



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
全国普通高等学校优秀教材二等奖



Design of Manufacturing Equipment

机械制造装备设计

第④版

关慧贞 © 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
全国普通高等学校优秀教材二等奖

机械制造装备设计

第4版

主 编 关慧贞
副主编 黄玉美 徐文骥
参 编 冯辛安 朱 泓 吴宏基 孙玉文
主 审 王先逵 丛 明



机械工业出版社

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材，曾荣获全国普通高等学校优秀教材二等奖。

本书第4版是根据“机械设计制造及其自动化”专业教学指导委员会讨论通过的指导性教学计划以及相应的“十二五”教材编写计划组织编写的。本书是机械工程学科的专业课程用书，将机床设计、夹具设计、工业机器人设计、物流系统设计、机械加工生产线设计等内容合为一门专业设计课程，构成了一个新的课程体系。书中着重介绍机械制造装备设计的基本原理和方法，并反映国内外的先进技术和发展趋势。教材内容与生产实践紧密相连，取材精练，深入浅出。

全书共分七章。第一章为机械制造及装备设计方法，第二章为金属切削机床设计，第三章为典型部件设计，第四章为工业机器人设计，第五章为机床夹具设计，第六章为物流系统设计，第七章为机械加工生产线总体设计。为便于教学，本书配有多媒体电子教案和各章习题答案，需要的教师，请到机械工业出版社教育服务网（www.cmpedu.com）下载。

本书适用于高等工科院校“机械设计制造及其自动化”专业以及相关专业的教学，也可供从事机械制造装备设计和研究的工程技术人员和研究生参考。

图书在版编目（CIP）数据

机械制造装备设计/关慧贞主编. — 4版. — 北京：
机械工业出版社，2014.12

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材. 全国
普通高等学校优秀教材二等奖

ISBN 978-7-111-48088-4

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 222490 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 安桂芳 任正一

版式设计：霍永明 责任校对：闫玥红

封面设计：张 静 责任印制：李 洋

三河市宏达印刷有限公司印刷

2015 年 2 月第 4 版第 1 次印刷

184mm×260mm·26.75 印张·723 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-48088-4

定价：53.00 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

服务咨询热线：010-88379833

读者购书热线：010-88379649

网络服务

机工官网：www.cmpbook.com

机工官博：weibo.com/cmp1952

教育服务网：www.cmpedu.com

金书网：www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

《机械制造装备设计》一书是根据“机械设计制造及其自动化”专业教学指导委员会推荐的指导性教学计划编写的。本书将机床设计、夹具设计、工业机器人设计、物流系统设计、机械加工生产线设计等内容合为一门专业课程，构成了一个新的课程体系。书中着重介绍机械制造装备设计的基本原理和方法，并反映国内外的先进技术和发展趋势。教材内容与生产实践紧密相连，使读者易于掌握机械制造装备先进的设计原理和方法，具备一定的机械制造装备总体设计和结构设计能力。

本书作为“十五”“十一五”国家级规划教材已出版使用十多年了，普遍反映良好，并获得教育部2002年全国普通高等学校优秀教材二等奖。为进一步提高教材质量，反映近几年来科技发展的新成就，根据“十二五”国家级规划教材计划，对第3版教材进行了修订。第4版的教材体系与第3版基本保持一致，修改了部分章节内容。如第一章机械制造及装备设计方法改动较大，概述部分重点结合国家“十一五”“十二五”的发展状况作了修订，对原第二、四、五节的内容作了全面的修订；对第二章金属切削机床设计的第一、六节进行修改；第四章工业机器人设计中，增加了工业中应用广泛的轮式移动机器人部分；第五章和第六章也作了修改。为便于教学，本书配有多媒体电子教案和各章习题答案。

本书由大连理工大学关慧贞任主编，并参与修订了第一章、第二章的第四至六节和第三章；西安理工大学黄玉美任副主编，并参与修订了第二章的第一至三节和第四章；大连理工大学徐文骥任副主编，并修订

了第六章；大连理工大学冯辛安、朱泓、吴宏基和孙玉文分别参与修订了第一章、第三章、第五章和第七章；大连理工大学孙清超完善了多媒体课件的制作和部分习题解答。

全书由清华大学的王先逵教授和大连理工大学的丛明教授任主审。

本书可供高等工科院校“机械设计制造及其自动化”专业以及相关专业的教学用书，也可供从事机械制造装备设计和研究的工程技术人员和研究生参考。

限于编者的水平，书中错误或不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者



CONTENTS

录

前言

第一章 机械制造及装备设计方法	1
第一节 概述	1
第二节 机械制造装备应具备的主要功能	5
第三节 机械制造装备的分类	7
第四节 机械制造装备设计的类型和设计方法	13
第五节 机械制造装备设计的评价	27
习题与思考题	48
第二章 金属切削机床设计	49
第一节 概述	49
第二节 金属切削机床设计的基本理论	53
第三节 金属切削机床总体设计	66
第四节 主传动系设计	79
第五节 进给传动系设计	107
第六节 机床控制系统设计	118
习题与思考题	128
第三章 典型部件设计	131
第一节 主轴部件设计	131
第二节 支承件设计	151
第三节 导轨设计	161
第四节 机床刀架和自动换刀装置设计	173
习题与思考题	205
第四章 工业机器人设计	207
第一节 概述	207
第二节 工业机器人运动功能设计	214

第三节	工业机器人传动系统设计	220
第四节	工业机器人的机械结构系统设计	228
第五节	轮式移动机器人	242
第六节	工业机器人在机械制造系统中的应用	249
习题与思考题		253
第五章	机床夹具设计	254
第一节	机床夹具的功能和应满足的要求	254
第二节	机床夹具的类型和组成	255
第三节	机床夹具定位机构的设计	257
第四节	机床夹具夹紧机构的设计	272
第五节	机床夹具的其他装置	284
第六节	可调整夹具的设计	289
第七节	机床夹具设计步骤	292
习题与思考题		297
第六章	物流系统设计	302
第一节	物流系统基础知识	302
第二节	物流系统的总体设计	306
第三节	机床上下料装置的设计	327
第四节	机床间工件输送装置的设计	341
第五节	自动化仓库设计	352
习题与思考题		363
第七章	机械加工生产线总体设计	364
第一节	概述	364
第二节	生产线工艺方案的设计	367
第三节	生产线专用机床的总体设计	374
第四节	机械加工生产线的总体布局设计	392
第五节	柔性制造系统	401
习题与思考题		418
参考文献		419

第一章

机械制造及装备设计方法

第一节 概 述

21 世纪是制造业高度信息化的世纪,伴随着电子技术和信息技术的发展,制造业出现了惊人的变化。

一、机械制造生产模式的演变

在 20 世纪 50 年代前,机械制造业推行的是“刚性”生产模式,自动化程度低,基本上是“一个工人、一把刀、一台机床”,导致劳动生产率低下,产品质量不稳定;为提高效率和自动化程度,采用“少品种、大批量”的做法,强调的是“规模效益”,以实现降低成本和提高质量的目的。在 20 世纪 70 年代,主要通过改善生产过程管理来进一步提高产品质量和降低成本。

从 20 世纪 80 年代起,我国开始实行改革开放政策,引进西方的先进制造技术,同时与西方国家进行接触和广泛的合作。机械制造装备中较多地采用了数控机床、机器人、柔性制造单元和系统等高技术的集成,来满足产品个性化和多样化的要求,以满足社会各消费群体的不同需求。机械制造装备普遍具有“柔性化”“自动化”和“精密化”的特点,以便更好地适应市场经济的需要,适应多品种、小批量生产和经常更新品种的需要。随着计算机技术、电子技术、先进制造技术的飞速发展,这些高新技术也被广泛地应用于制造业的各个领域,加速了制造业的发展和变革进程。

在产品的设计过程中,采用计算机辅助绘图、辅助设计、三维造型、特征造型。利用计算机辅助工程分析软件,可以对零件、部件和产品的受力、受热、受振等各种情况进行工程分析、计算和优化设计。在工艺设计中采用计算机技术、辅助编制工艺规划、选择刀具、选择或设计夹具。利用软件技术,产生刀具轨迹的数控代码,经过前、后置处理,便获得可以在数控机床或加工中心上对零件进行加工的程序;通过仿真解决诸如刀具磨损补偿、避免干涉碰撞等问题。各种优化生产技术应运而生,包括物料需求规划(MRP)、制造资源规划(MRP II)、考虑按设备瓶颈组织和优化生产(OPT)、考虑最优库存并准时生产(JIT)、企业制造资源计划(ERP)等。此外,在加工现场,除数控车床、加工中心外,在线的三坐标测量机、柔性制造单元(FMC)和柔性制造系统(FMS)、各种自动化物流系统(如立体仓库、自动导引小车等)、控制生产线的可编程控制器(PLC)等,也开始广泛使用。计算机图形学同产品设计技术的结合产生了以数据库为核心,以图形交互技术为手段,以工程分析计算为主体的计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)系统。将 CAD 的产品设计信息转化为产品的制造、工艺规划等

信息,使加工机械按照预定的工序和工步进行组合和排序,选择刀具、夹具、量具,确定切削用量,并计算每个工序的机动时间和辅助时间,这就是计算机辅助工艺规划(Computer Aided Process Planning, CAPP)。将包括制造、监测、装配等方面的所有规划,以及面向产品设计、制造、工艺、管理、成本核算等所有信息数字化,转换为计算机所能理解的,并被制造过程的全阶段所共享,从而形成了所谓的CAD/CAE/CAPP/CAFD/CAM,上述系统构成了当前数字化制造中的数字化设计系统。改革开放三十多年来,为了对世界生产进行快速响应,逐步实现社会制造资源的快速集成,要求机械制造装备的柔性化程度更高,采用虚拟制造和快速成形制造技术。数控技术和装备作为制造业的核心加工技术,人们对其性能和技术都提出了更高的要求。

20世纪末期,数字化设计与制造的应用也日趋广泛。数字化制造是指在虚拟现实、计算机网络、快速原型、数据库和多媒体等支撑技术下,根据用户需求,迅速收集资源信息,对产品信息、工艺信息和资源信息进行分析、规划和重组,实现产品设计和功能仿真,进而快速生产出满足用户性能要求的产品的整个制造过程。快速响应市场成为制造业发展的一个主要方向。为了快速响应市场,出现了许多新的生产制造模式,如敏捷制造(Agile Manufacturing)、精益-敏捷-柔性(LAF)生产系统、快速可重组制造、全球制造等。其中LAF生产系统是全面吸收精益生产、敏捷制造和柔性制造的精髓,包括了全面质量管理(TQC)、准时生产(Just in Time, JIT)、快速可重组制造和并行工程等现代生产和管理技术,是21世纪很有发展前景的先进制造模式。这种全新的生产制造模式的主要特点是:以用户需求为中心;制造的战略重点是时间和速度,并兼顾质量和品种;以柔性、精益和敏捷作为竞争的优势。现代飞速发展的高新技术对制造业所起的作用越来越大,产品又由“大批量生产”方式向“中小批量生产”,甚至“个性化生产”的方式转变,以满足竞争激烈的市场经济需求。

目前,中国装备制造业进入了前所未有的全面振兴的发展时期,通过引进发达国家装备制造业大量的先进技术,进行消化、吸收再创新,为我国装备制造业的复兴创造了加速发展的良好环境和有利条件,为今后的发展打下了坚实的基础。

二、制造业的作用及现状

制造业是国民经济发展的支柱产业,也是科学技术发展的载体及其转化为规模生产力的工具与桥梁。装备制造业是一个国家综合制造能力的集中体现,重大装备研制能力是衡量一个国家工业化水平和综合国力的重要标准。

在“十一五”“十二五”建设期间,国家将振兴装备制造业作为推进工业结构优化升级的主要内容,数控机床是振兴装备制造业的重点之一。按照立足科学发展、着力自主创新、完善体制机制、促进社会和谐总思路,组织实施国家自主创新能力建设规划和高技术产业发展规划,大力加强自主创新支撑体系建设,着力推进重大产业技术与装备的自主研发,实现高技术产业由大到强的转变,全面提升我国的自主创新能力和国际竞争力,为调整经济结构、转变经济增长方式,实现全面建设小康社会的奋斗目标奠定坚实基础。

以机床制造业为例,我国已形成各具特色的六大发展区域:东北地区是我国数控车床、加工中心、重型机床和锻压设备、量刀具的主要开发生产区,沈阳机床行业、大连机床行业、齐齐哈尔重型数控企业、哈尔滨量具刀具企业的金属切削机床产值约占全国金属切削机床产值的三分之一,对全国金属切削机床行业发展影响巨大;东部地区数控磨床产量占全国的四分之三,其中,长江三角洲地区成为磨床(数控磨床)、电加工机床、板材加工设备、工具和机床功能部件(滚珠丝杠和直线导轨副)的主要生产基地;西部地区重点发展齿轮加工机床,其中西南地区重点发展齿轮加工机床、小型机床、专用生产线以及工具,西北地区主要发展齿轮磨床、数

控车床和加工中心、工具和功能部件；中部地区主要发展重型机床和数控系统，重型机床产值占全国的六分之一，武汉重型机床集团有限公司生产的重型机床数量占全国重型机床数量的十分之一，生产数控系统的企业代表是武汉华中数控股份有限公司；环渤海地区包括北京、天津等，主要发展加工中心和液压压力机，北京主要发展加工中心、数控精密专用磨床、重型数控龙门铣床和数控系统，天津主要发展锥齿轮加工机床和各种液压压力机；珠江三角洲地区是数控系统的生产基地，生产数控车床和数控系统、功能部件等。这些生产区域的产品和起到的重要作用，表明我国自主创新和高技术产业发生了历史性的巨大变化，取得了突飞猛进的发展。我国机械制造业正在实现从“制造—智造”的转折和跨越，产品要有未来、技术要有特色、质量要高、售后服务要好，是推动我国机械制造业由弱变强的有效途径。

三、机械制造装备的发展趋势

随着制造业生产模式的演变，对机械制造装备提出了不同的要求，使现代化机械制造装备的发展呈如下趋势：

1. 向高效、高速、高精度方向发展

高速和高精度加工是制造技术永无止境的追求，效率和质量是先进制造技术的主体。高速、高精加工技术可使数控系统能够进行高速插补、高实时运算，在高速运行中保持较高的定位精度，极大地提高效率，提高产品的质量和档次，缩短生产周期和提高市场竞争能力。近十年来，在加工精度方面，普通级数控机床的加工精度已由 $10\mu\text{m}$ 提高到 $5\mu\text{m}$ ，精密级加工中心则从 $3\sim 5\mu\text{m}$ ，提高到 $1\sim 1.5\mu\text{m}$ ，并且超精密加工精度已开始进入纳米级（nm）。精密、高效也是世界电加工机床发展的主流。

2. 多功能复合化、柔性自动化的产品成为发展的主流

从近几届国内外举办的国际机床展览上展出的装备情况来看，新颖的高技术含量的展品逐年增加。国际上多功能复合加工机床的发展不再以简单的零件加工为主，而是以结构复杂、形状各异的箱体类零件加工或更为复杂的零件加工为发展趋势。展出的机床类型很多，有最新的复合加工机床、五轴加工机床、纳米加工机床、新型并联加工机床等，展示出世界制造装备的精华，展示了世界制造技术发展的最新动向。例如，超声波铣削、激光铣削等不同加工组合的复合机床品种逐渐增多；五至九轴控制、各种形式的五轴联动车铣复合中心、车削中心的功能齐全、完备；由单台数控加工设备和上、下料机构构成的柔性制造单元（FMC）、柔性制造系统（FMS）、柔性制造线（FML）的类型不断变化，品种不断增加。柔性制造系统（FMS）是一个由计算机集成管理和控制、高效率地制造某一类中小批量多品种零部件的自动化制造系统，通常包括多台数控机床，由集中的控制系统及物料搬运系统连接起来，可在不停机的情况下实现多品种、中小批量的加工及管理；能根据制造任务或生产环境的变化迅速进行调整；可以在装夹工位、加工设备、交换工作站之间运送及储存工件的运储系统；同时，还可以配置切屑收集、工件清洗等配套设备，以适于多品种、中小批量生产。柔性制造线（FML）的加工设备可以是通用的加工中心、CNC 机床，也可以采用专用机床或 NC 专用机床。对物料搬运系统柔性的要求低于柔性制造系统，但生产率更高。它是以离散型生产中柔性制造系统和连续生产过程中的分散型控制系统（DCS）为代表，其特点是实现生产线的柔性化及自动化。柔性制造工厂（FMF）是由计算机系统和网络，通过制造执行系统（MES），将设计、工艺、生产管理及制造过程的所有柔性单元（FMC）、柔性线（FML）连接起来，配以自动化立体仓库，实现从订货、设计、加工、装配、检验、运送至发货的完整的数字化制造过程。它将制造、产品开发及经营管理的自动化连成一个整体，是以信息流控制物质流的智能制造系统（IMS）为代表，实现整

个工厂的柔性化及自动化。

3. 实施绿色制造与可持续发展战略

制造业在创造丰富物质产品的同时,消耗掉大量资源和能源,并对环境造成了严重的污染。绿色制造是综合考虑环境影响和资源效益的现代制造模式,是人类可持续发展战略在制造业中的体现,是落实科学发展观、建设中国制造“生态文明”的要求。实现绿色制造可从绿色制造过程设计、绿色生产与工艺、绿色切削加工技术、绿色供应链研究、机电产品噪声控制技术、绿色材料选择设计、绿色包装和使用、绿色回收和处理等方面着手,主要研究内容有废旧机械装备再制造综合评价与再设计技术、废旧机械零部件绿色修复处理与再制造技术、废旧机械装备再制造信息化提升技术、机械装备再制造与提升的成套技术及标准规范,以及废旧机械装备产业化实施模式等。以绿色科技为导向,以高效节能降耗减排为目标,实施绿色技术改造。绿色制造的研究及推广应用,推动“中国绿色制造”,并以此促进我国制造业降低资源消耗,减少环境污染,应对绿色贸易壁垒,提升中国制造业市场竞争力。

4. 智能制造技术和智能化装备有了新的发展

机器智能化是智能制造的主要研究内容之一,它是智能制造系统的物理基础,包括智能加工机床、工具和材料传送、检测和试验装备等,要求具有加工任务和加工环境的广泛适应性,能够在环境和自身的不确定变化中自主实现最佳行为策略。智能制造是面向未来的先进制造模式,提高底层加工设备的智能性是智能制造系统的重要研究课题。以装备中的机床为例,当前智能机床是在数控机床和加工中心的基础上实现的,它与普通自动化机床的主要区别在于除了具有数控加工功能外,还具有感知、推理、决策、控制、通信、学习等智能功能。目前国外研究机构在产品结构越来越复杂,而产品精度要求越来越高,交货时间越来越短的情况下,认为提高加工设备的智能性、可靠性和加工精度是提高企业竞争力的主要途径。

对智能机床的定义是:机床能对自己进行监控,可自行分析众多与机床、加工状态、环境有关的信息及其他因素,然后自行采取应对措施来保证最优化的加工。换句话说,机床进化到可发出信息和自行进行思考的水平,结果是机床可自适应柔性和高效生产系统的要求。例如,在2013年的中国国际机床展览会(CIMT)上,日本OKUMA(大隈)公司展出了名为MULTUS BⅢ的智能化复合加工机床,机床具有防撞功能、加工导航索引功能,能将加工参数导航到最佳加工条件,具有防热变形功能,可将热变形控制在 $10\mu\text{m}$ 以下。

5. 我国自主创新和高新技术的发展

在“十一五”“十二五”建设期间,企业的自主创新能力不断提高,拥有自主知识产权的产品不断涌现,成果喜人。例如,重庆机床集团生产的YS3116CNC7七轴四联动数控高速干切自动滚齿机和YKS3132六轴四联动数控滚齿机,以其先进的技术水平和柔性化加工特点,提升了制齿行业技术创新能力,为加速我国汽车、摩托车行业设备升级换代做出了贡献。尤其是七轴四联动数控高速干切自动滚齿机,体现了以人为本的设计理念。该产品是针对汽车、摩托车行业大批量、高精度的齿轮加工要求而设计开发的,拥有全部知识产权,可实现七轴数字控制及四轴联动自动干式切削,不需要切削油,实现了绿色环保加工,加工效率是湿式切削的2~3倍,床身的对称结构和护罩的防护结构,使排屑器能从床身中部迅速地将炙热的切屑排除,保证了干式高速切削的需要,是具有国际先进水平的国家重大技术装备。再如,大连机床集团有限责任公司以创新的方式先后制造了数控机床、立式加工中心等四条机床生产线,实现用生产汽车的方式生产数控机床,大大降低了制造成本,提高了机床市场竞争力。

高新技术中的直接驱动技术正在日趋完善,与传统的“旋转伺服电动机+滚珠丝杠”等机床驱动方式相比,最高速度可提高数十倍,加速度可提高几倍。直接驱动技术的应用推动了当

前数控机床向高速、高效、高精度、智能性、环保化的方向发展。高速切削加工进给系统要实现快速的伺服控制和误差补偿,必须具备很高的定位精度和重复定位精度,直接驱动技术适用于高速、超高速加工,生产批量大、要求定位运动多、速度和方向频繁变化的场合。直线电动机除了应用于高速加工中心外,在磨床、锯床、激光切割机、等离子切割机、线切割机机床设备上,力矩电动机直接驱动的应用也相当普遍,如旋转和分度工作台、万能回转铣头、摆动和旋转轴、旋转刀架、动态刀库、主轴等,其最典型的应用当属五轴铣床。

综上所述,现代制造业今后的发展将是以创新、提升、优化为主要模式,未来的中国制造业已不能仅仅满足于“制造”,而是要进一步发展成为“智造”,即用知识、用头脑去创新、去创造,这样才能缩短差距,实现赶超,由制造大国变为制造强国和“智造大国”。

第二节 机械制造装备应具备的主要功能

机械制造装备应具备的主要功能中,除了一般的功能要求外,应强调柔性化、精密化、自动化、机电一体化、节材节能、符合工业工程和绿色工程的要求。

一、一般的功能要求

机械制造装备应满足的一般功能包括:

1. 加工精度方面的要求

加工精度是指加工后零件对理想尺寸、形状和位置的符合程度,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。满足加工精度方面的要求应是机械制造装备最基本的要求。

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、刚度和抗振性方面的要求

机械制造装备应具有足够的强度、刚度和抗振性。提高强度、刚度和抗振性,不能一味地加大制造装备零部件的尺寸和质量,成为“傻、大、黑、粗”的产品。应利用新技术、新工艺、新结构和新材料,对主要零件和整体结构进行设计,在不增加或少增加质量的前提下,使装备的强度、刚度和抗振性满足规定的要求。

3. 可靠性和加工稳定性方面的要求

可靠性是指在产品的使用过程中,在规定的条件下和时间内能完成的功能和能力,通常用“概率”表示。产品可靠性主要取决于产品在设计 and 制造阶段形成的产品固有可靠程度。机械制造装备在使用过程中,受到切削热、摩擦热、环境热等的影响,会产生热变形,影响加工性能的稳定性。对于自动化程度较高的机械制造装备,加工稳定性方面的要求尤为重要。提高加工稳定性的措施是减少发热量,散热和隔热,均热、热补偿、控制环境温度等。

4. 使用寿命方面的要求

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,使用寿命方面的要求尤为重要。提高使用寿命应从设计、工艺、材料、热处理和使用等多方面综合考虑。从设计角度,提高使用寿命的主要措施包括减少磨损、均匀磨损、磨损补偿等。

5. 技术经济方面的要求

投入机械制造装备上的费用将分摊到产品成本中去。若产品产量较大,分摊到每个产品的

费用则较少。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,将大幅度地增加产品的成本,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,无计划地加大投入,而应该进行仔细的技术经济分析,确定机械制造装备设计和选购方面的指导方针。

二、柔性化

柔性化有两重含义,即产品结构柔性化和功能柔性化。

产品结构柔性化是指产品设计时采用模块化设计方法和机电一体化技术,只需对结构作少量的重组和修改,或修改软件,就可以快速地推出满足市场需求的,具有不同功能的新产品。

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功能柔性化程度。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,认为有利可图时才考虑采用。

要实现机械制造装备的柔性化,不一定非要采用柔性制造单元或系统。专用机床,包括组合机床及其组成的生产线,也可设计成具有一定的柔性,完成一些批量较大、工艺要求较高的工件加工。其柔性表现在机床可进行调整以满足不同工件的加工。调整方法可采用备用主轴、位置可调主轴、工夹具成组化、工作程序软件化和部分动作实现数控化等。

三、精密化

随着科学技术的发展和国际化市场竞争的加剧,对产品技术性能的要求越来越苛刻,对制造精度的要求越来越高,从微米级发展到亚微米级,乃至纳米级。为提高产品的质量,压缩工件制造的公差带,机械制造装备的精密化成为普遍发展的趋势。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,需采用误差补偿技术。误差补偿技术可以是机械式的,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误差补偿技术,通过误差补偿来提高其几何精度、传动精度、运动精度和定位精度。

四、自动化

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工件的上料、加工和卸料的生产全过程;半自动化则上、下料需人工完成。机械制造装备实现自动化后,可以减少加工过程中的人工干预,减轻工人劳动强度,提高了加工效率和劳动生产率,保证了产品质量及其稳定性,改善了劳动条件。

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。刚性自动化是指传统的凸轮和挡块控制,如采用凸轮机构控制多个部件运动,使之互相协调工作。当工件变化时必须重新设计凸轮及调整挡块,调整麻烦,这种方式适用于大批量生产。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。计算机数字控制和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、柔性制造单元、柔性制造系统以及计算机集成制造。

在计算机数字控制的基础上,生产自动化技术不断向智能化方向发展。在加工过程中,根据实际工作条件,如切削力、变形、振动等的变化,自动地改变切削用量(如切削速度、进给速度等),使加工过程始终处于最佳状态,实现最优化加工精度控制或最优化生产率控制。

五、机电一体化

机电一体化是指机械技术与微电子、传感检测、信息处理,自动控制和电力电子等技术,按系统工程和整体优化的方法,有机地组成的最佳技术系统。机电一体化系统和产品的通常结构是机械的,用传感器检测来自外界和机器内部运行状态的信息,由计算机进行处理,经控制系统,由机械、液压、气动、电气、电子及它们的混合形式的执行系统进行操作,使系统能自动适应外界环境的变化。故设计机电一体化产品要充分考虑机械、液压、气动、电力电子、计算机硬件和软件的特点,充分发挥各自的特点,进行合理的功能搭配,构成一个极佳的技术系统。使得机械制造装备减小体积、简化结构、节约原材料、提高可靠性和效率,实现机械制造装备的精密化、高效化和柔性自动化。

六、符合工业工程要求

工业工程是对人、物料、设备、能源和信息所组成的集成系统进行设计、改善和实施的一门学科。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和安全的条件下,以最低的成本生产出符合质量要求的产品。

产品设计符合工业工程的要求是指:在产品开发阶段,充分考虑结构的工艺性,提高标准化、通用化水平,以便采用最佳的工艺方案,选择最合理的制造设备,尽可能减少材料和能源的消耗;合理地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;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造成不必要的浪费等。

七、符合绿色工程要求

绿色工程是指注重保护环境、节约资源、保证可持续发展的工程。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的功能、质量、开发周期和成本的同时,优化各有关设计要素,使得产品从设计、制造、包装、运输、使用到报废处理的整个生命周期中,对环境的影响最小,资源利用效率最高。

绿色产品设计考虑的内容很广泛,包括产品材料的选择应是无毒、无污染、易回收、可重用、易降解的;产品制造过程应充分考虑对环境的保护,资源回收,如废弃物的再生和处理,原材料的再循环,零部件的再利用等;产品的包装也应充分考虑选用资源丰富的包装材料,以及包装材料的回收利用及其对环境的影响等。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。为了零部件的再利用,应通过改变材料、结构布局和零部件的联接方式等来实现产品拆卸的方便性和经济性。

第三节 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、仓储输送装备和辅助装备四大类。

一、加工装备

加工装备是指采用机械制造方法制作机器零件或毛坯的机床。机床是制造机器的机器,也称工作母机,其种类很多,包括金属切削机床、特种加工机床、快速成形机、锻压机床、塑料

注射机、焊接设备、铸造设备和木工机床等。特种加工机床传统上归于金属切削机床类中。由于近年来,特种加工机床已发展为一个较大的门类,为叙述方便,这里将它作为一大类机床进行介绍。塑料注射机、焊接设备、铸造设备和木工机床等可参阅塑料制品加工、材料热加工和木工行业方面的有关书籍,这里不作介绍。

(一) 金属切削机床

金属切削机床是采用切削工具或特种加工等方法,从工件上除去多余或预留的金属,以获得符合规定尺寸、几何形状、尺寸精度和表面质量要求零件的加工设备。金属切削机床的种类繁多,可按如下特征进行分类:

1. 按机床的加工原理进行分类

按机床的加工原理的不同可分为:车床、钻床、镗床、磨床、齿轮加工机床、螺纹加工机床、铣床、刨(插)床、拉床、特种加工机床、切断机床和其他机床12类。其他机床如锯床、键槽加工机床、珩磨研磨机床等。

2. 按机床的使用范围进行分类

按机床的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 通用的金属切削机床可加工多种尺寸和形状的工件的多种加工面,故又称万能机床。其结构一般比较复杂,适用于单件或中小批量生产。

(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,生产率和自动化程度均高,结构比通用机床简单,多用于成批和大量生产。组合机床及其自动线是其中的一个大分支,包括大型组合机床及其自动线、小型组合机床及其自动线、自动换刀数控组合机床及其自动线等。

(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之间,用于对形状相似尺寸不同的工件的特定表面,按特定的工序进行加工。这类机床如精密丝杠机床、曲轴机床等,生产率一般较高。

此外,机床还可以按其加工精度分为普通、精密和高精度机床,按其自动化程度分为普通、半自动和自动机床,按其控制方式分为程控、数控、仿形机床等。

(二) 特种加工机床

近十年来,为满足国防和高新科技领域的需要,许多产品朝着高精度、高速度、高温、高压、大功率和小型化方向发展。采用特种加工技术,可使用全新的工艺方法,解决上述用常规加工手段难以甚至无法解决的许多工艺难题,如大面积镜面加工、小径长孔甚至弯孔加工、脆硬难切削材料加工和微细加工等。特种加工机床近年来发展很快,按其加工原理可分成:电加工、超声波加工、激光加工、电子束加工、离子束加工、水射流加工等机床。

1. 电加工机床

直接利用电能对工件进行加工的机床,统称电加工机床。一般仅指电火花加工机床、电火花线切割机床和电解加工机床。

电火花加工机床是利用工具电极与工件之间的脉冲放电现象从工件上去除微粒材料达到加工要求的机床,主要用于加工硬的导电金属,如淬火钢、硬质合金等。按工具电极的形状和电极是否旋转,电火花加工可进行成形穿孔加工、电火花成形加工、电火花雕刻、电火花展成加工、电火花磨削等。

电火花线切割机床是利用一根移动的金属丝作电极,在金属丝和工件间通过脉冲放电,并浇上液体介质,使之产生放电腐蚀而进行切割加工的机床。当放置工件的工作台在水平面内按预定轨迹移动时,工件便可切割出所需要的形状。如金属丝在垂直其移动方向的平面内不与铅

直线平行,可切出上下截面不同的工件。

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方法,电解加工又称电化学加工。加工时,工件与工具分别接电源的正负极,两者相对缓慢进给,并始终保持一定的间隙,让具有一定压力的电解液连续从间隙中流过,将工件上的被溶解物带走,使工件逐渐按工具的形状被加工成形。采用机械的方法,如砂轮去除工件上的被溶解物,称阳极机械加工。

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。加工时工具作超声振动,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和挤压,加上空化爆炸作用将材料切除。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、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,使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以改变工件的形状。激光加工可以用于所有金属和非金属材料,特别适合于加工微小孔($\phi 0.01 \sim \phi 1\text{mm}$ 或更小)和材料切割(切缝宽度一般为 $0.1 \sim 0.5\text{mm}$)。常用于加工金刚石拉丝模、钟表宝石轴承、陶瓷、玻璃等非金属材料 and 硬质合金、不锈钢等金属材料的小孔加工及切割加工。

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为带高电位的阳极吸引,在飞向阳极的过程中,经过聚焦、偏转和加速,最后以高速和细束状轰击被加工工件的一定部位,在几分之一秒内,将其99%以上的能量转化成热能,使工件上被轰击的局部材料在瞬间熔化、汽化和蒸发,以完成工件的加工。常用于穿孔、切割、蚀刻、焊接、蒸镀、注入和熔炼等。此外,利用低能电子束对某些物质的化学作用,进行镀膜和曝光,也属于电子束加工。电子束加工机床就是利用电子束的上述特性进行加工的装备。

5. 离子束加工机床

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,并以大能量细束状轰击被加工部位,引起工件材料的变形与分离,或使靶材离子沉积到工件表面上,或使杂质离子射入工件内,用这种方法对工件进行穿孔、切割、铣削、成像、抛光、蚀刻、清洗、溅射、注入和蒸镀等,统称为离子束加工。离子束加工机床就是利用离子束的上述特性进行加工的装备。

6. 水射流加工机床

水射流加工是利用具有很高速度的细水柱或掺有磨料的细水柱,冲击工件的被加工部位,使被加工部位上的材料被剥离的加工方法。随着工件与水柱间的相对移动,切割出要求的形状。常用于切割某些难加工材料,如陶瓷、硬质合金、高速钢、模具钢、淬火钢、白口铸铁、耐热合金、复合材料等。

(三) 锻压机床

锻压机床是利用金属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。

锻造机是利用金属的塑性变形,使坯料在工具的冲击力或静压力作用下成形为具有一定形状和尺寸的工件,同时使其性能和金相组织符合一定的技术要求的加工设备。按成形方法的

同,锻造加工可分为自由锻、模锻和特种锻造等。按锻造温度的不同,可分为热锻、温锻和冷锻等。

冲压机是借助模具对板料施加外力,迫使材料按模具形状、尺寸进行剪切或塑性变形,得到要求的金属板制件的加工设备。根据加工时材料温度的不同,可分为冷冲压和热冲压。冲压工艺省工、省料和生产率高。

挤压机是借助于凸模对放在凹模内的金属坯料加力挤压,迫使金属挤满凹模和凸模合成的内腔空间,获得所需金属制件的加工设备。挤压时,坯料受三向压应力的作用,有利于低塑性金属的成形。与模锻相比,挤压加工更节约金属、提高生产率和制品的精度。按挤压时材料的温度不同,可分为冷挤压、温热挤压和热挤压。

轧制机是使金属材料经过旋转的轧辊,在轧辊压力作用下产生塑性变形,以获得所要求截面形状并同时改变其性能的加工设备。按轧制时材料温度是否在再结晶温度以上或以下,分热轧和冷轧。按轧制方式又可分纵轧、横轧和斜轧。纵轧是轧件在两个平行排列而反向旋转的轧辊间轧制,用于轧制板材、型材、钢轨等;横轧是轧件在两个平行排列而同向旋转的轧辊间轧制,自身也作旋转运动,用于轧制套圈类零件;斜轧是轧件在两个轴线互成一定角度而同向旋转的轧辊间轧制,自身作螺旋前进运动,仅沿螺旋线受到轧制加工,主要用于轧制钢球。

二、工艺装备

产品制造时所用的各种刀具、模具、夹具、量具等工具,总称为工艺装备。它是保证产品制造质量、贯彻工艺规程、提高生产率的重要手段。

(一) 刀具

切削加工时,从工件上切除多余材料所用的工具,称为刀具。刀具的种类很多,如车刀、刨刀、铣刀、钻头、丝锥、齿轮滚刀等。大部分刀具已标准化,由工具制造厂大批量生产,不需自行设计。

(二) 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。按填充方法和填充材料的不同,模具有粉末冶金模具、塑料模具、压铸模具、冲压模具、锻造模具等。

1. 粉末冶金模具

粉末冶金是制造机器零件的一种加工方法。粉末冶金模具是将一种或多种金属或非金属粉末混合,放在其型腔内,经加压成形,再烧结成制品的工具。

2. 塑料模具

塑料是以高分子合成树脂为主要成分,在一定条件下可塑制成一定形状且在常温下保持形状不变的材料。塑制成型制件所用的模子称为塑料模具。塑料模具有压塑模具、挤塑模具、注射模具和其他模具。其他模具如挤出成型模具、发泡成型模具、低发泡注射成型模具和吹塑模具等。

压塑模具又称压胶模,是成型热固性塑料件的模具。成型前,根据压制工艺条件将模具加热到成型温度,然后将塑料粉放入型腔内预热、闭模和加压。塑料受热和加压后逐渐软化成黏流状态,在成型压力的作用下流动而充满型腔,经保压一段时间后,塑件逐渐硬化成型,然而开模和取出塑件。

挤塑模具又称挤胶模,是成型热固性塑料或封装电器元件等用的一种模具。成型及加料前先闭模,塑料先放在单独的加料室内预热成黏流状态,再在压力的作用下使融料通过模具的浇