、冶炼、船舶、食品、铁路等工业提供了强大的动力，推动了多种行业对机械的需求，使工业的机械化水平迅速提高，从而进入了产业革命时代。这一时期，对机械设计提出了很多要求，各种机械的载荷、速度、尺寸都有很大的提高，机械设计理论也在古典力学的基础上迅速发展。

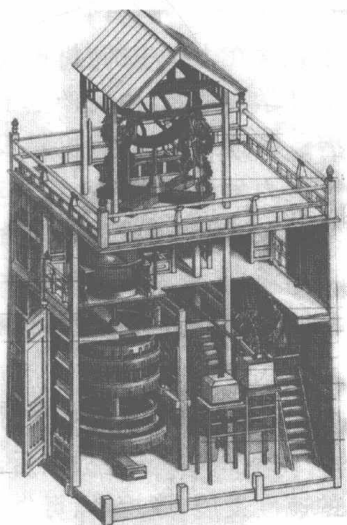


图 1-2 水运仪象台的结构

在 1854 年德国学者劳莱克斯发表的著作《机械制造中的设计学》中,把过去包含在力学中的“机械设计学”独立出来,建立了以力学和机械制造为基础的新学科体系,由此产生了“机构学”“机械零件设计”,成为机械设计的基本内容。在这一基础上,机械设计学得到了很快的发展。在疲劳强度、接触应力、断裂力学、高温蠕变、流体动力润滑、齿轮接触疲劳强度计算、弯曲疲劳强度计算、滚动轴承强度理论等方面都取得了大量的成果;新工艺、新材料、新结构的不断涌现,使机械设计的水平也取得了很大的发展。机器的尺寸减小,速度增加,性能提高,机械设计的计算方法和数据积累也相应有了很大的发展,反映了时代的特色。

### 3. 第二次世界大战结束到现在机械设计

第二次世界大战以后,作为机械设计理论基础的机械学继续以更加迅猛的速度发展,摩擦学、可靠性分析、机械优化设计、有限元计算及计算机在机械设计中迅速推广,使机械设计的速度和质量都有大幅度的提高。在机械中计算机和自动化程度的提高,使现代机械具有明显的特色。因此,机械设计在理论、内容和方法方面与过去相比,有了划时代的发展。

而国际市场的激烈竞争,使世界各国逐渐认识到产品市场竞争对各国经济发展的重要作用。面对印有“Made in U. S. A”的美国产品充斥德国市场,德国提出了“关键在于设计”的口号,计划努力恢复德国产品的声誉,使“Made in Germany”风靡世界。日本虽然在某些尖端科学研究方面走在一些国家的后面,但是在产品设计方面发展很快,迅速摆脱了第二次世界大战以前“东洋货”质量不好的印象,大量生产各国市场需要的产品,取得了巨大的经济效益。美国、英国也逐渐认识到产品设计的重要意义,美国提出了“为竞争的优势而设计”(designing for competitive advantage)的口号。因此,机械产品设计技术在这一时期获得了空前的进展。“21 世纪将是设计的世纪”,机械设计目前已经不宜再作为机械学的一个分支,而应该认为是与机械学并立的一门技术科学了。

为了更快、更好地促进我国的机械设计科学的发展,必须集中探讨机械设计各主要环节的正确工作方法和解决关键问题的途径,收集新产品开发的成功经验和范例,积累大量的设计资料,了解世界有关行业的发展动向,致力于提高我国机械工业的水平,生产出具有国际竞争能力的机械产品。

## 1.1.2 机械制造

### 1. 古代制造技术的发展

从公元前的五帝时代到明朝末期(即 17 世纪中叶)的 4 000 多年里,我国的



机械制造技术一直领先于世界。那时,机械制造采用手工作坊的生产模式,生产以手工操作为主,以人力、牲畜力和自然力作为加工机械的动力来源,机械化得到初步应用。

众所周知,在古代没有现代的机械制造概念,不存在制造业这样划分清楚而又独立的行业,也没有较为系统的制造技术发展史料。为了便于了解古代机械制造发展中所取得的成就,本节将从原动力的发明、传动机或传动机构的发明这两个方面出发,对古代机械发展中一些较为典型的机构作简要介绍,说明古代制造技术发展的历程。

### 1) 原动力方面的发明与制造技术的进步

无论哪一个民族,在制造业发展的初期,所需要的原动力都来自人力。后来最重要的一步发展是在人力以外利用其他的原动力。开始时利用牲畜力,后来利用风力、水力和热力,结果使机械制造的劳动生产率不断提高。古代制造技术所需的原动力包括以下几个方面。

(1) 牲畜力 人类利用牲畜力为原动力是很早的。利用牲畜力作为农业方面的原动力,在我国古代社会极为普遍。除运输方面,如拉车驮载等以外,最显著的有以下三个方面:第一,利用牲畜力耕田及播种;第二,利用牲畜力碾米及磨面;第三,利用牲畜力带动水车灌溉田地。利用牲畜力还可为制造提供原动力,如冶金铸造所用的鼓风机所用的原动力,最初当然是人力,后来采用了牲畜力,再后来就发展到利用水力。目前,在原动力利用方面,牲畜力已处在次要地位,但是因为利用方便,在不少发展中的农业国家,牲畜力作为原动力仍占很重要的地位。

(2) 风力 我国史书就有利用风力以表明风的方向;利用风力作为一种原动力以帮助行船及行车的记载。当人类最初发明利用风力的时候,首先是利用它在直线方向发生的压力或推力,以补充人力的不足,船上用的帆就是实例。利用一种风轮把风的直线运动转换为一种回转运动,以便做各种工作。

(3) 水力 在这方面,我国的应用很早,并且利用的方式很多。最初的实例就是“刻漏”或“铜壶”。当时用刻漏表示时间,天文志上记载有“黄帝创观漏水”。其次,还有利用牲畜力的马排发展而来的水排,用于冶铸鼓风。另外,还有用水力作为天文仪器的原动力,用水力作为舂米的原动力,用水力作为碾米磨的原动力,用水力扬水和用水力纺纱等。这些发明在劳动生产中广泛应用,给人民的生产和生活带来了很大的帮助。

(4) 热力 在热力的利用方面,中国在古代一直处于世界领先地位。像火箭这一武器,全世界都公认是我国最先发明的,因为它是能够由热力变换为机械力并且能做出相当大的功,所以应当归入热力发动机一类。除火箭以外,还

有其他的一些应用热力的武器,像作为飞弹的震天雷炮、神火飞鸦和自动爆炸的地雷、水雷和定时炸弹等。这些成就充分显示了我国古代人在热力利用过程中的智慧。

在以上介绍的有关各种原动力中,似乎与制造技术的进步没有太大关系,但是这些原动力后来都转变为制造过程中的各种动力源,使人类在制造方面脱离了自身力量的限制,从而大大提高了人类的制造能力,并加快了制造技术的发展。

## 2) 传动机或传动机构方面的发明

为了解决原动机的回转运动与工作机运动形式的转换及运动的传递问题,同时也可实现驱动能的传递,需要各种类型的传动机或传动机构。下面对几类常用的传动方式进行说明。

(1) 绳带传动 绳带传动是人类制造技术发展史上出现最早的一种传动机构形式,虽然在它出现之初还仅仅是一种不成熟的传动机构,但它却是人类机械制造发展历程中的一项重大突破。在距今 2 000 年左右的西汉末年,在凿盐井的过程中就曾采用过绳带传动,据宋应星所著的《天工开物》上记载:在凿井的时候用牛转绳轮,再经过导轮和辘轳等向上提水和舂碎的石粉泥浆。另外还在磨床上使用绳带传动,古代用于琢磨玉石的磨床,在磨石轮轴的两边,各将绳索或皮条的一端固定在轴上,并按相反的方向各绕轴几周。此外,在镞木加工的镞床上,各种起重用的滑车上和拉重物用的绞车上,也都采用了绳索或皮条来传递运动和力量。

(2) 链传动 在我国,链的应用发明也很早。而真正用于传动的链大多属于搬运链的性质,包括翻车及拔车、水车、高转筒车和天梯。其中,天梯是一种铁制的链子,把下边的小横轴的转动经过两个小链轮传递到上边的小轴杆上,这是一种真正具有传递动力和运动性质的链条。链传动相对绳带传动来讲,它的传动较为精确,是在绳带传动之后出现的一种较为成熟的传动形式。

(3) 齿轮和齿轮系传动 齿轮和齿轮系是传动机或传动机构里最重要的一种。我国齿轮和齿轮系的发明可以上溯到秦代或西汉初年。我国利用齿轮传动所发明的一些典型机构,包括记里鼓车、指南车上的齿轮系等。此外还有北宋时的水运仪象台上所用的齿轮系,北宋末年王辅和元代郭守敬所制水力天文仪器上所用的齿轮系,元末明初詹希元所制五轮沙漏上所用的齿轮系等。齿轮机构的出现是人类机械制造技术发展史上具有划时代意义的一件大事。

这些机构的发明与制造为后来设计与制造出更为高级精密的设备提供了必要的条件,从而使制造能力大大提高成为可能。可以说,以上每一种机构的出现都是人类机械制造技术发展史上的一座里程碑。

## 2. 近代制造技术的发展

在漫长的古代制造技术的发展历程中,各种工具或机械相继被制造出来了,人类的生活逐渐得到了改善。近代制造技术真正取得了飞速发展,其成就也远远超过以往漫长年代所有成就的总和。

### 1) 工业革命前后机械制造的发展

(1) 动力源的变革——从气压的利用到蒸汽机的诞生 18 世纪,随着纺织机的发明、矿山开采的需求及靠水车转动的机械的局限性,人们希望能出现一种比水车更强大的动力装置。

1680 年,荷兰人惠更斯利用大气压使装在汽缸里的活塞动作。后来,帕平接受惠更斯的这种想法,改用蒸汽取代火药使活塞动作,其发明成为发明蒸汽机的导火索。1712 年,纽克门终于完成了第一台实用的蒸汽机。

为了解决热利用率问题,1765 年,瓦特发明了可以保持真空的“另外的容器”,即给蒸汽机安装上冷凝器,并进一步完成了利用蒸汽压力而运动的蒸汽机的发明。到了 1780 年左右,蒸汽机已被大量采用,成为各种工厂特别是制造工厂的强大动力源。

(2) 机床的发展 在同一时期,各种机床陆续问世,其数量也日益增多,工厂也犹如雨后春笋般在各地出现。18 世纪,英国的工业在世界上是发展最快的,需要大量生产机械设备,推动了各种金属加工机床的问世。

① 刀具的自动进给 15 至 16 世纪,脚踏式的、通过曲轴使主轴转动的车床开始被大量地使用。但是,刀具仍需要用手拿着。为了解决这些问题,人们又考虑出了新的加工方法,不是手握刀具,而是制作一个支承台,用其固定刀具。当时,很多人都提出了带有支承台的车床设计。

② 威尔金森的镗床 1769 年,英国出现了用水车作动力的镗床。后来,英国又有人改进了这种镗床(如图 1-3 所示的威尔金森镗床)。如加工气缸,将刀具安装在支承着两端的一根粗轴上,这个轴贯通气缸;旋转这根轴,再使汽缸毛坯移动,以此方法切削加工的汽缸直径为 50 in(1 in=25.4 mm),误差为 1/16 in 左右。因此,瓦特的蒸汽机能正常动作,是与镗床的进步分不开的。

③ 带有进刀装置的车床 为了设计并制造出一种不需要过多实践经验就能准确运转的机床,在 1770 年左右,诞生了将装有刀具的底座通过螺纹旋转产生进给的机床。在同一时期,英国的机械技师拉姆兹汀也制造了一台通过丝杠进给刀具切削螺纹的机床。在 1780 年,莫兹利制成一台螺纹切削车床,这种车床以切削出高质量的螺纹为目的,如图 1-4 所示。该车床是全金属的,全长 36 in,刀具安装在刀架上,该刀架和一根丝杠啮合,可以左右移动。这样,刀具就完