



“十三五”普通高等教育本科规划教材

# 机械制造装备设计

储开宇 王进峰 主 编  
杜必强 副主编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

“十三五”普通高等教育本科规划教材

# 机械制造装备设计

主 编 储开宇 王进峰  
副主编 杜必强  
编 写 丁海民 柳 青  
主 审 范孝良



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书为“十三五”普通高等教育本科规划教材。全书共7章，分别讲述金属切削机床设计、组合机床设计、机床课程设计方法等内容。内容编排以当代先进的制造装备设计方法为主线，以机械装备的总体设计、机床总体与运动设计和结构设计为重点，使学生掌握扎实的设计知识并增强工作能力。本书编写力求做到章节精简合理，知识集中度高，内容连贯完整、逻辑性与系统性强，讲解详细易懂，插图正确清晰，使教材内容与实践设计环节紧密联系，步骤一致，利于培养学生的工程技术人员素养。

本书可作为高等院校机械设计制造及其自动化专业及其他相关专业的教材，还可作为普通机床和组合机床课程设计的参考书，也可供从事机械制造装备设计与研究工作的工程技术人员和研究人员参考使用。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

机械制造装备设计/储开宇，王进峰主编. —北京：中国电力出版社，2019.1

“十三五”普通高等教育本科规划教材

ISBN 978-7-5198-1963-7

I. ①机… II. ①储… ②王… III. ①机械制造—工艺装备—设计—高等学校—教材  
IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 077079 号

---

出版发行：中国电力出版社

地 址：北京市东城区北京站西街 19 号（邮政编码 100005）

网 址：<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑：周巧玲

责任校对：黄 蓓 闫秀英

装帧设计：郝晓燕

责任印制：钱兴根

---

印 刷：北京建宏印刷有限公司

版 次：2019 年 1 月第一版

印 次：2019 年 1 月北京第一次印刷

开 本：787 毫米×1092 毫米 16 开本

印 张：17.75

字 数：481 千字

定 价：48.00 元

---

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

# 前 言

机械制造装备设计是机械制造专业的一门重要的专业课,是随着专业的合并和调整,以及宽口径教学的要求,将金属切削机床概论和金属切削机床设计调整和更新而成。主要以讲解普通机床的机械结构和主要部件的设计方法为主,结合组合机床相关设计的内容,使学生掌握机械装备设计的基础知识、基本理论和基本方法,树立正确的设计思想;掌握通用机械装备的设计原理、设计方法和一般设计规律,提高学生装备设计的竞争力,为今后从事专业技术工作打下良好的基础。

本书是依据机械设计制造及其自动化专业教学指导委员会指导性教学计划,并结合学校“十三五”学科发展规划和教学实际情况而编写的。其课程体系按32~48学时设计,着重学科特色。体现为:①从设计思想层面上介绍机械制造装备设计的基本要求、方法和特点,树立学生现代制造装备的设计思想;②从设计者的角度以金属切削机床中的典型设备车床和组合机床为主线,较为全面、系统地讲述机械制造装备的设计原理和方法。

全书体现理论知识扎实、设计方法正确、图形结构无错误和应用技能突出的思想,形成突出重点、显结构、重理解、强实践的课程结构体系,贯彻培养能力、构建思想,提倡创新、建设学科、创建人才的改革思路。

全书共7章,第1章介绍了机械制造装备的地位、发展、类型及其设计方法;第2章介绍了金属切削机床总体设计,阐述了总体设计内涵;第3章介绍了机床传动设计的内容与步骤;第4章介绍了机床典型部件的结构与设计方法;第5章介绍了组合机床设计,包括总体、多轴箱和液压电气的设计步骤与方法;第6章介绍了机床的发展及未来加工方式;第7章介绍了机床课程设计相关内容、步骤和方法。其中,第5章与第7章内容可供相关机床课程设计与毕业设计时参考。

通过本书各个环节的教学,使学生掌握机械装备设计的基础知识、基本理论和基本方法,树立正确的设计思想;掌握通用机械装备的设计原理、设计方法和一般设计规律,培养运用标准、规范、手册、图册和查阅有关技术资料的能力;使学生能对机械制造装备设计的全过程有一个总体了解和把握,获得设计技能的基本训练,同时具有宽阔的视野、创新思维和独立设计的技能;为学生的专业课课程设计和毕业设计打下基础,最终使学生具备机械制造装备总体设计和结构设计的能力。

本书由华北电力大学储开宇、王进峰任主编,杜必强任副主编,丁海民、柳青参加编写。全书由储开宇统稿、定稿。

本书由华北电力大学机械工程系范孝良教授主审，并提出了许多宝贵的意见和建议，在此表示感谢。

本书是编者在总结多年来教学研究、教学改革和教学实践的基础上，结合实际教学要求编写的，但限于编者的水平，书中不足之处在所难免，恳请读者批评指正（E-mail: cky666@126. com）。

**编 者**

2018年7月

# 目 录

## 前言

<b>1 概述</b> .....	1
1.1 机械制造装备的地位与发展 .....	1
1.2 机械制造装备的分类 .....	3
1.3 机械制造装备设计的要求 .....	5
1.4 机械制造装备设计的类型 .....	7
1.5 机械制造装备设计的方法 .....	8
1.6 机械制造装备设计的评价 .....	18
习题及思考题 .....	33
<b>2 金属切削机床总体设计</b> .....	34
2.1 机床设计的基本要求 .....	34
2.2 机床设计步骤 .....	36
2.3 机床运动学原理 .....	37
2.4 机床的总体布局 .....	46
2.5 主要技术参数的确定 .....	50
习题及思考题 .....	59
<b>3 机床的传动设计</b> .....	60
3.1 主传动系统设计 .....	60
3.2 分级变速主传动系统设计 .....	61
3.3 计算转速 .....	82
3.4 几种常用的变速机构 .....	85
3.5 主传动系统的结构设计 .....	90
3.6 无级变速系统设计 .....	103
3.7 进给传动系统设计 .....	106
习题及思考题 .....	112
<b>4 机床典型部件设计</b> .....	115
4.1 主轴组件设计 .....	115
4.2 主轴滑动轴承 .....	138
4.3 机床支承件设计 .....	142
4.4 导轨设计 .....	147
习题及思考题 .....	160
<b>5 组合机床设计</b> .....	162
5.1 概述 .....	162
5.2 组合机床总体设计 .....	172

5.3	通用多轴箱设计	187
5.4	液压元件集成块及设计应用	209
5.5	液压装置电气控制系统及设计	233
	习题及思考题	237
<b>6</b>	<b>机床的发展及未来加工方式</b>	<b>238</b>
6.1	机床及自动线的发展方向	238
6.2	未来的生产方式	239
<b>7</b>	<b>机床课程设计</b>	<b>242</b>
7.1	概述	242
7.2	运动设计	243
7.3	零件计算	244
7.4	结构设计	260
7.5	单元结构设计的图示与常见错误	264
	<b>附录</b>	<b>271</b>
	<b>参考文献</b>	<b>275</b>

# 1 概 述

## 1.1 机械制造装备的地位与发展

### 1.1.1 机械制造装备在国民经济中的地位

装备制造业是保证国民经济发展建设的基础,装备制造业的技术水平和现代化程度决定着整个国民经济的发展水平和现代化程度。在现代机械制造业中,切削加工是加工机械产品零件最主要的方法。金属切削机床能对金属坯料或工件进行加工,获得所要求的几何形状、尺寸精度和表面质量。机械产品中大部分是由一定形状和尺寸的金属零件组成,而这些零件通常都是用金属切削机床加工出来的。金属切削机床同时还是制造机器的机器,即能制造机床本身的机器,这是金属切削机床区别于其他机器的主要特点,故机床又称为工具机。它所担负的工作量占机器总制造工作量的40%~60%,所以作为加工机器零件的主要设备,机床的技术水平直接影响到机械制造工业的产品质量和劳动生产率。

机械制造工业肩负着为国民经济各部门提供现代化技术装备的任务,它为工业、农业、交通运输业、科研和国防等部门提供各种机器、仪器和工具,它是国民经济各部门赖以发展的基础。而机床工业又是机械制造工业的基础。

机床是机械工业的基本生产设备,是机械制造的工作母机,它的品种、质量和加工效率直接影响着其他机械产品的生产技术水平 and 经济效益。机床的属性决定了它在国民经济中的重要地位,因此,机床工业的现代化水平和规模,以及所拥有机床的数量和质量,对提升机械产品市场竞争力、加强国防军工建设都具有举足轻重的作用。作为现代化工业生产不可或缺的重要装备,机床已经成为国家重要的战略装备,它的技术水平可以反映一个国家的综合国力,是一个国家工业发达程度的重要标志之一。

### 1.1.2 机床的发展简史

机床制造工业可划分为三个发展阶段:手工业生产、机械化和自动化生产。

公元前2000多年出现的树木车床是机床最早的雏形。该机床工作时,脚踏绳索下端的套圈,利用树枝的弹性使工件由绳索带动旋转,手拿贝壳或石片等作为刀具,沿板条移动工具切削工件。在12世纪和13世纪后半期,出现了装有绳索擒纵机构的原始钟和天平式钟,表明时钟齿轮系统有了进一步的发展。这个时期,曲柄连杆机构原理已经用于机械,加工机械方面出现了手动车床。15世纪,由于钟表制造业的发展,推动了机械制造技术的发展,出现了钟表匠需用的螺纹车床和齿轮加工机床。

18世纪的工业革命推动了机床的发展。世界上第一台镗床是1775年由威尔金森发明的。威尔金森发明的镗床是一种能够精密地加工大炮的钻孔机,它是一种空心圆筒形镗杆,两端都安装在轴承上。威尔金森用这台炮筒镗床镗出的气缸,满足了瓦特蒸汽机的要求。为了镗制更大的气缸,他又于1776年制造了一台水轮驱动的气缸镗床,促进了蒸汽机的发展。从此,机床开始用蒸汽机通过天轴驱动。

1797年,英国人莫兹利制成的车床由丝杠传动刀架,这台车床能够沿着两根平行导轨移动刀架和尾座。导轨的导向面是三角形的,在主轴旋转时带动丝杠使刀具架横向移动。这是近代车床所具有的主要机构,能实现机动进给和车削螺纹,这也是机床结构的一次重大变革。莫兹利也

因此被称为“英国机床工业之父”。19世纪,由于纺织机械、动力机械、交通运输机械和军火生产的推动,各种类型的机床相继出现。1817年,英国人罗伯茨创制龙门刨床;1818年,美国人惠特尼制成了世界上第一台普通卧式铣床;1876年,美国人制成万能外圆磨床;1835和1897年,美国人先后发明滚齿机和插齿机。从19世纪末到20世纪初,单一的车床已逐渐演化出了铣床、刨床、磨床、钻床等多种功能机床。这些主要机床已经基本定型,随着电动机的发明,机床开始先采用电动机集中驱动,后又广泛使用单独电动机驱动。20世纪初,为了加工精度更高的工件、夹具和螺纹加工工具,相继制出坐标镗床和螺纹磨床。同时为了适应汽车、轴承等工业大量生产的需要,又研制出各种自动机床、仿形机床、组合机床和自动生产线。

随着电子技术的发展,美国于1952年研制成功第一台数字控制机床;1958年研制成功能自动更换刀具,以进行多工序加工的加工中心;20世纪70年代初研制成功柔性制造系统(FMS);1987年首创开放式数控系统等。电子技术和计算机技术的发展和运用,使机床在驱动方式、控制系统和结构、功能等方面都发生了显著的变革。

### 1.1.3 我国机床发展现状

我国的机床工业是在中华人民共和国成立后建立起来的。在半封建半殖民地的中国,基本上没有机床制造业。直到1949年,只有少数几个机械修配厂能少量生产结构简单的机床,全国机床产量仅1500多台。至今经过近70多年的发展,我国机床工具行业经历了从修配到制造,从制造一般产品到制造大型精密数控机床,从测绘仿制、引进技术到消化吸收再创新、部分产品自主创新,从仅仅面向国内市场到走向国际市场,从出口产品、与国外进行经济技术合作到收购国外一些技术先进的企业,开展国际化经营的一系列转变,我国机床工业获得了高速发展,逐步形成了具有较大规模、布局比较合理、结构比较完整、较强实力和较高技术水平的机床工具制造体系。

我国已连续几年成为世界最大的机床消费国和机床进口国,是世界第三大机床生产国。我国机床的拥有量和产量已步入世界前列,品种和质量也有了很大的发展和提高,除满足国内建设需要外,有一部分已远销国外。我国已制订了完整的机床系列型谱,生产的机床品种也日趋齐全,目前已具备了成套装备现代化工厂的能力,我国机床的性能也在逐步提高。

在消化、吸收、引进技术的基础上,我国的数控机床无论从产品种类、技术水平、质量和产量都取得了很大的发展,一些关键技术也得到了重要突破,有些机床已经接近世界先进水平。目前我国机床品种超过4000种(特别是数控机床及其他高新技术机床产品达1500多种),这在世界范围内也是位居前列的。我国的锻压机床、重型与超重型机床、高精度精密机床、电加工与特种加工机床、直齿与弧齿齿轮加工机床(滚、铣、插、剃、珩、拉,特别是磨齿),品种门类齐全。我国可供市场的1500多种数控机床,覆盖超重型机床、高精度机床、特种加工机床、锻压设备、前沿高技术机床等领域,范围之广,可与美、日、德、意并驾齐驱。

五轴联动数控机床是数控机床技术制高点的重要标志。用于大型螺旋桨空间曲面加工的五轴联动铣床,曾引发轰动一时的美日制裁苏联的“东芝事件”。该事件就是由于日本东芝公司卖给了苏联几台五轴联动的数控铣床,让苏联在潜艇的推进螺旋桨上的制造水平上了一个档次,使美国的声呐听不到苏联潜艇的声音了,由此美国要惩处东芝公司。十几年前美国国会也因当时我国进口了16台用于飞机制造的此类旧机床而炮制所谓要求制裁的“考克斯报告”。

这些至今仍受到限制的数控五轴联动产品的开发技术,我国都已陆续掌握。它标志着中国已成熟地掌握了这项发达国家长期对中国限制的技术。

近年来,在我国数控机床的制造方面,无论是技术水平还是制造质量都在逐年提高,数控机床外观也变得越来越亮丽。但是,国产数控机床和国外工业发达国家的产品比较,还存在许多差

距,相当数量的中高档数控机床仍需要依赖进口。低端过剩和高端不足的结构性矛盾、国内市场需求结构快速升级与机床行业不能适应和满足这种需求的矛盾,成为掣肘机床产业健康发展的主要问题,也成为行业转型升级急需破解的重要课题。

中国机床行业缺的不是面,而是深度。在《中国制造 2025》目标下,智能制造成为我国高端装备制造重点发展方向之一,这为机床行业提供了新的发展空间。智能化产品将是机床行业在高端市场的一个新突破口。

## 1.2 机械制造装备的分类

机械制造过程是从原材料开始,经过热、冷加工,装配成产品,对产品进行调试和检测、包装和发运的全过程,所使用的装备类型繁多,大致可划分为加工装备、工艺装备、仓储传送装备和辅助设备四大类。

### 1.2.1 加工装备

加工装备是指采用机械制造方法制作机器零件的机床,即制造机器的机器,也称为工作母机。其种类非常多,例如,金属切削机床、特种加工机床、锻压机床,以及快速成形机、塑料注射机、焊接设备、铸造设备、木工机床等。

#### 1. 金属切削机床

金属切削机床是采用切削或磨削的方法,利用刀具或磨具与工件之间的相对运动,从工件上去除多余的金属,以获得满足几何形状、尺寸精度和表面质量要求零件的加工设备。

(1) 按机床的加工原理分。按机床的加工原理不同可以分为:车床、钻床、镗床、磨床、铣床、刨(插)床、拉床、齿轮加工机床、螺纹加工机床、切断机床、特种加工机床和其他机床 12 类。其中特种加工机床已发展成为一个较大的分类,故本书将它作为一大类机床进行介绍,而其他机床还包括有锯床、键槽加工机床、珩磨研磨机床等。

(2) 按机床的使用范围分。按机床的使用范围可以分为:通用机床、专用机床和专门化机床。

1) 通用机床。通用机床可加工多种尺寸和形状的工件的多种加工面,故又称为万能机床。

2) 专用机床。专用机床是用于特定工件的特定表面、特定尺寸和特定工序加工的机床,是根据特定的工艺要求专门设计和制造的。其结构比通用机床简单,生产率和自动化程度高,多用于成批和大量生产。组合机床是其中的一大分支。

3) 专门化机床。专门化机床的特点介于通用机床和专用机床两者之间,用于对形状相似、尺寸不同的工件的特定表面,按照特定的工序进行加工,生产率一般较高。如精密丝杠机床、曲轴机床等。

此外,机床还可以按照其加工精度分为普通、精密和高精密机床;按其自动化程度分为普通、半自动、自动机床;按其控制方式分为程序控制、数控、仿形机床等。

#### 2. 特种加工机床

特种加工也称“非传统加工”或“现代加工方法”,是近几十年发展起来的新工艺,泛指用电能、热能、光能、电化学能、化学能、声能、特殊机械能等能量达到去除或增加材料的加工方法,从而实现材料被去除、变形、改变性能、被镀覆等。与传统的切削加工方法相比,特种加工的特点包括:在加工过程中工具与工件之间没有显著的切削力;能用简单的运动加工出复杂的型面;加工范围不受材料物理、机械性能的限制,工具材料硬度可以低于被加工材料的硬度。主要用于一般切削加工方法难以加工(如材料性能特殊、形状复杂)的工件,是对传统加工工艺方

法的重要补充与发展。特种加工机床即采用特种加工方法加工工件的机床,按其加工原理可分为电加工、超声加工、高能束加工、射流加工、等离子弧加工、磁脉冲加工、磁磨料加工、复合加工、其他特种加工机床等。

### 3. 锻压机床

锻压机床是利用机床的塑性变形特点进行成形加工的设备,属无屑加工设备,主要包括锻造机、冲压机、挤压机和轧制机四大类。

## 1.2.2 工艺设备

工艺装备是产品制造时所使用的各种刀具、模具、夹具、量具等工具的总称。它是保证产品制造质量、贯彻工艺规程、提高生产效率的重要手段。

### 1. 刀具

刀具是切削加工时,从工件上切除多余材料所用的工具。刀具的种类非常多,如车刀、刨刀、铣刀、钻头、丝锥、齿轮滚刀等。大部分的刀具均已实现标准化,由刀具制造企业大批量生产,不需要自行设计。

### 2. 模具

模具是用来将材料填充在其型腔中,以获得所需形状和尺寸制件的工具。模具种类很多,根据加工对象、加工工艺及结构特点的不同,包括有粉末冶金模具、塑料模具、压铸模具、冷冲模具、锻压模具等。

### 3. 夹具

夹具是机床上用于装夹工件(和引导刀具)的一种装置。其作用是将工件定位,以使工件获得相对于机床和刀具的正确位置,并把工件可靠地夹紧。夹具一般由定位元件、夹紧装置、对刀和引导元件或装置、连接元件、夹具体等部分构成。夹具按其所使用的机床可分为车床夹具、铣床夹具、钻床夹具(钻模)、镗床夹具(镗模)、磨床夹具、齿轮机床夹具等;按其产生夹紧力的动力源可将夹具分为手动夹具、气动夹具、液压夹具、电动夹具、电磁夹具、真空夹具等;按其使用范围,分为通用夹具、专用夹具、组合夹具、随行夹具、通用可调夹具、成组夹具等类型。

### 4. 量具

量具是以固定形式复现量值的计量器具的总称。按其用途可分为:标准量具、通用量具和专用量具。标准量具指用作测量或检定标准的量具,如量块、多面棱体、表面粗糙度比较样块等。通用量具也称万能量具,一般指由量具厂统一制造的通用性量具,如直尺、平板、角度块、卡尺等。专用量具也称非标量具,指专门为检测工件某一技术参数而设计制造的量具,如内外沟槽卡尺、钢丝绳卡尺、步距规等。

## 1.2.3 物流供输设备

物流系统是机械制造系统的重要组成部分之一,它的作用是将制造系统中的物料(如毛坯、半成品、成品、工夹具等)及时、准确地输送到有关设备或仓储设施处,主要完成物料的存储、输送、装卸、管理等功能。

## 1.2.4 辅助设备

辅助设备包括清洗机和排屑装置等设备。

清洗机是用来清洗工件表面尘屑油污的设备。所有零件在装配前均需经过清洗,以保证装配质量和使用寿命。清洗液常用3%~10%的苏打或氢氧化钠水溶液,加热至80~90℃,采用清洗、喷洗、气相清洗或超声清洗等方法。

排屑装置用于自动机床或自动线上,用于从加工区域将切屑清除,并传送至机外或线外的集屑器中。清除切屑的装置常用离心力、压缩空气、电磁、真空或切削液冲刷等方法;切屑传送

装置则有带式、螺旋式、刮板式等。

### 1.3 机械制造装备设计的要求

机械制造装备设计工作是设计人员根据市场需求所进行的构思、计算、试验、选择方案、确定尺寸、绘制图样、编制设计文件等一系列创造性活动的总称。其目的是为新装备的生产、使用和维护提供完整的信息。设计工作是一切产品实现的前提，设计质量的优劣直接影响产品的质量、成本、生产周期及市场竞争能力，产品性能的差距首先是设计差距，据统计，产品成本的60%取决于设计。机械制造装备设计工作要适应科学技术的飞速发展及市场竞争的日趋激烈，要采用先进的设计技术，设计出质优价廉的产品。机械制造装备的类型很多，功能各异，但设计工作的总体要求是精密化、高效化、自动化、机电一体化、向成套设备与技术方向发展，不断增加品种、缩短供货周期，满足工业工程和绿色工程的要求等。

#### 1.3.1 精密化

随着科学技术的发展和市场竞争的加剧，对产品性能的要求越来越苛刻，对其制造精度的要求越来越高。为此，机械制造装备必须向精密化方向发展，全面采取提高精度的技术措施。一方面全面提高零件的加工精度，压缩零件的制造公差；另一方面要采用高精度的装置，如滚珠丝杠、滚动导轨等，同时还要采取各种误差补偿技术，以便提高其几何精度、传动精度、运动精度、定位精度。为了保证在高速、高负荷下保持加工精度，必须提高机械制造装备的刚度、抗振性，以及低温升和热稳定性。为了提高精度保持性和工作可靠性，还必须重视零件的选材和热处理，以便提高相对运动表面的硬度、减少磨损，同时还要优化运动部件间的间隙，合理润滑和密封，适应自动化和智能化控制的要求。

#### 1.3.2 高效化

不断提高生产效率，一直是机械制造装备设计所追求的目标。生产率通常是指在单位时间内机床、加工单元或生产线所能加工的工件数量，为此必须缩短加工一个工件的平均总时间，其中包括缩短切削加工时间、辅助时间以及分摊到每个工件上的准备时间和结束时间。为了提高切削速度、缩短切削时间，必须采用先进刀具，提高机床及有关装备的强度、刚度、高速运转平稳性、抗振性、切削稳定性等性能，适应高效化的要求；同时在自动化加工的前提下，提高空行程及调整运动速度、将加工时间与辅助时间相重合，采用自动测量技术和数字显示技术等，缩短辅助时间。此外，采用适应控制和智能控制也是提高高效化水平的有效措施。

#### 1.3.3 柔性自动化

机械制造装备实现自动化，可以减少加工过程的人工干预，可以保证加工质量及其稳定性，同时提高加工生产率和减轻工人劳动强度。机械加工自动化有全自动化和半自动化之分，全自动化是指能自动完成上料、卸料和加工循环的全过程，半自动化加工中的上下料需人工完成。

实现自动化控制和运行的方法，可分为刚性自动化和柔性自动化两类。刚性自动化是指传统的凸轮和挡块控制，工件发生改变时必须重新设计凸轮及调整挡块，调整困难，因此只能适合于传统的大批量生产，已逐渐被现代化的柔性自动化技术所代替。柔性自动化是由计算机控制的生产自动化，主要有可编程逻辑控制和计算机数字控制。可编程逻辑控制主要用于形状简单的零件加工控制和生产过程控制，计算机数字控制用于复杂形状零件的加工控制和复杂的生产过程控制。计算机数字控制与可编程逻辑控制相结合，实现了单件小批量生产的柔性自动化控制。如数控机床、加工中心、计算机直接数控（DNC）、柔性制造单元（FMC）和柔性制造系统（FMS）及计算机集成制造（CIM），使柔性自动化技术不断向前发展，正在改变着机械制造行业

生产自动化的面貌。

在计算机数字控制的基础上,生产自动化技术不断向着智能化方向发展。适应控制能在数控机床上根据实际工作条件(如切削力、变形、振动等)的变化,及时自动地改变切削用量(切削速度、背吃刀量和进给速度),使加工过程处于最佳状态,实现最优化加工精度控制或最优化生产率控制。

#### 1.3.4 机电一体化

为了实现机械制造装备的精密化、高效化和柔性自动化,其构成上必须是机电一体化,即实现机械技术,包括机械结构与传动、流体传动、电气传动同微电子技术和计算机技术等有机结合、整体优化,充分发挥各自的特点,组成一个最佳的技术系统,使得机械制造装备进一步减小体积、简化结构、节约原材料,提高传动效率,提高可靠性。

#### 1.3.5 结构模块化

为了适应机电产品更新换代周期加快的要求,机械制造装备也要加快更新换代周期,不断推出新产品,满足市场需求,为此必须采用先进的设计技术,提高设计效率与质量。在众多先进设计技术中,模块化设计技术显得尤为重要。一方面,通过不同模块的组合,可以快速获得不同性能的众多产品,最大限度地增加产品类型、降低生产成本,缩短新产品设计与制造周期,满足市场需求;另一方面,可方便地对结构模块进行更新,加快机械制造装备的更新换代。实践证明,绝大多数成功的机械制造装备产品,大都采用模块化结构。

#### 1.3.6 装备与技术配套化

我国的机械制造装备的制造企业必须改变过去只注重提供单机的状况,应向提供配套装备与相关技术的方向发展,包括配套的机床与相关的工艺装备和物料储运装备,还应进一步提供包括生产组织、工艺方法及工艺参数在内的全套加工技术,真正在机械制造行业中起到“总工艺师”的作用。

#### 1.3.7 节材

我国产品设计水平低,选取的安全系数一般偏大,造成产品肥头大耳,造成所谓的结构性材料浪费;又由于工艺水平落后,铸造和锻造过程中金属回收率低,毛坯的加工余量大,不仅浪费了原材料,也浪费了加工工时和能源,造成所谓的工艺性材料浪费。采用现代设计法,合理地选取安全系数,对主要零部件进行精确计算和优化,改进产品的结构,采用先进的制造装备提高材料的利用率。

#### 1.3.8 符合工业工程要求

工业工程是通过生产技术与管理的有机结合,对由人员、物料、设备、能源和信息所组成的系统进行设计、改善和实施的一门综合科学。现代工业工程充分应用计算机、运筹学、系统工程等先进技术,能采用定量分析方法,科学、准确地对大型生产系统进行设计与分析,对其工作效率和成本等进行全面优化。

产品设计要符合工业工程的要求,其内容包括在产品开发阶段,要充分考虑产品的结构工艺性、提高标准化和通用化水平;采用最佳工艺方案、选择合理的制造装备,尽可能地减少材料及能源消耗;合理进行机械制造装备的总体布局,优化操作步骤和方法,提高工作效率,同时减轻体力劳动;对市场和消费者进行调查研究,保证产品正确的质量标准,减少因质量标准制订得过高而造成的不必要浪费等。

优化操作步骤和方法应进行作业程序的分析。完成一项作业需要进行一系列的操作,每个操作沿一定的路线进行,称之为作业程序。作业程序中的操作越多,路线越长,所耗费的人力与时间就越多,效率越低,成本也越高。对作业程序进行分析,是为了取消不必要的操作,合并和

简化重复和烦琐的工作,合理分配两手的工作负荷,优化操作次序,缩短操作路线和操作时间,从而减少机器的空闲时间,提高工作的舒适性,降低工人的疲劳,重新组织一个效率更高的作业程序。

### 1.3.9 符合绿色工程要求

绿色工程是一个注重环境保护、节约资源、保证可持续发展的工程。根据绿色工程要求,企业必须纠正过去那种不惜牺牲环境和消耗资源来增加产出的错误做法,使经济发展更多地与地球资源与承受能力达到有机协调。按绿色工程要求设计的产品称为绿色产品,绿色产品设计在充分考虑产品功能、质量、开发周期和成本的同时,优化各有关设计要素,使产品从设计、制造、包装、运输、使用到报废处理的整个生命周期中,对环境影响最小,资源利用率最高。

绿色产品设计中应考虑的问题很多,如产品材料的选择应是无毒、无污染、易回收、易降解、可重用;产品制造过程应充分考虑对环境的保护、资源回收、废弃物的再生和处理、原材料的再循环、零部件的再利用等。原材料再循环的成本一般较高,应考虑经济上、结构上和工艺上的可行性。为了使零部件能再利用,应通过改变材料、结构布局、零部件的连接方式等改善和实现产品拆卸的方便性和经济性。

## 1.4 机械制造装备设计的类型

机械制造装备设计可分为创新设计、变型设计和模块化设计三大类型。

### 1.4.1 创新设计

企业要在激烈的市场竞争中求得生存,需要不断地推出具有竞争力的创新产品。创新设计是依据市场需求发展的预测,进行产品结构的调整,用新的技术手段和技术原理,改造传统产品,开发新一代的、具有高技术附加值的新产品,从而改善产品的功能、技术性能和质量,降低生产成本和能源消耗,并采用先进生产工艺,缩短与国内外同类先进产品之间的差距,提高产品的竞争能力。

创新设计通常应从市场调研和预测开始,明确产品的创新设计任务,经过产品规划、方案设计、技术设计和施工设计四个阶段;还应通过产品试制和产品试验来验证新产品的技术可行性;通过小批量试生产来验证新产品的制造工艺和工艺装备的可行性。设计过程一般需要较长的设计开发周期,投入较大的研制开发工作量。

### 1.4.2 变型设计

单一产品往往满足不了市场多样化和瞬息万变的需求。如每种产品都采用创新设计方法,则需要较长的开发周期和投入较大的开发工作量。为了快速满足市场需求的变化,常常采用适应型和变参数型设计方法。这两种设计方法统称为变型设计,都是在原有产品基础上,基本工作原理和总体结构保持不变,不同之处在于适应型设计是通过改变或更换部分部件或结构,变参数型设计则是通过改变部分尺寸与性能参数。通过变型设计,形成所谓的变型产品,以扩大使用范围,满足更广泛的用户需求。为了避免由于变型产品品种繁多所带来的生产混乱和成本增高,变型设计不应无序地进行,应在原有产品的基础上,按照一定的规律演变出各种不同的规格参数、布局和附件的产品,扩大原有产品的性能和功能,形成一个产品系列。

变型产品的基本工作原理和主要功能结构均与原有产品相同,其设计的依据是原有产品,该产品应属于技术成熟的产品,在设计和制造工艺方面是已经过了关的。这就是变型设计之所以可以在较短时间内,高质量地设计出符合市场需要产品的原因。

作为变型设计依据的原有产品,通常是采用创新设计方法完成的。为可能在其基础上进行

变型设计, 在创新设计时应考虑变型设计的可能性, 遵循系列化设计的原理, 将创新设计和变型设计二者进行统筹规划。即原有产品的设计不再是孤立进行, 而是作为系列化产品中所谓的基型产品来精心设计。变型产品也不再是无序的进行设计, 而是在系列型谱的范围内有依据的进行设计。

### 1.4.3 模块化设计

模块化设计是按合同要求, 选择适当的功能模块, 直接拼装成所谓的“组合产品”。进行组合产品的设计, 是在对一定范围内不同性能、不同规格的产品进行功能分析的基础上, 划分并设计出一系列功能模块, 通过这些模块的组合, 构成不同类型或相同类型不同性能的产品, 以满足市场的多方面需求。组合产品是系列产品的进一步细化, 组合产品中的模块也应按系列化设计的原理进行。

模块化设计通常是 MRP II (manufacturing resource planning, 制造资源计划) 驱动的, 可由销售部门承担, 或在销售部门中成立一个专门从事模块化设计的设计组承担, 有关设计资料可直接交付生产计划部门, 对组成产品的各个模块安排投产, 并将这些模块拼装成所需的产品。

据不完全统计, 机械制造装备产品中有一大半属于变型产品和组合产品, 创新产品只占很小一部分。尽管如此, 创新设计的重要意义不容低估。这是因为: 采用创新设计方法不断推出崭新的产品, 是企业市场竞争中取胜的必要条件; 变型设计和模块化设计是在基型和模块系统的基础上进行的, 而基型和模块系统也是采用创新设计方法完成的。

## 1.5 机械制造装备设计的方法

### 1.5.1 机械制造装备设计的典型步骤

机械制造装备设计的步骤根据设计类型而不同。其中创新设计的步骤最典型, 可划分为产品规划、方案设计、技术设计和工艺设计四个阶段。

#### 1. 产品规划阶段

市场对产品的需求是动态变化的, 但企业的产品生产在一段时间内应是相对稳定的。为了协调企业生产要求相对稳定和市场需求多变的矛盾, 在产品设计前必须进行产品规划, 确定新产品的功能、技术性能和开发的日程表。产品规划阶段的任务是明确设计任务。通常应在市场调查的基础上进行可行性分析, 制订设计任务书。

(1) 市场调查研究。市场调查研究内容包括: 新产品开发面向的社会消费群体, 及其对产品功能、技术性能、质量、数量、价格等方面的要求; 现有类似产品的功能、技术性能、价格、市场占有率和发展趋势; 竞争对手在技术、经济方面的优势和劣势, 以及发展趋向; 主要原材料、配件、半成品等的供应情况, 价格及变化趋势等。

(2) 可行性分析。可行性分析一般包括技术分析、经济分析和社会分析三个方面。技术分析是对开发产品可能遇到的主要关键技术问题做全面的分析, 提出解决这些关键技术问题的措施; 通过经济分析, 应力求新产品投产后能以最少的人力、物力和财力消耗得到满意的功能, 取得较好的经济效益; 社会分析是分析所开发的产品对社会和环境的影响。

可行性分析主要内容包括: 产品开发的必要性; 同类产品国内外技术水平对比及发展趋势; 本单位的技术基础及预期产品开发能达到的技术水平; 设计、工艺和质量等方面需要解决的关键技术问题; 现有设备条件及预期投资费用; 预期开发进度及投放市场的时间; 经济效益和社会效益估计等。

(3) 确定产品设计的主要要求和设计参数。

- 1) 产品用途、功能、作业要求等。
- 2) 运动参数：运动形式、运动范围及速度、加速度等。
- 3) 动力参数：载荷性质及大小、功率、转矩等。
- 4) 产品性能：精度、刚度、生产率等。
- 5) 控制要求；自动化程度、自动控制方式等。
- 6) 成本控制：控制最高成本。
- 7) 其他要求：可靠性、寿命。

(4) 进度要求。包括要求研制开始和完成日期。

(5) 制订设计任务书。设计任务书内容应包括产品的用途描述，设计所需要的全部重要数据，总体布局和结构特征，应满足的要求、条件和限制等，设计任务书是产品设计、评价和决策的依据。

## 2. 方案设计阶段

方案设计实质是根据设计任务书的要求，进行产品功能原理的设计。其目标是获得产品的基本形式或形状。方案设计的重要性主要体现在：方案设计阶段仅花费 20% 左右的成本和时间，却可以决定产品 80% 左右的成本，70% 左右的最终市场价值，50% 左右的产品特征，该设计阶段完成的质量如何将对产品的结构、性能、工艺和成本产生重大影响，直接关系到产品的技术水平及竞争能力。

产品的功能方案设计可以说是整个设计过程中最重要的一步，首先需要提出可以实现该产品功能的各种可能方案并进行优选，其次经过功能分析、确定方案，最终通过结构设计将构想表示出来，包括功能、原理、形状、布局和初步结构。

对于机械产品设计而言，技术设计与详细设计的重点就是应用工程图学、机械零件、机械原理、理论力学、材料力学、加工工艺学、材料学等基础知识完成产品的总装图、部件装配图、零件图及有关的设计与计算，这些可认为是常规设计的内容。而方案设计则是根据产品总的功能需求创造出相应原理方案的一种创造性过程，通过各种方法，探索多种方案，求得多个系统原理解，在此基础上通过评价和优化筛选，求得相对最佳原理解。

机械制造装备是用来生产机械产品的装备，对其运动和结构要求都比较高，机械制造装备的方案设计具体包括运动原理方案设计、传动原理方案设计、结构原理方案设计。不同的机械制造装备方案的设计过程不尽相同。机床、机器人、坐标测量机分别是机械制造装备的加工装备、物流装备、测控装备的典型代表，其中机器人用途很广。机床、机器人、坐标测量机等装备称为坐标运动类机械制造装备。坐标运动类机械制造装备设计是机械制造装备设计中最复杂、运动和结构设计要求最高的一种类型。下面以坐标运动类机械制造装备的方案设计为例，说明方案设计的一般设计过程。

(1) 可能的运动原理方案设计及其评价：设计可能的运动原理方案及其运动原理图，并进行分析、比较、评价及运动原理方案初选。

(2) 可能的传动原理方案设计及其评价：对经过设计过程 (1) 评价后初选的 (若干种) 运动原理方案，进行传动原理方案及其传动原理图设计，并进行分析、比较、评价及传动原理方案初选。

(3) 可能的结构原理方案设计及其评价：对经过设计过程 (2) 评价后初选的 (若干种) 传动原理方案，进行结构原理方案及其结构原理方案简图设计，并进行分析、比较、评价及结构原理方案初选。

(4) 结构原理初选方案的初步结构设计及评价：对经过设计过程(3)评价后初选的结构原理方案，进行总体结构草图设计，并进行分析、比较、评价及结构方案初选。

(5) 初选结构方案的细化：在经过设计过程(4)评价后初选结构方案的总体结构草图的基础上，设计总体方案装配图草图(细化到关键的零部件)，能够进行重量、主要技术参数、性能、所用材料、制造工艺、成本等方面的初步定量计算。

(6) 初选结构方案的评价与选择：对经过设计过程(1)~(5)得到的总体设计方案，进行分析、比较、评价。可采用经验观测评价法、模糊评价法及数字样机(虚拟样机)的整机仿真评价法等进行评价和选择。

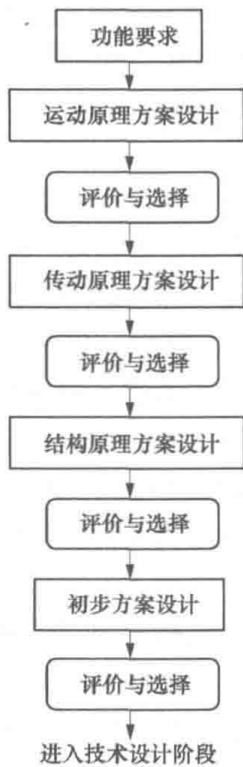


图 1-1 方案设计过程

从以上设计过程可以看出，方案设计是在各个设计阶段的方案产生、评价与选择等设计活动中进行的，图 1-1 所示为方案设计阶段的设计过程。

### 3. 技术设计阶段

技术设计阶段是将方案设计阶段拟订的初选结构方案具体化，确定详细结构原理方案；进行总体技术方案设计，确定主要技术参数、布局；进行详细结构设计，绘制详细的装配图，初选主要零件的工艺方案，进行各种必要的性能仿真；如果需要还可以通过模型实验检验和改善设计；通过技术经济分析选择较优的设计方案。

#### (1) 确定结构原理方案。

1) 确定结构原理方案。根据初选结构方案，对主要功能结构进行详细结构原理方案设计。

2) 评价和修改。对确定的结构原理方案进行技术经济评价，为进一步的修改提供依据。

#### (2) 总体设计。

1) 主要结构参数。包括尺寸参数、运动参数、动力参数、占用面积和空间等。

2) 总体布局。包括部件组成、各部件的空间位置布局和各部件的相对运动配合关系。在确定总体布局时，应充分考虑使用维护的方便性、安全性、外观造型、环境保护、对环境的要求等关系。

3) 系统原理图。包括产品总体布局图、机械传动系统图、液压系统图、电力驱动和控制系统图等。

4) 经济核算。包括产品成本和运行费用的估算、成本回收、资源的再利用等。

5) 其他。包括材料选用、配件和外协件的供应、生产工艺、运输、开发周期等。

(3) 结构设计。结构设计阶段的主要任务是在总体设计的基础上，对结构原理方案结构化，绘制产品总装图、部件装配图；提出初步的零件表、加工和装配说明书；对结构设计进行技术经济评价。

技术经济评价通常从以下几方面进行：实现的功能，作用原理的科学性，结构合理性，参数计算的准确性，安全性，人机工程要求，制造、检验、装配、运输、使用和维护的性能，资源回收利用，成本和产品研制周期等。

进行结构设计时必须遵守国家、部门和企业颁布的有关标准规范，充分考虑人机工程、外观造型、结构可靠和耐用性、加工和装配工艺性、资源回收利用、环保，以及材料、配件和外协件的供应，企业设备、资金和技术资源的利用，产品系列化、零部件通用化和标准化，结构相似性