

普通高等教育机电类专业规划教材

机械制造装备 设计与实践

JIXIE ZHIZAO ZHUANGBEI SHEJI
YU SHIJIAN



关云卿○主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

电子教案
习题电
电子教
题答案

普通高等教育机电类专业规划教材

机械制造装备设计与实践

主 编 关云卿
副主编 周昌沛 曹晓峰
参 编 毛国平 李亚莉 尤士淳
主 审 王化培



机械工业出版社

本书是在教育部、财政部支持的高等职业学校提升专业服务产业发展能力项目实施要求的基础上编写的,内容紧紧围绕机械设计与制造专业人才培养方案和“机械制造装备设计与实践”课程标准,将基础理论与工程案例有机结合,力求做到知识结构的系统性与实用性。本书主要内容包
括机械制造装备技术的发展和基本知识、金属切削机床设计、组合机床设计、机床夹具设计和物流系统设计等。

本书可作为高等职业院校机械设计与制造、数控技术、机电一体化技术等专业的教材,也可作为从事机械制造装备设计的工程技术人员的参考用书。

本书配有电子课件,凡使用本书作教材的教师可登录机械工业出版社教育服务网(<http://www.cmpedu.com>)下载,或发送电子邮件至 cmpgaozhi@sina.com 索取。咨询电话:010-88379375。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造装备设计与实践/关云卿主编. —北京:机械工业出版社, 2015. 2

普通高等教育机电类专业规划教材

ISBN 978-7-111-48240-6

I. ①机… II. ①关… 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(2014)第 235821 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:王英杰 责任编辑:王英杰 武 晋 版式设计:霍永明

责任校对:刘志文 封面设计:陈 沛 责任印制:刘 岚

北京玥实印刷有限公司印刷

2015 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·23 印张·560 千字

0001—2000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-48240-6

定价:48.00 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 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工微博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是在教育部、财政部支持的高等职业学校提升专业服务产业发展能力项目实施要求的基础上编写的，内容紧紧围绕机械设计与制造专业人才培养方案和“机械制造装备设计与实践”课程标准的要求，将基础理论与工程案例有机结合，力求做到知识结构的系统性与实用性。

为适应机械装备制造业装备设计、工艺设计与管理等岗位对于理论知识的要求，本书根据机械制造过程中常用装备，针对性地选择了金属切削机床、组合机床、机床夹具、物流系统等装备设计的基本知识作为教材内容。其中，金属切削机床设计的内容选择既注重保留金属切削机床设计理论的精华和知识结构的系统性，又注重工程实践的实用性，如主传动和进给传动运动、动力参数的计算方法以及主轴部件、进给传动部件的结构设计等内容具有很强的实用性；将机床夹具（工艺装备）、物流系统（仓储运输设备）纳入教材之中，使机械制造装备设计与实践更趋完整和系统；在组合机床设计章节增加 1HY 系列液压滑台、1TX 系列铣削头、1TA 系列镗削头、1TZ 系列钻削头及其传动装置等组合机床常用设计资料，增强了本书的实践性，可以作为教学实践环节学习使用和课程设计参考，从而在理论与实践相结合的基础上培养学生分析问题和解决问题的能力。

本书由重庆工业职业技术学院关云卿任主编，周昌沛、曹晓峰任副主编，重庆理工大学王化培教授任主审。编写分工如下：第一章绪论由尤士淳编写，第二章金属切削机床设计由毛国平、李亚莉编写，第三章组合机床设计由曹晓峰编写，第四章机床夹具设计由关云卿编写，第五章物流系统的设计由周昌沛编写。全书由关云卿统稿。

由于编者学术水平有限，书中难免有错误和不妥之处，敬请同行专家和广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 绪论 1

导读 1

第一节 机械制造基本概念及发展 1

一、基本概念 1

二、机械制造业的地位及发展状况 2

三、机械制造业的发展趋势 4

第二节 机械制造装备的功能 5

第三节 机械制造装备的分类 8

一、加工装备 8

二、工艺装备 11

三、仓储输送装备 12

四、辅助装备 13

第四节 机械制造装备设计内容及步骤 13

一、设计类型 13

二、设计内容及步骤 14

三、设计评审 16

复习思考题 16

第二章 金属切削机床设计 17

导读 17

第一节 机床设计基本理论 17

一、机床设计的基本要求 17

二、机床设计方法 21

三、机床设计步骤 22

四、基本理论 26

第二节 机床主要技术参数的确定 31

一、主参数 31

二、尺寸参数 32

三、运动参数 32

四、动力参数 36

第三节 机床主传动系统设计 40

一、主传动系统功用及设计要求 40

二、主传动系统布局方式和分类 41

三、分级变速主传动系统设计 43

四、无级变速主传动系统的设计 57

第四节 进给传动系统的设计 58

一、进给传动系统设计要求及特点 58

二、进给传动链的传动精度 66

三、伺服进给系统的机械机构设计 67

四、机床导轨的设计 72

第五节 主轴组件设计 83

一、主轴组件应满足的基本要求 84

二、主轴传动件 85

三、主轴结构设计的方法 87

四、主轴滚动轴承的选择与使用 94

五、主轴滑动轴承的选择 103

第六节 支承件设计 106

一、支承件应满足的基本要求 106

二、支承件的受力分析 107

三、支承件的结构设计 108

四、支承件的材料 114

复习思考题 116

第三章 组合机床设计 118

导读 118

第一节 组合机床的组成、设计特点及

步骤 118

一、组合机床的组成及特点 118

二、组合机床的工艺范围及配置形式 119

三、组合机床自动生产线的组成和

分类 125

四、组合机床设计步骤 126

第二节 组合机床通用部件及其选用 128

一、通用部件的类型及标准 128

二、常用通用部件 131

三、通用部件的选用 146

第三节 组合机床总体设计 147

一、组合机床工艺方案的拟订方法 147

二、切削用量的确定 153

三、绘制“三图一卡” 154

第四节 组合机床多轴箱设计 166

一、多轴箱的结构 167

二、通用多轴箱设计 173

三、攻螺纹多轴箱的设计特点 188

第五节 组合机床设计常用资料的使用 195

一、常见通用部件主要性能及联系		
尺寸	195	
二、组合机床常用工艺方法及切削		
用量	201	
三、组合机床常用工具和辅具	207	
复习思考题	215	
第四章 机床夹具设计	217	
导读	217	
第一节 认识机床夹具	217	
一、工件的装夹与机床夹具	217	
二、机床夹具的作用	218	
三、机床夹具的分类	219	
四、机床夹具的组成	220	
五、机床夹具的设计步骤	221	
第二节 工件的定位方案设计	222	
一、工件定位的基本原理	222	
二、定位元件的选择与设计	229	
三、定位误差的分析与计算	240	
四、定位方案设计示例	251	
第三节 工件的夹紧方案设计	253	
一、夹紧机构的设计原则	253	
二、夹紧力的确定原则	254	
三、典型夹紧机构	258	
四、夹紧的动力装置	270	
第四节 典型机床夹具的结构特点	272	
一、车床夹具	272	
二、铣床夹具	276	
三、钻床夹具	281	
四、镗床夹具	290	
五、成组夹具、组合夹具及随行夹具	298	
六、数控机床夹具	303	
七、专用夹具	304	
复习思考题	313	
第五章 物流系统的设计	318	
导读	318	
第一节 物流系统的总体设计	318	
一、物流系统及其设计的意义	318	
二、物流系统的特点和功能	319	
三、物流系统的设计内容和要求	320	
四、物流系统的设计步骤	321	
第二节 机床上下料装置设计	323	
一、单件物品形态分析及定向方法	323	
二、料仓式供料机构	326	
三、料斗式供料机构	332	
四、板片料供料机构	338	
五、工件的分配和汇总机构	340	
六、上下料机械手	342	
第三节 物料运输装置	346	
一、输送机的类型及特点	346	
二、自动运输小车的类型及特点	348	
第四节 自动化立体仓库设计	351	
一、自动化立体仓库的分类	351	
二、自动化立体仓库的构成	352	
三、自动化立体仓库的工作过程	354	
四、自动化立体仓库的计算机控制	354	
复习思考题	355	
附录	356	
附录 A 定位夹紧符号	356	
附录 B 固定式定位销（摘自		
JB/T 8014.2—1999）	357	
参考文献	359	

第一章 绪 论

► 导 读

制造业是国民经济的支柱产业，无论在工业经济时代还是在信息经济时代，它都是国民经济各部门赖以发展的基础；而机械制造业又是制造业的核心所在，它的生产能力和发展水平是衡量一个国家工业水平的重要指标。因此，机械制造业在国民经济中占据着重要地位。机械制造装备直接为机械制造业提供生产用装备，间接为非机械制造业提供生产用机械设备，所以机械制造装备是机械制造业乃至整个制造业发展的基础，机械制造业的生产能力和水平主要取决于机械制造装备的先进程度，机械装备制造业的发展水平已成为衡量一个国家工业化程度和技术水平的重要标志。不断提高机械制造装备水平，对机械制造业的持续发展具有非常重要的意义。

本课程是机械设计与制造专业的一门重要的专业课，又是综合运用多门先修课知识的归结性课程，在学习方法上既要注重理论联系实际，又要注重知识的关联性。

本章主要讲述机械制造装备的相关基本概念、分类、功能、设计方法、设计类型及发展趋势，使学生初步了解机械制造装备设计的基础知识和整体概况，为后续章节的学习打下良好的基础。

首先，要通读全章，重点理解机械制造装备设计的基本概念和分类；其次，结合本章习题，进一步加深对本章知识要点的掌握；最后，通过阅读相关文章、上网收集有关机械制造装备的图片及知识内容，强化对本章内容的理解。

第一节 机械制造基本概念及发展

一、基本概念

1. 制造及制造技术

所谓制造就是人们按照市场需要，运用一定的知识和技能，借助于手工或工具装备，采用有效的方法和必要的能源，将原材料转化为半成品或成品并投放市场的全过程。实际上，制造的概念有广义和狭义之分。

狭义的制造，是指生产车间内与物流有关的加工和装配过程。

广义的制造，是涉及市场分析、产品设计、工艺设计、生产计划、加工和装配、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和工作。

制造技术是指在制造过程中采取的一系列技术，是研究产品设计、生产、加工制造、装配检验、销售使用、维修服务乃至回收再生的整个过程的工程学科，是以提高产品质量、效

益、竞争力为目标, 包含物质流、信息流和能量流的完整的系统工程。

2. 制造系统

制造系统是指制造过程及其所涉及的硬件、软件 and 人员组成的一个将制造资源转变为成品或半成品的输入和输出系统, 它涉及产品生命周期的全过程或部分环节。其中, 硬件包括厂房、生产设备、工具、刀具、计算机及网络等; 软件包括制造理论、制造工艺和方法、管理方法、制造信息及其有关的软件系统等。制造资源包括狭义制造资源和广义的制造资源。其中, 狭义制造资源主要指物能资源, 包括原材料、坯件、半成品、能源等; 广义制造资源还包括硬件、软件、人员等。

3. 制造业

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, 通过制造技术和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。制造业涉及国民经济的许多部门, 包括一般机械、食品工业、化工、建材、冶金、纺织、电子电器、航天航空、运输机械等。目前, 作为我国国民经济的支柱产业, 制造业是我国城镇就业的主要渠道和国际竞争力的集中体现。

二、机械制造业的地位及发展状况

制造业是一个国家国民经济发展的主要支柱, 是国民经济的主要来源。据统计, 美国 68% 的社会财富来源于制造业, 日本 1990 年国民经济总产值的 49% 是由制造业提供的。可以说, 制造业的发展水平是衡量一个国家或地区经济实力、科技水平和综合国力的重要标志之一。

机械制造业是制造业的核心, 是向其他各部门提供工具、仪器及各种先进制造装备的部门。机械制造业的生产能力和发展水平是衡量一个国家工业水平的标志之一, 因此, 机械制造业在国民经济中占据着重要地位。而机械制造业的生产能力和水平主要取决于机械制造装备的先进程度。

制造业的历史与人类的历史一样悠久。物质财富的制造是人类认识自然、改造自然的最基本的实践活动, 必将随着人类的生存发展持续下去。社会、经济和科学技术等诸多因素一直在影响着制造业的生产方式。制造业生产方式是指制造业的劳务、资源 (包括能源、物料、装备、技术、信息与知识)、资本金、营销、组织与生产管理等要素的存在状态及其动态运作方式。制造业生产方式主要经历了以下几个阶段。

1. 单件生产方式 (Craft Production)

在 19 世纪以前, 制造业主要采用的是单件生产方式。这是一种完全基于客户订单的、一次制造一件的生产方式。它主要采用通用的设备和依靠熟练工人进行手工业生产, 是人类最初工业化时期的产物。其特点是灵活性大, 生产品种多, 但批量太小, 制造成本很高。

2. 大量生产方式 (Mass Production)

第一次世界大战之后, 美国福特汽车公司的亨利·福特和通用汽车公司的阿尔弗莱德·斯隆开创了世界制造业生产方式的新纪元, 把欧洲领先了若干世纪的单件生产方式转变为大量生产方式。大量生产方式主要是通过规模生产来降低生产成本, 且通过重复性和互换性来保证产品质量。但这种生产方式是人类在工业化成熟时期采用机械化、电气化等技术取得的巨大成就。

3. 精良生产方式 (Lean Production)

第二次世界大战之后,日本丰田汽车公司在总结了美国大量生产方式和日本市场的特点后,首创了精良生产(也称精益生产)方式。精良生产方式涉及的范围广泛,它的最终目标是在一个企业里,同时获得极高的生产率、极佳的产品质量和很大的生产柔性。概括地讲,精良生产方式的特征主要是:以用户为上帝,以“人”为中心,以“精简”为手段,以“零缺陷”为最终目标。它的核心思想如下:

- 1) 去除生产过程中一切多余的环节。
- 2) 在设计和制造过程中采用成组技术和并行工程,以最快的速度 and 适宜的价格提供优良的适销产品去占领市场。
- 3) 采用现在的和可靠的先进技术。
- 4) 以“人”为中心,推行授权自治小组化群体,即团队工作方式。
- 5) 精良生产方式所追求的目标不是“尽可能好些”,而是零缺陷、零库存、最低的成本、最好的质量、无废品和次品、产品的多样化。

4. 计算机集成制造 (Computer Integrated Manufacturing, CIM)

计算机集成制造的概念包括两个主要论点:一是企业的各个环节是不可分割的,需要统一考虑;二是整个制造生产过程实质上是对信息的采集、传递和加工过程。它的内涵是借助于计算机,将企业中各种与制造有关的技术系统集成起来,进而提高企业的市场竞争能力。

随着近几年智能技术的发展,计算机集成制造系统将向计算机智能化集成制造系统发展。计算机集成制造系统(CIMS)是以CIM为基础发展起来的,其定义如下:在计算机系统上,通过信息、制造和现代化生产管理技术,将制造企业全部生产经营活动所需的各种分散的、孤立的自动化系统,以及有关的人、技术、经营管理三要素有机集成并优化协调,通过物流、信息流和决策流的有效控制和调配,达到全局动态最优,以适应新的竞争环境下市场对制造业提出的高质量、高柔性和低成本要求的一种制造系统。

5. 批量客户化生产 (Mass Customization, MC)

随着市场竞争的日益激烈,顾客越来越需要既能满足其个性化的需求,同时价格又相对低廉的产品。在此情况下,基于顾客需求个性与共性的统一,人们于20世纪80年代初提出了一种新的生产方式——批量客户化生产。它是既具有大量生产方式下的高效率、低成本,又能像单件生产方式那样满足单个顾客需求的生产模式。

目前,批量客户化生产的主要做法有两种:推迟制造(Postponed Manufacturing),是指只有到最接近顾客需求的时间和地点才进行某一环节的生产;虚拟现实(Virtual Reality),它是由计算机、软件及各种传感器构成的三维信息的人工环境,是可实现的和不可实现的物理上的、功能上的事物和环境,顾客投入这种环境中,就可与之交互作用。此外,还有产品模块化设计与组合、模块化可插接的生产线及集成化的供应链管理(Integrated Supply Chain Management, ISCM)等。

6. 敏捷制造 (Agile Manufacturing, AM)

敏捷制造是1988年美国通用汽车公司和里海大学共同研究提出的一种全新的制造业生产方式,其基本设想是通过将高素质的员工、动态灵活的组织机构、企业内及企业间的灵活管理及柔性的先进制造技术进行全面集成,使企业能对持续变化、不可预测的市场需求作出快速反应,由此而获得长期的经济效益。这种集成实际是把企业内部的集成扩展到企业之间

的集成,进而实现社会级的深层次的集成,其内涵如下:

1) 敏捷制造的出发点是多样化、个性化的市场需求和瞬息万变的经营机遇,是一种订单式的制造方式。

2) 敏捷性反映的是制造企业驾驭变化、把握机遇和发动创新的能力。

3) 敏捷制造重视充分调动人的积极因素,充分弘扬人机系统中人的主观能动性。

4) 敏捷制造不采用以职能部门为基础的静态结构,而是推行面向企业流程的团队工作方式,企业间由机遇驱动而形成动态联盟 (Virtual Organization, VO),也称为虚拟公司 (Virtual Corporation, VC)。

敏捷制造的特点是:为了实现同一战略,把全球范围内的企业通过共同的基础重组起来,并将过去你死我活的竞争转变成友好合作的竞争,从而对瞬息万变的市场作出快速敏捷的响应。

虚拟制造是敏捷制造的一种实现手段。虚拟公司是在全球经济一体化和网络技术高度发达的时代实现批量客户化生产的最高形式。

三、机械制造业的发展趋势

步入 21 世纪,制造业的发展越来越快,可以用“六化”来概括 21 世纪制造业的发展趋势,即制造全球化、制造敏捷化、制造网络化、制造虚拟化、制造智能化和制造绿色化。

1. 制造全球化

制造全球化的概念源于美国、日本、欧洲部分发达国家和地区,近年来由于 Internet/Intranet 技术和交通手段的飞速发展,制造全球化的研究和应用得以迅速发展,其前沿内容主要有如下几方面:

- 1) 市场的国际化,产品销售的全球网络化。
- 2) 产品设计和开发的国际合作。
- 3) 制造企业在世界范围内的重组与集成,如动态联盟。
- 4) 制造资源的跨地区、跨国家的协调、共享和优化利用。
- 5) 制造全球化的体系结构。

2. 制造敏捷化

制造敏捷化是制造环境和制造过程面向 21 世纪制造活动的必然趋势,其研究内容主要有:

- 1) 柔性,包括机器、流程、人、组织的运行柔性和扩展柔性等。
- 2) 重组能力,能实现快速重组重构,增强对市场、新产品开发的快速响应能力。
- 3) 快速化的集成设计和制造技术,如 RPM、集成设计法。

3. 制造网络化

基于网络的制造,主要研究内容包括以下几个方面:

- 1) 企业内部的网络化,以实现制造过程的集成。
- 2) 企业与制造环境的网络化,实现制造环境与企业中工程设计、管理信息系统等各系统的集成。
- 3) 企业与企业间的网络化,实现企业间的资源共享、组合与优化利用。
- 4) 通过网络,实现异地制造。

4. 制造虚拟化

制造虚拟化主要是指虚拟制造, 又称拟实制造, 实际上就是实现产品制造的数字化。它是以制造技术和计算机技术支持的系统建模技术和仿真技术为基础, 集现代制造工艺、计算机图形学、并行工程、人工智能、人工现实技术和多媒体技术等多种高新技术于一体, 由多学科知识形成的一种综合系统技术。它通过建立系统模型将现实制造环境和制造过程映射到计算机及其相关技术所支撑的虚拟环境中, 在虚拟环境下模拟现实制造环境和制造过程, 并对产品制造及制造系统的行为进行预测和评价。

5. 制造智能化

智能制造是未来制造业发展的重要方向。进入 20 世纪 90 年代, 日本、美国和欧洲等工业发达国家和地区发起了智能制造系统的开发计划, 主要研究工作集中在设计智能化、制造过程智能化及系统管理智能化等方面。所谓智能制造系统是一种由智能机器、人类专家共同组成的人机一体化智能系统, 它在制造过程中能进行智能活动, 如分析、推理、判断、构思和决策等。智能制造技术旨在使人与智能机器合作共事, 从而扩大、延伸和部分地取代人类专家在制造过程中的脑力劳动, 以实现制造过程的优化。

专家预言, 下一世纪的制造业将由“I2”来标志, 即 Integration (集成) 和 Intelligence (智能)。

6. 制造绿色化

绿色制造是环境影响和资源效率的现代制造模式, 其目的是使产品在从设计、制造、包装、运输、使用到报废处理的全生命周期中, 对环境的影响最小, 资源利用率最高。

制造业一方面创造人类财富, 但同时又是环境污染的主要源头。制造业导致环境污染的根本原因是资源消耗和废弃物的产生。制造业的发展必须考虑到自然生态环境的长期承载能力, 使环境和资源既能满足当代经济发展的需要, 又能满足人类长远生存发展的需求, 即制造业的发展必须以实现人与自然的和谐发展为基础前提, 实现制造业的可持续发展。制造业不仅要解决生产过程的污染和资源浪费问题, 更重要的是, 要为社会提供在全生命周期内没有污染、节约资源的各类产品。

绿色制造涉及的方面非常广泛, 包括产品的全生命周期和多生命周期, 主要有“五绿”, 即绿色设计、绿色材料、绿色工艺、绿色包装和绿色处理。绿色制造是未来制造业企业通向 21 世纪国际市场的通行证, 是目前和将来制造业应该予以充分考虑和重视的一个重大问题。

第二节 机械制造装备的功能

机械制造装备设计的好坏, 会直接影响其质量、成本、研发周期及市场的竞争力。随着科学技术的不断发展, 人们对机械制造装备提出了更多和更高的要求。在机械制造装备应具备的功能中, 除了设备的基本功能外, 还应提出精密化、自动化、机电一体化、柔性化、符合工业工程和绿色工程的要求。

1. 基本功能

(1) 加工精度 加工精度是指加工后零件的几何参数与理想状态相符合的程度, 一般包括尺寸精度、表面形状精度、相互位置精度和表面粗糙度等。加工精度是机械制造装备必

须满足的最基本要求。

影响机械制造装备加工精度的因素很多,与机械制造装备本身有关的因素有其几何精度、传动精度、运动精度、定位精度和低速运动平稳性等。

(2) 强度和刚度及抗振性 一般情况下,机械制造装备的刚度越大,则动态精密度越高。因此,机械制造装备应具有足够的强度、刚度和抗振性。提高刚度和抗振性不能只简单地加大制造装备零部件的尺寸和重量,应充分利用新技术、新工艺、新结构和新材料,对制造装备的整体结构和主要零部件进行改进设计,在不增加或少增加尺寸和重量的前提下,使制造装备的强度、刚度和抗振性满足技术要求。

(3) 加工稳定性 机械制造装备在使用过程中,受到外部热源(如阳光、环境温度的变化)和内部热源(如电动机、齿轮箱、轴承、液压和切削热等)的影响,各部分温度发生变化,产生热变形,装备的原始几何精度被破坏,运动部件加快磨损。特别是对于精密和自动化程度较高的机械制造设备,热变形对加工稳定性的影响尤其不能忽视。提高加工稳定性的措施有减小发热量、散热、分离热源、隔热、控制温升、改善装备结构等。

(4) 耐用度 机械制造装备经过长期使用,因零件磨损、间隙增大,原始工作精度将逐渐丧失。对于加工精度要求很高的机械制造装备,耐用度方面的要求尤为重要。提高耐用度应从设计、工艺、材料、热处理和使用等多方面综合考虑。从设计角度,提高耐用度的主要措施包括减小磨损、均匀磨损、磨损补偿等。

(5) 经济性 投入机械制造装备上的费用将分摊到产品成本中去。若产品产量很大,分摊到每个产品的费用较少;反之,产品的产量较少,甚至是单件,过大地在机械制造装备上投资,将大幅度地提高产品的成本,削弱产品的市场竞争力。因此,不应盲目地追求机械制造装备的技术先进程度和无计划地加大投入,而应该认真进行技术经济分析,确定机械制造装备设计和选购方面的指导方针。

2. 精密化

由于市场竞争越来越激烈,对产品制造精度的要求越来越高,为不断提高零部件的加工精度,越来越多的企业不断地压缩零件制造的公差带,机械制造装备的精密化成为普遍发展的趋势,从微米级发展到亚微米级,乃至纳米级。在这种情况下,采用传统的措施,一味提高机械制造装备自身的精度已无法奏效,需要采用误差补偿技术。误差补偿技术可以是机械的,如为提高丝杠或分度蜗轮的精度采用的校正尺或校正凸轮等。较先进的是采用数字化技术,仔细分析引起加工误差的各种因素,建立误差的数学模型 $\xi = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$,其中, ξ 是由众多因素 x_i ($i=1, 2, \dots, n$)引起的综合误差。引起误差的因素有机械制造装备的热变形、几何误差、传动误差、运动误差、定位误差和工艺系统的弹性变形等。将误差的数学模型存入计算机,在加工时,由传感器不断地将引起误差的因素测出。将测得的数据输入计算机,计算出将产生的综合误差,然后由误差补偿装置按算出的综合误差进行补偿。

3. 自动化

机械制造装备自动化是指用机电装备取代或增强人的体力,甚至取代和延伸人的部分智力,从而自动完成特定的工作,如物料的存储、运输、安装、加工、装配和检验等各生产环节的自动化,目的在于减轻劳动强度,提高生产效率,节省能源及降低生产成本。实现自动化,除了提高加工效率和劳动生产率外,还可以减少人为因素影响,提高产品质量的稳定性,改善劳动条件等。自动化分为全自动和半自动。全自动是指机械制造装备在调整后无

需人工参与便能自动完成预定的全部工作；虽能自动完成预定的全部工作，但上下料（装卸工件）仍需要人工进行，则称为半自动，实现自动化的方法一般有凸轮控制、程序控制、数字控制和适应控制等。

4. 机电一体化

机电一体化系统是将机械技术、微电子技术、信息处理技术、传感检测技术、自动化控制技术、电力电子技术和接口技术等，按系统工程和整体优化的方法，有机组合而成的最佳技术系统。机电一体化是机械工业技术和产品的发展方向，随着高新技术向产业的转移，传统的机械制造装备和生产管理系统将被大规模地改造和更新为机电一体化生产系统。机电一体化产品或系统应包括以下基本部分：机械本体、动力部分、检测传感部分、执行机构、驱动部分、控制及信息处理单元及接口。设计机电一体化系统或产品时，要充分考虑机械、液压、气动、电力电子、检测、计算机软硬件的特点，进行合理的功能搭配，通过接口使各部分和子系统组成一个有机的整体，使各功能环节有目的、协调一致地运动。机电一体化系统或产品具有功能强、性能高、精度高、可靠性强、故障率低、节能节材、机械结构简化、灵活性（柔性）好等特点。

5. 柔性化

由于“刚性”的大量生产方式使产品的改型和更新变得十分困难，机械制造装备的柔性化便引起人们的重视。机械制造装备柔性化是指其结构柔性化和功能柔性化。

所谓结构柔性化是指设计机械制造装备时，采用模块化和机电一体化技术，只对结构进行少量的修改和重新组合，或者修改软件，就可以迅速生产出具有不同功能的新制造装备。

功能柔性化是指只需进行少量的调整或修改软件，就可以方便地改变产品或系统的运行功能，以满足不同的加工需要。数控机床、柔性制造单元或系统具有较高的柔性化程度。在柔性制造系统中，不同工件可以同时上线，实现混流加工。这类加工装备投资极大，研制周期长，使用和维护涉及的技术难度大，应通过认真的技术经济分析，确认有较好的经济效益才可考虑采用。

随着经济的发展，具有较高功能柔性的数控机床、柔性制造单元和柔性制造系统等制造装备不断问世，可根据制造任务和生产环境的变化迅速进行调整，以适应于多品种、中小批量生产或实现混流加工。

6. 符合工业工程要求

工业工程是对人、设备、物料、能源和信息所组成的集成系统进行设计、改善和实施的一门应用科学，并且可用于企业生产管理，也可以说是一门管理技术。其目标是设计一个生产系统及其控制方法，在保证工人和最终用户健康安全的前提下，以最低的成本生产符合质量要求的产品。

产品设计符合工业工程的要求如下：在产品开发阶段，充分考虑结构的工艺性，提高标准化、通用化程度，以便采用最佳的工艺方案，选择最合理的制造设备，减少工时和材料的消耗；合理地进行机械制造的总体布局，优化操作步骤和方法，减少操作过程中工人的体力消耗；对市场和消费者进行调研，保证产品合理的质量标准，减少因质量标准定得过高而造成不必要的超额工作量。

现代工业工程除包括传统工业工程的内容外，还不断扩充和发展新内容，主要领域如下：①生产计划与控制；②库存管理与控制；③物流系统分析与设计；④设施规划与设计；

⑤运筹学与优化技术；⑥成本管理与控制；⑦决策分析；⑧信息处理与系统设计；⑨人力资源管理；⑩现代制造学，包括成组技术、价值工程、信息工程、智能工程、柔性制造系统/柔性制造单元，计算机集成制造系统等。因此，要求设计人员必须具备多方面的知识和技术。

7. 符合绿色工程要求

所谓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承受能力有机协调。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，使产品在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、结构和工艺的可行性。为了使零部件能再利用，应通过改变材料、结构布局及零部件的连接方式等来改善和实现产品拆卸的方便性、经济性。

第三节 机械制造装备的分类

机械制造过程是对原材料进行热加工、冷加工，对零部件进行装配，对产品进行调试和检测、包装和发运的全过程。在此过程中使用的装备类型较多，大致可以分为加工装备、工艺装备、仓储输送装备和辅助装备四类。

一、加工装备

加工装备是机械制造装备的主体和核心，是采用机械制造方法制造机器零件或毛坯的机器设备，又称为机床或工作母机。机床的类型很多，除了金属切削机床之外，还有特种加工机床、锻压机床、快速成形机床等。

1. 金属切削机床

金属切削机床是利用刀具或磨具对金属工件进行加工，以获得几何形状、加工精度和表面粗糙度均符合要求的零件的机床。

金属切削机床种类繁多，按使用范围可分为通用机床、专用机床和专门化机床。

(1) 通用机床 又称为万能机床，这类机床可加工多种工件，完成多种工序，使用范围广，通用程度较高，主要用于单件小批量生产。按切削方式，通用机床可分为车床、钻床、镗床、磨床、齿轮加工机床、螺纹加工机床、刨插床、拉床、锯床和其他机床。其中，其他加工机床有仪表机床、管子加工机床等。

(2) 专用机床 这类机床是用于加工特定工件的特定工序的机床，是为特殊工艺要求专门设计、制造的加工设备，其结构简单，生产率很高，适用于大批量生产。组合机床是其中的一大分支。

(3) 专门化机床 这类机床用于加工形状相似而尺寸不同的工件，生产率很高，适用于成批生产，如凸轮轴车床、精密丝杠车床等。

此外,机床按其通用特性可分为手动、半自动、自动,普通、精密、高精度,仿形、数控、自动换刀,轻型、大型、重型及万能机床等。

2. 特种加工机床

随着宇航、电子等尖端技术的飞跃发展,新材料、难加工材料的不断涌现,对零件的加工精度和表面质量的要求也越来越高,常规的加工方法难以甚至无法达到这些加工要求,特种加工技术便迅速发展起来。特种加工机床按其加工原理可分为电加工、超声波加工、激光加工、电子束加工、离子束加工、水射流加工等加工机床。

(1) 电加工机床 电加工机床是利用电能对工件进行加工的机床,主要有电火花成形加工机床、电火花线切割机和电解加工机床。

电火花成形加工机床是利用工具电极与工件之间产生脉冲性火花放电蚀除多余金属,使零件达到加工要求的机床。改变工具电极的形状和工具电极与工件之间的相对运动方式,可加工各种复杂的型面。电火花成形加工机床主要用于对导电的难加工材料进行加工,如淬火钢、耐热合金、硬质合金、金属陶瓷等。

电火花线切割机床是利用一根移动的金属丝(钼丝或铜丝)作为电极,与被加工零件之间产生脉冲放电,并浇上液体介质,通过脉冲放电对被加工零件产生腐蚀,从而进行切割加工的机床。目前,数控电火花线切割机床已广泛应用。

电解加工机床是利用金属在直流电流作用下在电解液中产生阳极溶解的原理对工件进行加工的机床。电解加工又称电化学加工。加工时,工件接电源正极,工具接负极,两极之间的电压一般为 $5 \sim 25\text{V}$ 。工具和工件相对缓慢进给,两极之间保持较小的间隙($0.05 \sim 1\text{mm}$),让具有一定压力($0.5 \sim 2\text{MPa}$)的电解液(NaCl 或 NaNO_3)溶液连续地从间隙中流过,将工件被电解的产物带走,从而使工具的形状映射到工件上,得到所需的加工形状。

(2) 超声波加工机床 利用超声波能量对材料进行机械加工的设备称为超声波加工机床。加工时,工具做超声振动,并以一定的静压力压在工件上,工件与工具间引入磨料悬浮液,在振动工具的作用下,磨粒对工件材料进行冲击挤压,加上空化爆炸作用将材料切除,如图1-1所示。超声波加工适用于特硬材料,如石英、陶瓷、水晶、玻璃等材料的孔加工,以及套料、切割、雕刻、研磨和超声电加工等复合加工。

(3) 激光加工机床 采用激光能量进行加工的设备统称为激光加工机床。激光是一种高强度、方向性好、单色性好的相干光。利用激光的极高能量密度产生的上万摄氏度高温聚焦在工件上,工件被照射的局部在瞬间急剧熔化和蒸发,并产生强烈的冲击波,使熔化的物质爆炸式地喷射出来,从而改变工件的形状。激光加工可以用于所有金属和非金属材料,如金刚石拉丝模、钟表的宝石轴承、陶瓷、玻璃等非金属材料,以及硬质合金、不锈钢等金属材料,常用于加工微小孔($\phi 0.01\text{mm}$ 或更小)和材料切割(切缝宽度一般为 $0.1 \sim 0.5\text{mm}$)。激光加工如图1-2所示。

(4) 电子束加工机床 电子束加工是指在真空条件下,由阴极发射出的电子流被高电位的阳极吸引,向阳极方向运动,途中经过聚焦、加速和偏转,最后以高速和细束状电子束轰击工件的一定部位,该电子束能量密度和速度都极高且直径仅为几微米,在极短的时间内将冲击动能转化为热能,使被加工部位温度在几分之一微秒内迅速升高到几千摄氏度,被冲击的局部材料瞬时熔化或汽化,从而完成对工件的加工。电子束加工机床加工范围广,可对任何金属导体、半导体和非导体材料进行加工,常用于微细孔打孔、切割、焊接和熔炼等。

也可利用低能电子束对某些高分子材料的化学作用,进行光刻加工。

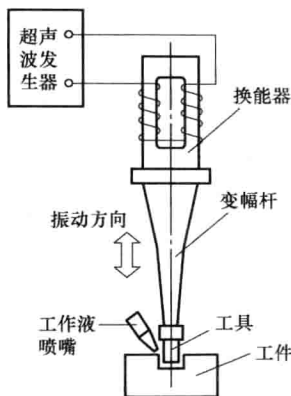


图 1-1 超声波加工原理示意图

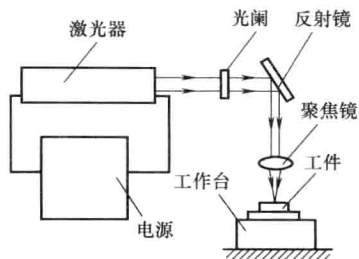


图 1-2 激光加工原理示意图

(5) 离子束加工机床 离子束加工是指在电场作用下,将正离子从离子源出口孔引出,在真空条件下,将其聚焦、偏转和加速,并以大量细束状轰击被加工部位,由微观的机械撞击能量引起工件材料的变形与分离,从而实现工件的加工。离子束加工主要对工件进行穿孔、切割、铣削、成像、抛光、蚀刻、清洗、溅射、注入和蒸镀等加工,离子束加工机床就是利用离子束进行加工的装备。离子束加工示意图如图 1-3 所示。

(6) 水射流加工机床 水射流加工机床是利用具有很高速度的细水柱或掺有磨料的细水柱冲击工件被加工部位,使被加工部位上的材料剥离,从而实现加工的,常用于切割难加工材料,如硬质合金、陶瓷、高速钢、模具钢、淬火钢、耐热合金、复合材料等。高压水射流切割设备如图 1-4 所示,主要包括增压器、蓄能器、喷嘴、控制系统及辅助系统等。

3. 锻压机床

锻压机床是利用金属塑性变形进行加工的一种无屑加工设备,主要包括锻造机、冲压

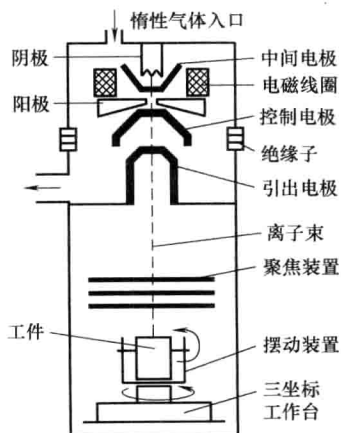


图 1-3 离子束加工原理示意图

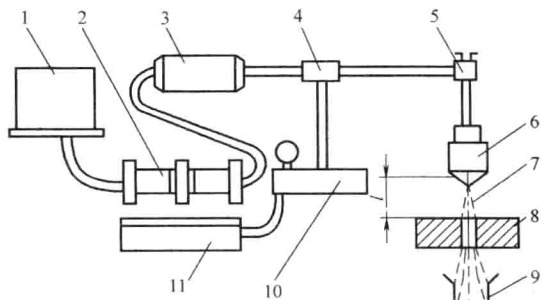


图 1-4 高压水射流加工原理示意图

1—带有过滤器的水枪 2—水泵 3—蓄能器 4—控制器

5—阀门 6—蓝宝石喷嘴 7—射流 8—工件

9—排水器 10—液压机构 11—增压器

机、挤压机和轧制机四大类。

锻造机是使坯料在工具的冲击力或静压力作用下成形，并使其性能和金相组织符合一定要求的加工设备。按照成形的方法分类，锻造可分为自由锻造、胎模锻造、模型锻造和特种锻造；按照温度的不同分类，可分为热锻、温锻和冷锻。

冲压机是借助模具对板料施加外力，迫使材料按模具形状、尺寸进行剪裁或变形的加工设备。按加工时温度的不同，可分为冷冲压和热冲压。冲压工艺具有省工、省料和生产率高的特点。

挤压机是借助于凸模将凹模内的金属或塑料挤压成形的加工设备。挤压成形根据挤压时温度不同，可分为冷挤压、温挤压和热挤压。挤压成形有利于低塑性材料成形，与模锻相比，不仅生产率高，节省材料，而且可获得较高的精度。

轧制机是使金属材料在旋转轧辊的作用下变形的加工设备。根据轧制温度不同，可分为热轧和冷轧；根据轧制方式不同，可分为纵轧、横轧和斜轧。

二、工艺装备

工艺装备是产品制造过程中所用各种工具的总称，包括刀具、夹具、模具、量具和辅助装备等，它们是贯彻工艺规程、保证产品质量和提高生产率等的重要技术手段。

1. 刀具

切削加工时，能从工件上切除多余材料或切断材料的带刃工具称为刀具。工件的成形是通过刀具与工件之间的相对运动实现的，因此高效的机床必须同先进的刀具相配合才能充分发挥作用。刀具类型很多，每一种机床，都有其代表性的一类刀具，如车刀、钻头、镗刀、砂轮、铣刀、刨刀、拉刀、螺纹加工刀具、齿轮加工刀具等。刀具种类虽然繁多，但大体上可分为标准刀具和非标准刀具两大类。标准刀具是按国家或部规定的有关标准或规范制造的刀具，由专业化的工具厂集中大批量生产，占所用刀具的绝大部分。非标准刀具是根据工件及具体加工的特殊要求设计制造的，也可将标准刀具加以改制而实现。过去我国的非标准刀具主要由用户厂自行生产，随着专业化生产的发展和服务水平的提高，所谓非标准刀具也应由专业厂根据用户要求提供，以利于提高质量，降低成本。

2. 夹具

夹具是机床上用以定位和夹紧工件及引导刀具的装置，以保证加工时的定位精度、被加工面之间的相对位置精度，有利于工艺规程的贯彻和提高生产率。

夹具一般由定位机构、夹紧机构、刀具导向装置、工件推入和取出导向装置及夹具体等构成。按夹具安装所用机床，可分为车床夹具、铣床夹具、刨床夹具、钻床夹具、镗床夹具、磨床夹具等；按夹具专用化程度，可分为专用夹具、成组夹具和组合夹具等。

专用夹具是专为特定工件的特定工序设计和制造的，产品改变或工艺改变，夹具基本上要报废。

成组夹具是采用成组技术，把工件按形状、尺寸和工艺相似性进行分组，再按每组工件设计组内通用的夹具。成组夹具的特点是具有通用的夹具体，只需对夹具的部分元件稍作调整或更换，即可用于组内各个零件的加工。

组合夹具是利用一套标准元件和通用部件（如对定装置、动力装置）按加工要求组装而成的夹具。标准元件有不同形状和尺寸，配合部位具有良好的互换性。产品改变，可以将