

机械制造与自动化应用研究

洪露 郭伟 王美刚 著



航空工业出版社

机械制造与自动化应用研究

洪露 郭伟 王美刚 著

航空工业出版社

内 容 提 要

本书对机械制造及自动化技术,包括基本理论、主要内容和作用等进行介绍,然后分析了机械制造及自动化技术的发展历史和方向,总结了未来机械制造及自动化技术的前沿理论,并在此基础上,对机械制造及自动化技术在柔性制造系统中的应用进行了研究、分析。自动化的设计制造是从系统的观点出发,综合运用机械技术、微电子技术、自动控制技术、计算机技术、信息技术、传感检测技术、电力电子技术、接口技术、信息变换技术以及软件编程技术等群体技术,在多功能、高质量、高可靠性,低能耗的意义上实现特定功能价值并使整个系统最优化的系统工程技术,在现在工业生产中有着重要的应用。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造与自动化应用研究 / 洪露, 郭伟, 王美刚
著. -- 北京: 航空工业出版社, 2017.12
ISBN 978-7-5165-1428-3

I. ①机… II. ①洪… ②郭… ③王… III. ①机械制
造—自动化技术—研究 IV. ①TH164

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 304648 号

机械制造与自动化应用研究

Jixie Zhizao Yu Zidonghua Yingyong Yanjiu

航空工业出版社出版发行

(北京市朝阳区北苑 2 号院 100012)

发行部电话: 010-84936597 010-84936343

廊坊市国彩印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经售

2019 年 1 月第 1 版

2019 年 1 月第 1 次印刷

开本: 710×1000 1/16

印张: 24.5

字数: 360 千字

印数: 1-1000

定价: 98.00 元

前 言

我国加入 WTO 以后,国内机械加工行业和电子技术行业得到快速发展。国内机电技术的革新和产业结构的调整成为一种发展趋势。因此,近年来企业对机电人才的需求量逐年上升,对技术工人的专业知识和操作技能也提出了更高的要求。相应地,为满足机电行业对人才的需求,职业学校机电类专业的招生规模在不断扩大,教学内容和教学方法也在不断调整。

机械制造是一个集材料、设备、工具、技术、信息、人力资源、资金等,通过制造系统转变为可供人类使用的产品的过程。机械制造业的先进与否标志着一个国家的经济发展水平。在众多国家尤其是发达国家,机械制造业在国民经济中占有十分重要的地位。随着科技日益进步和社会信息化不断发展,全球性的竞争和世界经济的发展趋势使得机械制造产品的生产、销售、成本、服务面临着更多外部环境因素的影响,传统的制造技术、工艺、方法和材料已经不能适应当今社会的发展需要。计算机技术、信息技术、自动化技术在制造业中的广泛应用与传统的制造技术相结合形成了现代化机械制造业,企业的生产经营方式发生了重大变革。

制造自动化是人类在长期的生产活动中不断追求的主要目标之一。制造自动化的概念最早是由美国人 D.S.Harder 于 1936 年提出的,其内容仅仅包括制造过程物料搬运自动化。在经历了一段时间的研究和发展之后,制造自动化实现了从毛坯投入生产开始到产品零件全过程的自动化。近 30 年来,随着科学技术的不断进步,尤其是制造技术、计算机技术、控制技术、信息技术和管理技术的发展,制造自动化技术的内容也不断丰富和完善,它不仅包括传统意义上的加工过程自动化,而且还包括对制造全过程的运行规划、管理、控制与协调优化等的自动化。

机械制造自动化技术是一门跨学科的内容体系,它不仅包括机械领域的设计和制造内容,而且还包括控制、检测、管理和信息处理等方面的内容,同时机械制造自动化技术又是一门不断发展的学科。因此,本书在内容编排上,既注重与工程应用相结合,又注意与当前科技发展的前沿相结合,着力做到各章内容既相互独立又相互衔接,以利于读者了解和掌握其基本概念和应用常识,逐步培养学生解决工程实际问题的能力。

本书共十一章，合计 36 万字。由来自淮海工学院的洪露担任第一主编，负责第九章至第十五章的内容，合计 16 万字以上。由来自河南工业和信息化职业学院的郭伟担任第二主编，负责第一章至第四章的内容，合计 10 万字以上。由来自山西大学的王美刚担任第三主编，负责第五章至第八章的内容，合计 10 万字以上。

在本书的编写过程中，我们参阅了大量国内外教材和论著等文献资料，由于篇幅有限，恕不一一列出，在此对这些文献的作者一并表示诚挚的谢意。同时，由于编者水平和能力有限，书中难免存在错误与遗漏，我们诚恳地希望各位专家、学者和广大读者批评指正，特别是请任课教师和使用本教材的同学们能够提出宝贵意见，以便今后进一步完善。

目 录

第一章 机械制造概说	1
第一节 机械制造与制造业	1
第二节 机械制造与国计民生	5
第三节 机械制造与国防科技	7
第四节 机械制造与科学探索	14
第五节 中国与全球经济一体化	18
第六节 机械制造技术的发展史	21
第七节 机械制造技术的未来	27
第二章 机械制造工程基础	31
第一节 互换性	31
第二节 机械原理和机械零件	35
第三章 机械制造与工艺设备	58
第一节 热加工	58
第二节 冷加工	70
第三节 特种加工	80
第四节 制造中的测量与检验技术	88
第五节 机械制造中的装配技术	95
第四章 先进制造技术	100
第一节 先进制造技术概说	100
第二节 典型先进加工技术	104
第三节 典型先进制造系统	116
第五章 自动控制系统	125
第一节 自动控制系统的组成	125
第二节 自动控制系统分类	129
第三节 自动化仪表	132

第六章 自动控制系统的典型控制方法	138
第一节 控制系统与数学模型	138
第二节 自动控制系统的过渡过程及其性能指标	144
第三节 自动控制系统设计与实现	151
第四节 反馈控制和扰动控制	154
第五节 比例积分微分控制	156
第六节 非线性系统的控制	159
第七节 最优控制	167
第八节 自适应控制	171
第九节 智能控制	175
第七章 自动化技术的主要应用	185
第一节 机械制造自动化	185
第二节 过程工业自动化	190
第三节 电力系统自动化	195
第四节 飞行器控制	197
第五节 智能建筑	200
第六节 智能交通运输系统	203
第七节 生物控制论及信息处理	206
第八节 社会经济控制	208
第九节 大系统控制和系统工程	211
第八章 自动化学科的前沿技术	214
第一节 机器人及其应用	214
第二节 导弹和制导武器的控制	217
第三节 虚拟仪器	220
第四节 虚拟现实技术	223
第五节 多代理系统的应用	227
第六节 数控机床及其应用	229
第七节 计算机集散控制系统	231

第九章 自动化制造系统技术方案	234
第一节 自动化制造系统技术方案的制定	234
第二节 自动化加工工艺方案涉及的主要问题	237
第三节 工艺方案的技术经济分析	242
第四节 自动化加工设备的选择与布局	249
第五节 自动化加工切削用量的选择	254
第十章 机械制造的自动化技术	258
第一节 刚性自动化技术	258
第二节 柔性自动化技术	259
第三节 物流自动化技术	264
第四节 CAD/CAPP/CAM 一体化技术	267
第五节 工业机器人及其应用技术	271
第十一章 自动化加工设备	274
第一节 加工设备自动化的意义	274
第二节 自动化加工设备的特殊要求及实现方法	275
第三节 单机自动化方案	279
第四节 数控机床及加工中心	282
第五节 机械加工自动化生产线	288
第六节 自动线的辅助设备	291
第十二章 物料供输自动化	296
第一节 物料供输自动化概述	296
第二节 刚性自动化物料储运系统	298
第三节 自动线输送系统	302
第四节 柔性物流系统	306
第十三章 检测过程自动化	314
第一节 检测过程自动化概述	314
第二节 工件加工尺寸的自动检测	320
第三节 刀具磨损和破损的检测与监控	328

第四节 自动化加工过程的在线监测和补偿	334
第十四章 装配过程自动化.....	339
第一节 装配过程自动化概述	339
第二节 自动装配工艺过程分析和设计	344
第三节 自动装配的部件.....	349
第四节 自动装配机械.....	350
第十五章 自动化制造的控制系統	355
第一节 机械制造自动化控制系统的分类	355
第二节 顺序控制系统.....	363
第三节 计算机数字控制系统	370
第四节 自适应控制系统.....	376
参考文献	381

第一章 机械制造概说

第一节 机械制造与制造业

一、机械制造的含义

机械是现代社会进行生产和服务的六大要素（人、资金、能量、信息、材料和机械）之一，并且能量和材料的生产还必须有机械的直接参与。机械就是机器设备和工具的总称，它贯穿现代社会各行各业、各个角落，任何现代产业和工程领域都需要应用机械。例如农民种地要靠农业工具和农机，纺纱需要纺织机械，压缩饼干、面包等食品需要食品机械，炼钢需要炼钢设备，发电需要发电机械，交通运输业需要各种车辆、船舶、飞机等；各种商品的计量、包装、存储、装卸需要各种相应的工作机械，就连人们的日常生活，也离不开各种各样的机械，如汽车、手机、照相机、电冰箱、钟表、洗衣机、吸尘器、多功能按摩器、跑步机、电视机、计算机等等。总之，现代社会进行生产和服务的各行各业都需要各种各样不同功能的机械，人们与机械须臾不可分离。

大家都知道，而且也都能够体会到上述各行各业的各种不同机械和工具的重要性。但这些机械是哪里来的？当然不是从天上掉下来的，而是依靠人们的聪明才智制造生产出来的。“机械制造”也就是“制造机械”，这就是制造的最根本的任务。因此，广义的机械制造含义就是围绕机械的产出所涉及的一切活动，即利用制造资源（设计方法、工艺、设备、工具和人力等）将材料“转变”成具有一定功能的、能够为人类服务的有用物品的全过程和

一切活动。显然，“机械制造”是一个很大的概念，是一门内容广泛的知识学科和技术，而传统的机械制造则泛指机械零件和零件毛坯的金属切削加工（车、铣、刨、磨、钻、镗、线切割等加工）、无切削加工（铸造、锻压、焊接、热处理、冲压成形、挤压成形、激光加工、超声波加工、电化学加工等）和零件的装配成机。

制造业是将制造资源（物料、能源、设备、工具、资金、技术、信息、人力等），通过一定的制造方法和生产过程，转化为可供人们使用和利用的工业品与生活消费品的行业，是国民经济和综合国力的支柱产业。

制造系统是制造业的基本组成实体，是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产品的有机整体。

机械是制造出来的，由于各行各业的机械设备不同、种类繁多，因此机械制造的涉及面非常广，冶金、建筑、水利、机械、电子、信息、运载和农业等各个行业都要有制造业的支持，冶金行业需要冶炼、轧制设备；建筑行业需要塔吊、挖掘机和推土机等工程机械。制造业在我国一直占据重要地位，在 20 世纪 50 年代，机械工业就分为通用、核能、航空、电子、兵器、船舶、航天和农业等八个部门。进入 21 世纪，世界正在发生极其广泛和深刻的变化，随之牵动的机械制造业也发生了翻天覆地的变化。但是，不管世界如何变化，机械制造业一直是国民经济的基础产业，它的发展直接影响到国民经济各部门的发展。

二、机械制造生产过程

在机械制造厂，产品由原材料到成品之间的全部劳动过程称为生产过程。它包括原材料的运输和存储、生产准备工作、毛坯的制造、零件的加工与热处理、部件和整机的装配、机器的检验调试以及油漆和包装等。一个工厂的生产过程，又可分为各个车间的生产过程。一个车间生产的成品，往往又是另一车间的原材料。例如铸造车间的成品（铸件）就是机械加工车间的“毛坯”，而机械加工车间的成品又是装配车间的原材料。

机器的生产过程中，直接改变毛坯的形状、尺寸和材料性能使其成为成品或半成品的过程称为工艺过程。它包括毛坯的制造、热处理、机械加工和产品的装配。把工艺过程的有关内容用文字以表格的形式写成工艺文件，称为机械加工工艺规程，简称为工艺规程。

由原材料经浇铸、锻造、冲压或焊接而成为铸件、锻件、冲压件或焊接件的过程，分别称为铸造、锻造、冲压或焊接工艺过程。将铸、锻件毛坯或钢材经机械加工方法，改变它们的形状、尺寸、表面质量，使其成为合格零件的过程，称为机械加工工艺过程。在热处理车间，对机器零件的半成品通过各种热处理方法，直接改变它们的材料性质的过程，称为热处理工艺过程。最后，将合格的机器零件、外购件和标准件装配成组件、部件和机器的过程，则称为装配工艺过程。

其中，制定机械加工工艺规程在整个生产过程中非常重要。工艺规程不仅是指导生产的主要技术文件，而且是生产、组织和管理工作的基本依据，在新建或扩建工厂或车间时，工艺规程是基本的资料。在制定工艺规程时，需具备产品图纸、生产纲领、现场加工设备及生产条件等这些原始资料，并由生产纲领确定了生产类型和生产组织形式之后，才可着手机械加工工艺规程的制定，其内容和顺序如下：①分析被加工零件。②选择毛坯：制造机械零件的毛坯一般有铸件、锻件、型材、焊接件等。③设计工艺过程：包括划分工艺过程的组成、方法、安排加工顺序和组合工序等；选择定位基准、选择零件表面的加工。④工序设计：包括选择机床和工艺装备、确定加工余量、计算工序尺寸及其公差、确定切削用量及计算工时定额等。⑤编制工艺文件。

三、机械制造生产类型

在制造过程之前，要根据生产车间的具体情况将零件在计划期间分批投入进行生产。一次投入或生产同一产品（或零件）的数量称为批量。

按生产专业化程度的不同，又可分为单件生产、成批生产和大量生产三种类型。在成批生产中，又可按批量的大小和产品特征分为小批生产、

中批生产和大批生产三种。

若生产类型不同,则无论是在生产组织、生产管理、车间机床布置,还是在毛坯制造方法、机床种类、工具、加工或装配方法和工人技术要求等方面均有所不同。为此,制定机器零件的机械加工工艺过程、机械加工工艺的装配工艺过程以及选用机床设备和设计工艺装备都必须考虑不同生产类型的工艺特征,以取得最大经济效益。

四、机械制造的学科分支

现代社会中任何领域都需要应用机械,机械贯穿于现代社会各行各业、各个角落,其形貌不一,种类繁多,按不同的要求可以有不同的分类方法,如:按功能可分为动力机械、物料搬运机械、包装机械、罐装机械、粉碎机械、金属切削加工机械等;按服务的产业可分为用于农业、林业、畜牧业和渔业的机械,用于矿山、冶金、重工业、轻工业的机械,用于纺织、医疗、环保、化工、建筑、交通运输业的机械以及供家庭与日常生活使用的机械,如洗衣机、钟表、运动器械、食品机械,用于军事国防及航空航天工业的机械等;按工作原理可分为热力机械、流体机械、仿生机械、液压与气动机械等。另外,全部机械的整个制造过程都要经过研究、开发、设计、制造、检测、装配、运用等几个工作性质不同的阶段。因此相应的机械制造可有多种分支学科体系和分支系统,且有的分支学科系统间互相联系、互相重叠与交叉。分析这种复杂关系,研究机械制造最合理的学科体系划分,有一定的知识意义,但并无大的实用价值。对机械制造的学科划分按其服务的产业较为明朗,但不论哪个行业的机械制造,其共性是主流的,依据行业不同的特点及要求,也有其个性特点。

第二节 机械制造与国计民生

制造业在众多国家尤其是发达国家的国民经济中占有十分重要的位置，是国民经济的支柱产业。可以说，没有发达的制造业就不可能有国家真正的繁荣和富强。

国民经济各个部门的发展，都离不开先进的机械与装备，如轻工机械、化工机械、电力设备、医疗器械、通讯与电子设备、农业机械、食品机械等等，就连人们的日常生活也不例外。是先进发达的机械制造业为人们提供了优雅舒适的工作、生活和休闲娱乐环境。如自行车、摩托车、汽车、轿车、飞机、轮船等代步交通工具，电话、手机、计算机及网络工具等联络通讯工具，冰箱、电视、空调、微波炉等现代生活工具等等。没有发达的制造技术，这些现实生活中的可以改善人们生活环境、改造自然、造福人类的先进设备便无从得来。

任何机械，大到船舶、飞机、汽车，小到仪器、仪表，都是由许多零件或部件组成的。以汽车为例，一辆汽车是由车身、发动机、驱动装置、车轮等部分组成，其中每一部分又是由若干个零件或部件构成的。而不同的零部件又需用不同的材料（包括钢、塑料、橡胶和玻璃等）和不同的加工方法来制造。同样，那些半导体行业的电子元件和大规模集成 IC 器件、晶元芯片等也是人们制造出来的。所有这些都依赖于制造业的发展，因此，机械制造关系国计民生，国计民生需要机械制造，机械制造在国民经济中具有举足轻重的作用。概括起来，它的主要作用有以下几个方面。

其一，机械制造业是国民经济的物质基础，是强国富民的根本。制造业产品占中国社会物质总产品的一半以上；制造业是解决中国就业问题的主要产业领域，其本身就吸纳了中国 11.3% 的从业人员，同时还有着其他产业无可比拟的带动效应。机械制造的延伸背后就是服务，比如买一辆汽车，专卖店会提供一系列后续服务，创造了很多就业岗位。任何一种机械产品，都需

要售后服务，这种延伸出的服务就构成了第三产业的一部分。

其二，制造业是中国实现跨越式发展战略的中坚力量。在工业化过程中，制造业始终是推动经济发展的决定性力量。

其三，机械制造是科学技术的载体和实现创新的舞台。没有机械制造，所谓的科学技术创新就无法体现。信息技术就是以传统产业为载体的，它单独存在发挥不出什么作用。

从历史上看，制造业的发展史就是一部科技发展史的缩影，每一项科技发明都推动了制造业的发展并形成了新的产业。比如计算机的发明，推动了整个工业的发展。以信息技术为代表的高新技术的迅速发展，带动了传统制造业的升级。每一次产业结构的优化升级都是高新技术转化为生产力的结果，可见，高新技术及其产业也是内含于制造业中的。

其四，制造业的发展水平体现了国家的综合实力和国际竞争力。当前，世界面临的最重要的趋势之一是经济全球化，而在经济全球化中，制造业的水平直接决定了一个国家的国际竞争力和在国际分工中的地位，也就决定了这个国家的经济地位。

第三节 机械制造与国防科技

建立强大的国防，是中国现代化建设的重要战略任务。没有强大的国防做后盾，就不可能赢得应有的国际地位，甚至在政治、经济、外交等方面受制于人。一个具有强大军事力量做后盾的国家才能有强势外交，在国家交往中才不会受人欺侮。依靠科技进步和创新，加快战斗力生成模式的转变，这是贯彻落实科学发展观与推进中国特色军事变革有机结合的关键所在，也是建设信息化军队、打赢信息化战争的必然要求。信息技术深刻地改变着战斗力生成模式。因此，实现国防现代化不容忽视。而实现国防信息化、现代化就必须大力发展国防科技和武器装备技术，机械制造业在其中发挥了不可替代的作用，因为是国防制造业提供了各式各样先进的信息化、现代化武器装备。

现代战争主要指现代政治、经济、军事和科学技术等条件下，以现代化的武器装备而展开的高科技战争，而不再像传统的以投入较多的兵力而展开的战斗。信息化引领着世界军事战争的发展趋势。

海湾战争、科索沃战争的爆发标志着战争进入了高技术局部战争的历史时期。现代战争是以使用高科技含量的现代武器装备为基本特点，高技术兵器大量地用于战场，战场的时空空前扩大，作战样式不断更新和综合运用，作战指挥更加高度集中统一，战争规模的可控性得到增强。现代化的国防，必须建立在现代高科技基础上，才能有效地实现保家卫国，保障国家和人民的财产、人身安全，保证人民安心地进行国民经济建设。现代战争中使用的激光制导技术、弹道防御系统、无人侦察机、隐形战斗机、洲际导弹、航母等先进的武器装备和工具，离不开国防科技的发展，离不开发达的制造业，离不开现代计算机技术、现代信息技术和微机电技术。总之，现代战争靠的是现代化的武器装备，而现代化的武器装备，离不开现代先进的国防科技和制造业。现代化的高科技含量武器的功能、威力越来越强大，种类繁多，主

要涉及陆、海、空三大类。包含单兵武器、装甲战车、战斗机、侦察机、直升机、航空母舰、巡洋驱逐舰、深水潜艇、对地导弹、对空导弹、洲际导弹以及各种现代化的先进武器和工程装备等,这些都需要强大的制造业为基础。

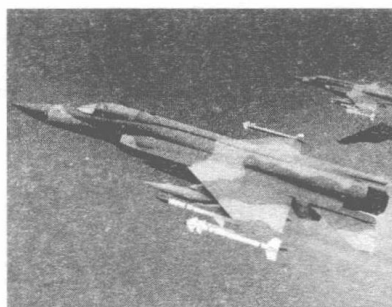


图 1-1 枭龙 04 战机

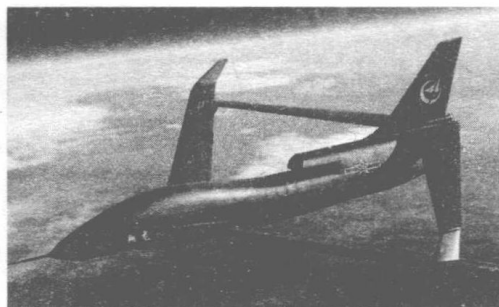


图 1-2 翔龙无人侦察机

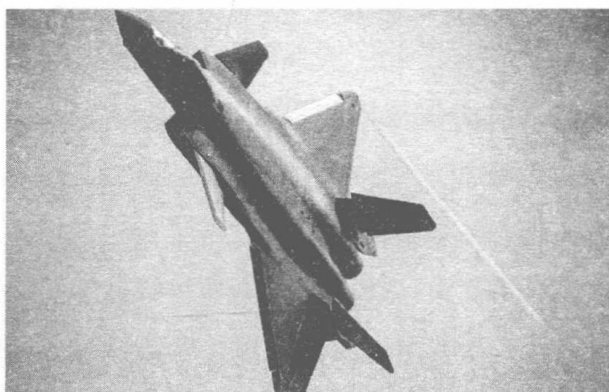


图 1-3 歼 20 隐形战斗机

上图是我国“十五”“十一五”期间自行研制的第三代战机——枭龙 04, 翔龙无人侦察机和第四代战机——歼 20。枭龙 04 战机采用中等展弦比梯形机翼的正常式布局, 先进的气动布局使飞机具有较好的升力特性, 较大的升阻比及良好的大迎角特性, 同时具有一定的隐形能力。全机共有 7 个外挂点, 可悬挂多种空空、空地武器, 并可外挂 3 个副油箱, 总外挂能力 3600 千克, 正常起飞重量为 9100 千克, 最大航程为 3500 千米, 作战半径大于 1200 千米。枭龙 04 装配了完整的全新开发的先进航电系统, 具有先进的综合作战效能, 能与国际最先进的战机相媲美。“翔龙”无人侦察机的问世将中国无人侦察机能力提升至世界第二, 它的巡航高度为 18000~20000 米, 巡航速度大于 700 千米/小时, 作战半径达 2000~2500 千米。“翔龙”无人机使用罕见的改进型