



“十一五”重点规划教材

New Century Mechanical Series
新世纪机械系列丛书

机械制造装备设计

郑金兴 / 编



哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press



“十一五”重点规划教材

New Century Mechanical Series

新世纪机械系列丛书

机械制造装备设计

郑金兴 编

哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书介绍机械制造装备设计的基础理论、基本知识和基本方法,内容包括绪论、金属切削机床设计、高速加工机床设计、并联运动机床、物料储运装备设计和三坐标测量机。本书以机械制造装备设计的方法为重点,主要介绍了几种典型机械制造装备的总体设计、运动设计、结构设计及部件选择等内容,并反映了国内外的相关最新进展和发展趋势。本书内容新颖、体系完整、重点突出、实例丰富,便于教学和自学,并对实际设计工作有一定的指导作用。

本书可作为高等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与研究工作的工程技术人员和研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造装备设计/郑金兴编. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2008.4

ISBN 978 - 7 - 81133 - 245 - 2

I . 机… II . 郑… III . 机械制造 - 工艺装备 - 设计
IV . TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 040447 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451 - 82519328
传 真 0451 - 82519699
经 销 新华书店
印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂
开 本 787mm × 1 092mm 1/16
印 张 19
字 数 465 千字
版 次 2008 年 4 月第 1 版
印 次 2008 年 4 月第 1 次印刷
定 价 35.00 元
<http://press.hrbeu.edu.cn>
E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

本书是根据“机械设计制造及其自动化”专业教学指导委员会推荐的推导性教学计划组织编写的,通过对本书的学习,学生能较系统地掌握机械制造装备设计的基础理论、基本知识和基本方法,培养从事机械制造装备设计工作的初步能力。

随着专业的合并和调整及宽口径教学的要求,本书的主要内容原来的普通机床的工作原理、机械结构和主要部件的设计方法,改变为以讲解数控机床和加工中心的相关内容为主。随着加工技术向高精化、高速化发展,相应的高速加工机床和各种新型机床类型不断涌现。同时,随着计算机的广泛应用,工业机器人及物流运输系统等越来越多地出现在机械制造领域中。近年来,反求工程在制造企业中也开始应用,因此三坐标测量机作为一类辅助制造装备也大量使用。所以,讲授这些较新的内容,对适应学科发展的需要、拓宽学生的专业广度、提高学生的就业竞争能力势在必行。

本书内容共分六章,分别讲述绪论、金属切削机床设计、高速机床设计、运动并联机床设计、物料储运装备设计和三坐标测量机简介等内容。本书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、运动设计和结构设计为重点,结合国内外最新的技术成果和发展趋势,使学生掌握最新的知识并初步培养其工作能力。

限于编者的水平有限,书中错误或不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2008 年 3 月

目 录

1 总 论	1
1.1 概 述	1
1.2 机械制造装备类型	9
1.3 机械制造装备设计要求	12
1.4 机械制造装备设计方法	14
思考题与习题	17
2 金属切削机床设计	19
2.1 概 述	19
2.2 金属切削机床的总体设计	26
2.3 机床主传动系统设计	46
2.4 机床进给系统设计	84
2.5 机床主轴组件设计	120
2.6 机床支撑件设计	143
2.7 机床导轨设计	147
思考题与习题	152
3 高速切削加工机床	155
3.1 高速切削加工机床的要求	155
3.2 高速机床主轴单元系统	157
3.3 高速机床的进给系统	161
3.4 高速机床的控制系统	180
思考题与习题	192
4 并联运动机床	194
4.1 概 述	194
4.2 并联运动机床的设计	206
4.3 概念设计和机构综合	213
4.4 并联运动机床的结构设计	223
4.5 电主轴	226
4.6 杆件和铰链	234
4.7 并联运动机床的发展趋势	239
思考题与习题	242
5 物流系统设计	243
5.1 物流系统的功能和应满足的要求	243
5.2 物流系统的总体设计	244
5.3 自动导引小车	247
5.4 自动化仓库	265

思考题与习题	283
6 三坐标测量机	284
6.1 概 述	284
6.2 三坐标测量机的机械结构	286
6.3 三坐标测量机的测量系统	289
6.4 三坐标测量机的控制系统	294
6.5 三坐标测量机的软件系统	296
思考题与习题	297
参考文献	298

1 总 论

1.1 概 述

1.1.1 我国装备工业在国民经济中的地位和作用

进入 21 世纪,世界经济结构正在发生重大而深刻的变革,但制造业依然是世界各发达国家与发展中国家加快经济发展、提高综合国力的重要途径。装备制造业是各个工业化或后工业化国家的主导产业之一。

我国是一个制造业大国,尚处于工业化进程之中,在未来相当长的时期里,制造业仍将在国民经济中占主导地位。在新一轮国际产业结构调整中,我国正逐步成为世界最重要的制造业基地之一。出于商业垄断或政治考虑,工业发达国家或跨国公司一直封锁尖端装备对中国的出口和关键技术的转让,装备制造业在保障供给、维护国家安全方面的重要性更为突出。因此中国要走富国、强国之路,大力发展装备制造业是必然的选择。

我国装备工业是最大的工业产业。它是为国民经济和国家安全提供装备的总称,是我国工业领域中最大的产业,也是国家对外经济贸易的第一大产业。目前,我国装备制造业工业增加值仅次于美国、日本、德国而居世界第四位。装备工业作为技术密集工业,万元产值消耗的能源和资源在重工业中是最低的。随着装备工业不断吸纳高新技术,以及信息技术、软件技术和先进制造技术在装备工业中的普及应用,使得产品技术含量不断提高,附加价值不断增大。

机械制造业是制造业的核心,是制造农业机械、动力机械、运输机械、矿山机械等机械产品的工业部门,也是为国民经济各部门提供冶金机械、化工机械和机床工具等装备的部门。机械制造业的生产能力和发展水平标志着一个国家或地区国民经济现代化的程度,而机械制造业的生产能力主要取决于机械制造装备的先进程度。

在世界经济全球化的今天,虽说绝大多数基础制造装备与成套装备,只要花钱都可以买到,但对我国这样的发展中大国来说,必须掌握了关键的基础制造装备与成套装备制造的核心技术,才能牢固占有国内市场,并不断开拓国际市场,在竞争中立于不败之地。

1. 对战略必争装备与竞争前核心技术迫切需要

战略必争装备是指那些涉及国家安全、经济命脉以及在国际经济竞争中对国民经济影响重大的装备;竞争前核心技术是指在未来的国际竞争中有可能开拓新的广阔市场或成为新的战略必争技术。可以说,战略必争装备与竞争前核心技术关系到一个国家的兴衰与存亡,是一个国家安全独立和成为一个强国所必须拥有的装备和技术。用于国家战略资源勘探——海洋资源开发的水下作业装备和空间资源探索的空间探测器,用于高精尖设备制造的超精密加工装备,面向 IT 等产业的电子专用制造装备,对未来许多行业将产生重大影响的微机电系统(MEMS)以及集当代众多高技术于一身的仿人形机器人、仿生机器人、微操作机

器人等特种机器人,都是关系到子孙后代的战略必争装备或竞争前核心技术,是花钱也买不到的装备与技术,是中国要成为一个强国所必备的装备与技术。

2.对基础制造装备的需求

一个国家制造业水平的高低,很大程度上取决于其基础制造装备水平的高低。基础制造装备不仅需求量大,而且对装备的技术水平的要求越来越高,如飞机制造业中的大台面多坐标数控龙门铣床、高速加工中心、专用高速蜂窝铣等。对于这样的高档专用设备,目前主要依赖进口。

3.对大型、成套装备的需求

我国汽车到 2005 年产量可接近 270 万辆,“十五”期间我国汽车制造业购买生产线所需的各种技术装备,初步测算就将达到 600 亿元;还有在电子、家电制造业,对生产线所需的数控加工装备、工业机器人、自动化物流输送系统均有巨大的市场需求。

上述机械制造装备和技术是实现我国传统产业改造升级,完成工业化的迫切需要;是促进我国制造业“两个根本性转变”,实施制造业信息化工程的需要;是增强国防实力、国家安全与国际地位的需要;是实现党中央第三步战略目标的需要;是国民经济可持续发展的基本保证。

1.1.2 机械制造业发展趋势

1.制造模式演变

20 世纪是制造业空前发展的重要时期,以精密和微细加工技术为目标,各种制造工艺和装备层出不穷;另外,制造系统的集成也异常活跃,制造模式不断更新。在不到百年的发展历程中,经历了四个重要发展阶段,如表 1 - 1 所示。

表 1 - 1 制造业各主要发展阶段的生产模式和经营策略

发展阶段	年代	生产模式	制造策略	制造装备和技术特点	生产组织和管理特点
1	1910 ~ 1940 年	福特生产模式	制定合理工序和科学工时定额(泰勒管理方式)	机械化制造装备	建立设计、工艺和生产等功能专业化部门
2	1940 ~ 1950 年	大批量生产自动化	生产过程动态统计	组合机床和刚性自动线	以质量为核心的部门间协调
3	1950 ~ 1960 年	中小批量生产自动化	柔性自动化生产	数控机床和加工中心	成组技术应用
4	1960 ~ 1980 年	多品种小批量生产自动化	以计算机辅助为特征的制造技术的开发和应用	DNC、工业机器人、CAD、CAPP、CAM 和 CAE 技术	按用户订单组织生产

20 世纪 20 年代,美国福特汽车公司开创了“少品种大批量”的生产模式,又称福特生产

模式,制造系统第一次显示出强大威力。

二战结束后,电子技术、计算机技术和信息技术的发展,为生产领域中的自动控制创造了条件,制造技术朝着全面自动化方向快速迈进。数控机床加工与计算机控制相结合,以计算机为辅助工具的自动化技术逐步得以实现,出现了计算机辅助设计(CAD),计算机辅助制造(CAM),计算机辅助工艺(CAPP),加工和装配及检验自动化,物料储运自动化等单元技术,并形成综合性自动化生产工艺系统。

在生产管理中采用计算机进行信息处理也取得巨大进展,如生产预测、工艺过程的计划与调度、采购与库存控制、生产控制、销售控制与成本控制等,进而形成了管理信息系统(MIS),进行最优决策,以便实时有效地进行生产控制。

生产工艺自动化与生产管理自动化相结合,就形成了计算机集成制造系统(CIMS),以计算机为工具的信息集成得以实现。这样,制造自动化水平由 20 世纪 70 年代之前的单机自动化、刚性生产线,经 70 年代的柔性生产线,发展到 80 年代出现了以 CIMS 为代表的生产与管理的全面自动化。进入 20 世纪 90 年代,制造企业活动转向以满足用户需求为核心,不断提高快速响应市场的能力。但复杂而不易维护、庞大而不灵活、昂贵而不经济的 CIMS,不能适应市场需求快节奏变化而受冷落,这时快速可重组制造系统、并行工程(CE)、精益生产(LP)、敏捷制造(AM) 等新的制造技术和制造模式应运而生,成为新生力量。

2. 机械制造业的发展趋势

在新的世纪中,科学技术必将以更快的速度发展,各学科的融合将更为紧密。这一切都将大大拓宽机械制造业的发展方向。机械制造业将出现一个美好的未来。在新的世纪中,它的发展趋势可以归结为“四个化”:柔性化、敏捷化、智能化、信息化。

(1) 柔性化

柔性化使工艺装备与工艺路线能适用于生产各种产品的需要,能适用于迅速更换工艺、更换产品的需要。

本世纪初,超精密加工精度可达到 1nm。超精密加工目前包含超精密切削、超精密磨削研磨和精密特种加工等三个方面。超精密加工能提高产品的性能和质量,提高其稳定性和可靠性,促进产品的小型化,增强零件的互换性,提高装配生产率,促进自动化装配。超精密加工技术的发展有力地推动了各种新技术的发展,促进了最新科学技术的进步。同时,微型机械大大发展。微型机械是尺寸在 1nm ~ 1 μ m 的机械。它是集微型机构、微型传动器以及信号处理和电路,甚至外围接口电路、通讯电路和电源等为一体的微型机电系统。它远远超出了传统机械的概念和范畴,其应用领域相当广泛。

在将来,机器人将被更为广泛地应用于生产。为适应柔性自动化的需要,机器人必须有视觉系统,能对装配件的形体与姿态进行识别,应装有位置与触觉传感器,进行精确定位与抓握力的控制,自动导引车也应有视觉或声发射传感器,用以发现行进中可能有的障碍物等。越是柔性化的过程,越需要传感器。

当然,在以人为本的社会发展中,生产过程中仅仅有技术上的柔性还是不够的,还要求在管理上的柔性。如精益生产特别强调“准时化”管理和人的因素的发挥,努力消灭一切浪费现象以获得最好的效益,强调企业的一切活动都离不开人的参与,尊重人性、调动人的积极性、增强员工的自主精神和责任感,其柔性范畴扩大到人员。而敏捷制造极富创造性地构建了一种企业的动态联盟——虚拟公司,以便能灵活快速地对市场变化作出积极的响应,使整个制造生产系统无论在技术、管理,或是人员、组织上都具备充分的柔性,尤其强调了组

织的柔性。

在日益强调环保的今天,柔性化也体现在清洁生产方面。制造技术应是一项与环境协调的技术,它应该是一项遵循“可持续发展”原则的技术。

(2) 敏捷化

敏捷化使生产推向市场准备时间缩为最短,使机械制造厂的机制能灵活转向。

未来市场的一个基本特征:不确定性表现为动态多变和不可预期。主要表现为非大量化、分散化和个性化以及上述变化速率的加快。加之市场规模越来越大,大系统中不可控制因素增多,会发生更高阶和多变量系统的混沌。未来产品的特征是个性化、多样化,以及前所未有的非标准化产品和服务。这也就要求企业必须进行改革,从而去适应这种外部环境显著的变化。将来企业的主要特征是生产组织小型化,产品更新换代周期缩短。

将来的情况是对待库存要格外小心,库存问题需要格外重视。零库存将是一个追求的目标。面对高度不确定的市场,经营上和生产上的灵活性、机敏性变得相当重要,企业需注意产品积压,需适应多样化的市场需求,以摆脱积压与缺货并存、设备闲置与供不应求并存的局面。小型化的生产方式是一种革新,它将打破制造效率方面的传统神话。

由于未来的变化是如此之快,生产将必然要求越来越多地使用虚拟技术。虚拟制造实际上是一种计算机科学技术,以信息技术、仿真技术、虚拟现实技术为支柱,在产品设计或制造系统的物理实现之前,就能使人体体会到或感觉到未来产品的性能或者制造系统的状态,从而可以作出前瞻性的决策与优化实施方案。虚拟制造从根本上改变了设计、试制、修改设计、规模生产的传统制造模式。在产品真正制出之前,在虚拟制造环境中生成软产品原型代替传统的硬样品进行试验,对其性能和可制造性进行预测和评价,从而缩短产品的设计与制造周期,降低产品的开发成本,提高系统快速响应市场变化的能力。最新的进展是在并行工程环境下,开展虚拟成形制造,使得在产品的设计完成时,成形制造的准备工作也同时完成。它能够更快地响应市场的需求。

同时,企业的生产模式上也要改变,要进行敏捷制造。敏捷制造是一种先进的制造模式,当市场出现新的机遇时,通过不同的公司、不同地点的工厂或车间的动态联盟,可以重新组织协调工作。敏捷制造具有高度的制造柔性,对市场能够迅速响应并能实现产品多品种变批量的快速制造。

(3) 智能化

智能化是柔性自动化的重要组成部分,它是柔性自动化的新发展和延伸。智能化制造将会显著减少制造过程物耗、能耗,显著地提升传统制造产业的水平,故探索智能化制造将是可持续发展的重要模式。

制造系统正在由原先的能量驱动型转变为信息驱动型,这就要求制造系统不但要具备柔性,而且还要表现出智能,否则是难以处理大量而复杂的信息工作量的。瞬息万变的市场需求和激烈竞争的复杂环境,也要求制造系统表现出更高的灵活、敏捷和智能。

智能化是为了提高生产的自动化程度。智能化不仅贯穿在生产加工的全过程(如智能编程、智能数据库、智能监控),还要贯穿在产品的售后服务和维修中。即不仅在控制机床加工时数控系统是智能的,而且当系统出了故障时,诊断、维修也都是智能的,对操作维修人员的要求降至最低。因此,我们认为智能化的制造系统应该具备以下的功能:① 自律能力;② 人机一体化;③ 虚拟现实技术;④ 自组织与超柔性;⑤ 学习能力与自我维护能力。由此出发的智能制造将作为一种模式,是集自动化、柔性化、集成化和智能化于一身,并不断向纵深发展

的高技术含量和高技术水平的先进制造系统,也是一种由智能机器和人类专家共同组成的人机一体化系统。它突出了在制造诸环节中,以一种高度柔性集成的方式,借助计算机模拟的人类专家的智能活动,进行分析、判断、推理、构思和决策,取代或延伸制造环境中人的部分脑力劳动。同时,收集、存储、完善、共享、继承和发展人类专家的制造智能。

同时,智能制造也是一个人机一体化智能系统,它不是单纯去追求人工智能,而是努力追求人的智能与机器智能的有效结合。

(4) 信息化

机械制造业将不再是由物质和能量借助于信息的力量生产出价值,而是由信息借助于物质和能量的力量生产出价值。因此,信息产业和智能产业将成为社会的主导产业。机械制造也将是由信息主导的,并且是采用先进生产模式、先进制造系统、先进制造技术和先进组织管理方式的全新的机械制造业。它将促进设计技术的现代化,加工制造的精密化、快速化,自动化技术的柔性化、智能化,整个制造过程的网络化、全球化。各种先进生产模式如 CIMS、并行工程、精益生产、敏捷制造、虚拟企业与虚拟制造,也无不以信息技术的发展为支撑,通过信息交换和信息共享,使企业生产的柔性和敏捷性大大提高。

信息化的一个主要特征是网络化。网络化制造正是在信息高速公路基础上的一种模式。以 Internet 和 Intranet 为表征的网络技术的商用化,成为未来经济发展的新引擎,也为分布式信息系统结构的广泛应用建构了基础。分布式信息系统除了价格性能比优越外,它还特别适合系统发展的要求,适合离散性制造业的固有特征,适应计算机支持的协同制造。未来数控机床的一种趋势是网络化,通过开放式的 CNC 同全球网的连接,车间能够跟踪、收集机床生产情况等更多的信息,机床数据也能够用户在用户与设备供应商之间共享。供应商能够监测来自世界各地的设备,细微的毛病立即得到解决或派专家服务,同以前相比使机床运转的花费更少。

制造业信息化的基础内容如下:

- CAD/CAM/CAPP/CAE/PDM - C4P,建立数字原型,提高产品开发能力,加快速度;
- IQS/MRP/ERP/MIS/PDM,企业管理信息的数字化和网络化,建立企业的数字神经系统;
- SCM/CRM/CIMS,企业间的信息共享和信息集成,建立企业之间的信息渠道;
- OA,办公 / 财务自动化;
- e-Business,电子商务。

当然,机械制造业的四个发展趋势不是单独的,它们是有机地结合在一起的,是相互依赖、相互促进的。同时,由于科学技术的不断进步,也将会使它出现新的发展方向。前面我们看到的是机械制造行业其自身的发展;然而,作为社会发展的一个部分,它也将和其他的行业更广泛地结合。21 世纪机械制造业的重要性表现在它的全球化、网络化、虚拟化、智能化以及环保协调的绿色制造等。它将使人类不仅摆脱繁重的体力劳动,而且从繁琐的计算、分析等脑力劳动中解放出来,以便有更多的精力从事高层次的创造性劳动。智能化促进柔性化,它使生产系统具有更完善的判断与适应能力。

3. 我国机械制造装备业发展趋势和面临的问题

(1) 战略装备与竞争核心技术

① 水下作业装备

21 世纪是人类向海洋进军的世纪。海洋资源是近几年国际上激烈竞争的焦点之一,是

各国重要的战略目标。为进行海上石油开发、海洋科学研究、海底矿藏勘探开发、海底打捞救生以及军事应用,如侦察巡逻、扫雷、预警等,迫切需要进一步开发水下作业装备。

国际公海组织规定,对有能力进行深海勘探的国家将有优先开采权。“九五”期间,我国海洋局开发的 6 000 m 水下机器人,在太平洋上勘探了 30 万平方公里,并获得了其中矿产资源最丰富的 7.5 万平方公里的优先开采权,为后人留下了一份产业,实现了以技术换资源的目标。我国在水下机器人方面虽然拥有一定的基础,但与美国、俄罗斯、日本等国相比还有很大的差距,远不能满足未来开发海洋的需求,我国在深海载人潜水器、深海作业机器人、12 000 m 海沟探测机器人等方面还有很多没有开发而必须开发的装备。

② 超精密加工装备

信息、航空、航天,特别是国防工业对精密和超精密加工的需求是非常迫切的。如导弹、航空与航天器上使用的精密陀螺仪(精密陀螺仪转子的偏心增加 $0.5\ \mu\text{m}$,将引起 100 m 的射程误差和 50 m 的轨道误差),飞机和潜艇上使用的高精度叶片,空对空导弹上使用的红外接收器非球面反射镜,航天望远镜上使用的超精密镜片等,无一不需要特殊的精密与超精密加工技术。同时,精密、超精密加工技术是先进制造技术的基础和关键,也是一些高新技术和某些尖端科学赖以存在和发展的基础。

目前,国际上超精密车床主轴回转精度均已达 $0.025\ \mu\text{m}$ 。工件表面粗糙度 $R_a = 0.01 \sim 0.02\ \mu\text{m}$,最高达 $0.0045\ \mu\text{m}$ 。进入 21 世纪,超精密加工的精度将达至 $0.001\ \mu\text{m}$ (1 nm)。超精密加工尤其是纳米加工是当前各工业发达国家主攻的目标。此外,超精加工材料对象由金属扩大到非金属,高密度、高能量的粒子束加工工艺和装备,以三维曲面加工为主的高性能超精密加工工艺和装备以及配套的三维超精密检测技术和加工环境的控制技术正成为进一步的发展趋势。而我国在超精密加工方面尚处于起步阶段。

③ 电子专用制造装备

电子制造尤其是集成电路 IC 制造已成为制造业最重要的领域之一。到 2005 年,我国集成电路市场总销售额达到 1 000 亿元。这种巨大的市场需求必将拉动对集成电路(IC)制造装备的巨大需求。据预测,建设一条年封装能力为 1 亿块的 IC 封装生产线,装备投资约需 2 亿元人民币。若按我国 IC 年需求量增长 20 亿块计算,则仅增添 IC 的封装设备每年就需 40 亿元人民币。

IC 制造中的核心和关键装备包括制芯(前道工序)和封装(后道工序)两大部分。前道工序装备发展的趋势是研制新型超精细光刻机等设备,以突破 $0.001\ \mu\text{m}$ 的大关;后道装备则是发展与更密、更小、更轻的新型封装工艺相适应的更快、成本更低的封装设备,并且对整个后封装工序的各种设备以数字化封装线方式进行工艺和装备的集成。由于 IC 制造不仅对国民经济有巨大的影响,而且对国家安全极为重要,所以一些高精密的 IC 制造装备成了一些发达国家垄断电子行业的核心武器。我国在 IC 制造行业中虽有一定的基础,也与国外合资建立了一些生产线,但由于我们自己没有先进的 IC 制造装备,使我国的 IC 行业受到了很大的制约。目前我国集成电路芯片制造设备的 85% 仍依赖进口。为了在 IC 行业占有一席之地,我国必须自主开发 IC 制造的核心装备。

④ 微机电系统(MEMS)

MEMS 是国际公认的一项战略高科技,是未来先进制造发展的主导技术之一,并在医疗保健、生物基因、IT 消费电子、环保监测、军事武器等器件及微系统应用方面具有广阔的应用前景。例如,作为获取信息关键的多种传感器 MEMS 已成功地应用于汽车、电子等行业和军

事领域;在令人瞩目的信息科学和生命科学的发展中,光 MEMS 被认为是开启全光通信之门的金钥匙;高密度 MEMS 生物芯片将强有力地推动生命科学和生物技术的发展。

近几年,采用 MEMS 技术的微型卫星、微型飞行器和进入狭窄空间的微型机器人,也展示了诱人的应用前景。现在 MEMS 已形成年产值 140 亿美元的规模,预计 5 年后将达到 300 多亿美元的规模。

MEMS 是以电子制造的方式设计与制造的微机电系统,它是多种学科的交叉融合,已成为当今国际高技术竞争的一个热点, MEMS 产业也正在形成之中。为此各国政府都非常重视 MEMS 技术,美国国防部近几年每年投入 7 000 万美元用于 MEMS 研究,德国也投入约 7 000 万美元用于 MEMS 的研究。MEMS 对我国而言是个挑战,也是一个难得的发展机遇。

⑤ 特种机器人

特种机器人通常在非结构化环境下工作,即作业无法在事先布置好的条件下进行,而且在作业过程中环境可能发生变化。与在结构化环境下作业的工业机器人相比,在非结构化环境下工作的特种机器人控制更加困难,要求的智能程度更高,如空间与深海作业、精密操作、在役管道内作业等。

特种机器人集当代众多高技术于一身,目前重点研究的特种机器人有仿人机器人、微机器人、微操作机器人、水下机器人、医用机器人、服务机器人、网络机器人、军用机器人、农林与农副产品加工机器人等等,将在航空航天、能源、交通、海洋、生物、医疗、服务、农业、军事和娱乐等领域具有非常广阔的应用前景。

正因为如此,研究和发展特种机器人技术一直受到世界各国的重视,许多国家都把特种机器人技术列入本国的高技术研究发展计划或国家的关键技术研究开发计划。如美国的“国家关键技术”、“商业部新兴技术”和“国防部和能源部关键技术”等计划,欧共体的“尤里卡计划(EU - REKA)”和“信息技术研究发展战略计划(ES - PRIT)”,日本的“极限作业机器人研究计划(R&D OF ROBOTICS IN EXTREME ENVIRONMENT)”、“微机器研究计划(R&D OF MICROMACHINE TECHNOLOGY)”、“仿人形机器人研究计划(HUMANOID ROBOTICS PROJECT)”等,新加坡、韩国、巴西等发展中国家也都有相应的计划内容。我国 863 计划智能机器人主题前 15 年工作的重点之一就是发展我国的特种机器人技术,并在若干方向上取得了令世人瞩目的成就,但在总体上,与国外先进水平相比还有不小的差距。

(2) 基础制造装备与技术

21 世纪基础制造装备的水平主要体现在高精度、高效率、低成本和高柔性等几个方面。发达工业国家数控机床的加工精度普遍已达到 $1\text{ }\mu\text{m}$ 的水平,有些已达到 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 。国外主轴转速在 $10\,000 \sim 20\,000\text{ r/min}$ 的加工中心已普及,转速高达 $250\,000\text{ r/min}$ 的实用主轴也正在研制中;直线电机的轴进给速度已达 200 m/min 。超高速切削的研究已转移到一些难加工材料的切削加工上。高效率、高精度工艺的一个典型例子是精密成形技术,如近 / 净成形技术,其目的是尽量减少切削,甚至免除切削,减少原材料的浪费,同时提高制造效率,精密成形技术在工业发达国家已得到广泛应用。如:美国的汽车、宇航、航空工业的模锻件、精密锻件占总锻件量的 80% 以上;日本汽车锻件达到 63.9%;德国达到 70% ~ 75%。柔性自动化仍是机床业发展的重要趋势之一。柔性自动化的进一步发展是敏捷生产设备。为适应敏捷生产模式,人们正在探求设备自身的结构重组以及生产单元的动态重组问题。

目前我国的基础制造装备与国际先进水平相比还存在着阶段性差距。工业发达国家早在 20 世纪五六十年代就已普遍采用了优质高效低耗的工艺及装备,实现了柔性自动化,目

前正向集成化、敏捷化方向发展。而我国大多数企业目前还采用较落后的制造工艺与技术装备进行生产,优质高效低耗工艺的普及率不足 10%,数控机床、精密及高效设备不足 5%,现在配备国产数控系统的中档数控机床还不到 25%,高档数控机床的 90% 以上依赖进口。数字化机械(如纺织机械、多色胶印机)的 70% 以上依赖进口。

归纳起来,目前国产基础制造装备普遍存在着“四差”问题,即可靠性相对差、成套性差、外观质量相对差、名牌效应差,从而严重影响了企业的生产效率、产品质量以及产业化规模的提高,同时也严重制约了制造业及其相关行业的发展。

(3) 成套关键装备与技术

国外在大型、成套装备方面有很大优势,并且在成套装备的高技术化方面,取得了巨大的进展,已经实现了数控化、柔性自动化,并大量采用工业机器人,正向着智能化、集成化的方向发展。

据统计,中国工业装备整体技术水平落后国际水平 10 ~ 15 年,制造业与自动化技术落后 15 ~ 20 年,装备中工业机器人数量极少,数控化比例很低(5%),尚处于单机自动化和刚性自动化阶段,现有成套装备中技术经济性能比较先进的只占 1/3,近 1/5 已经老化,超期率近 40%。装备落后,导致产品普遍档次低、质量差,已成为制约制造业发展的瓶颈。

我国装备工业与发达国家存在着的差距,除有产业管理体制、市场结构不健全不规范,企业组织结构不科学等原因外,技术、工艺、服务“瓶颈”是制约装备工业发展的主要因素。这三者虽然相互制约,但是技术“瓶颈”是关键。为此,有关专家指出,技术瓶颈、工艺瓶颈不解决,服务意识再好,也是无法为用户服务好的。而造成“瓶颈”的主要原因:一是,在于我国装备工业自身技术开发和创新能力低,特别是国有大中型企业技术开发与创新能力、科技产出效率不如三资企业的技术开发机构;二是,我国装备工业 50 年来一直采用技术引进模仿创新的发展模式,装备工业大中型企业在技术引进时,技术引进经费在技术开发经费支出中占很高比例,技术引进费用远高于用于消化吸收的经费。在引进技术的经费中,设计图纸、工艺专利的购入费所占比例高达 60% 以上。但是,许多企业引进技术后,对引进的技术往往停留在消化阶段,项目从签约到批量生产往往需要 5 年或更长的时间。长期的重硬件轻软件、重引进轻消化吸收,加上自主开发和创新能力弱,到上世纪 90 年代,我国装备工业虽然能够提供经济建设所需的一些重大装备和产品,但技术仍主要依靠从国外引进。其中,机械制造业中的 57% 产品产业化是在引进技术基础上完成的,发电设备、轿车、仪器仪表、数控系统等主要产品的更新换代也都离不开从国外引进技术。振兴装备工业,必须走新型工业化的道路。改革开放以来,我国工业以“补课型”的快速扩张较快地走完了工业化的第一阶段(以生活消费品为主的轻工业发展阶段)和第二阶段(以重化工原材料为主的发展阶段),但是,在买方市场特征日益突出,市场竞争日益激烈的新形势下,企业要进一步发展,就需要按照市场的需求不断提高产品质量和档次,产业结构调整和技术升级势在必行。产业结构调整和技术升级也必然会带来新一轮设备更新,在形成对装备工业巨大需求的同时,也对装备工业的改造升级提出要求。加入 WTO 之后,国产设备价格低廉等方面的优势将更加明显。另一方面,也由于我国入世以后对国内外产品实行同等“国民待遇”,中国承诺这些企业在采购时的判断必须基于商业的考虑,对进口产品和国产品不得差别对待。因此过去的诸如在重点建设项目审批过程中必须明确国产化比例,要求外资选购国产设备,要求用户将支持国内装备制造业国产化工作视为义务等做法和提法不能不调整。无论从哪一个角度来讲,我国装备工业都到了一个发展的关键时期。

为解决我国装备工业的问题,国家“十五”计划纲要中明确提出“要大力振兴装备制造业”,明确了发展方向和重点。党和国家领导人近几年多次讲话都提及要加快发展装备制造业。发挥政府能力调控装备制造业本身的发展和装备产品市场,通过制定相关的政策和法律,一定能提高我国装备工业整体竞争力。

1.2 机械制造装备类型

机械制造过程是一个十分复杂的生产过程,所使用装备的类型很多,总体上可划分为加工装备、工艺装备、储运装备和辅助装备四大类。机械制造装备的基本功能是保证加工工艺的实施,节能、降耗、优化工艺过程,并使被加工对象达到预期的功能和质量要求。

1.2.1 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,还有锻压机床、冲压机床、注塑机、快速成形机、焊接设备、铸造设备等。

1. 金属切削机床

金属切削机床是采用切削、特种加工等方法,主要用于加工金属,使之获得所要求的几何形状、尺寸精度和表面质量的机器。机床加工可获得较高的精度和表面质量,在实际生产中,它完成 40% ~ 60% 以上的加工工作量。金属切削机床品种繁多,为了便于区别、使用和管理,需从不同角度对其进行分类。

(1) 按机床工作原理和结构性能特点分类

我国把机床划分为: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等 12 大类。其中特种加工机床包括电加工机床、超声波加工机床、激光加工机床、电子束和离子束加工机床、水射流加工机床;电加工机床又包括电火花加工、电火花切割和电解加工机床。特种加工机床可解决用常规加工手段难以甚至无法解决的工艺难题,能够满足国防和高新科技领域的需要。

(2) 按机床使用范围分类

可把机床分为通用机床、专用机床和专门化机床。

① 通用机床(又称万能机床)可加工多种工件,完成多种工序,是使用范围较广的机床,如万能卧式车床、万能升降台铣床等。这类机床的通用程度较高,结构较复杂,主要用于单件小批量生产。

② 专用机床是用于加工特定工件的特定工序的机床,如主轴箱的专用镗床。这类机床是根据特定工艺要求专门设计、制造与使用的,因此生产率很高,结构简单,适于大批量生产。组合机床是以通用部件为基础,配以少量专用部件组合而成的一种特殊形式的专用机床。

③ 专门化机床(又称专业机床)是用于加工形状相似尺寸不同工件的特定工序的机床。这类机床的特点介于通用机床与专用机床之间,既有加工尺寸的通用性,又有加工工序的专用性,如精密丝杠车床、凸轮轴车床等,生产率较高,适于成批生产。

数控机床是计算机技术、微电子技术、先进的机床设计与制造技术相结合的产物,适应

产品的精密、复杂和小批量的特点。它是一种高效高柔性的自动化机床,代表了金属切削机床的发展方向。加工中心又称自动换刀数控机床。它是具有刀库和自动换刀装置,能够自动更换刀具,对一次装夹的工件进行多工位、多工序加工的数控机床。

(3) 按机床精度分类

同一种机床按其精度和性能,又可分为普通机床、精密机床和高精度机床。此外,按照机床质量(习惯称重量)大小又可分为仪表机床、中型机床、大型机床、重型机床和超重型机床等。

2. 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。按成形的方法可分为自由锻造、胎模锻造、模型锻造和特种锻造,按锻造温度不同可分为热锻、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。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、省料和生产率高的突出优点。

挤压机是借助于凸模对放在凹模内的金属材料挤压成形,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,根据轧制温度可分为热轧和冷轧,根据轧制方式可分为纵轧、横轧和斜轧。

1.2.2 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、测量器具和辅具等。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手段。

1. 刀具

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。切削加工技术的发展,与刀具材料的改进以及刀具结构和参数的合理设计有着密切联系。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门制定的有关“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与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

夹具是机床上用以装夹工件以及引导刀具的装置。对于贯彻工艺规程、保证加工质量和提高生产率有着决定性的作用。夹具一般由定位机构、夹紧机构、导向机构和夹具体等部分构成,按照其应用机床的不同可分为车床夹具、铣床夹具、钻床夹具、刨床夹具、镗床夹具、磨床夹具等;按照其专用化程度又可分为通用夹具、专用夹具、成组夹具和组合夹具等。

3. 测量器具

测量器具是以直接或间接方法测出被测对象量值的工具、仪器及仪表等,简称量具和量仪。它可分为通用量具、专用量具和组合测量仪等。通用量具是标准化、系列化和商品化的量具,如千分尺、千分表、量块,以及光学、气动和电动量仪等。专用量具是专门用于特定零件的特定尺寸而设计的,如量规、样板等,某些专用量规通常会在一定范围内具有通用性。组合测量仪可同时对多个尺寸测量,有时还能进行计算、比较和显示,一般属于专用量具,或在一定范围内通用。数控机床的应用大大简化了生产加工中的测量工作,减少了专用量具的设计、制造与使用;测试技术与计算机技术的发展,使得许多传统量具向数字化和智能化方向发展,适应了现代生产技术的发展。

4. 模具

模具是用以限定生产对象的形状和尺寸的装置。按填充方法和填充材料的不同,可分为粉末冶金模具、塑料模具、压铸模具、冲压模具、锻压模具等。数控技术和特种加工技术的发展,促进了模具制造技术的发展,促进了少切削、无切削技术在生产制造中的广泛应用。

1.2.3 储运装备

物料储运装备是生产系统必不可少的装备,对企业生产的布局、运行与管理等有着直接影响。物料储运装备主要包括物料运输装置、机床上下料装置。刀具输送设备以及各级仓库及其设备。

1. 物料运输装置

物料运输主要指坯料、半成品及成品在车间内各工作站(或单元)间的输送,满足流水生产线或自动生产线的要求。主要有传送装置和自动运输小车两大类。

传送装置的类型很多,如由辊轴构成流动滑道,靠重力或人工实现物料输送;由刚性推杆推动工件做同步运动的步进式输送带;在两工位间输送工件的输送机械手;链式输送机,带动工件或随行夹具做非同步输送等。用于自动线中的传送装置要求工作可靠、定位精度高、输送速度快、能方便地与自动线的工作协调等。

与传送装置相比,自动运输小车具有较大的柔性,通过计算机控制,可方便地改变输送路线及节拍,主要用于柔性制造系统中。可分为有轨和无轨两大类。前者载重量大,控制方便,定位精度高,但一般用于近距离直线输送;后者一般靠埋入地下的制导电缆等进行电磁制导,也采用激光制导等方式,输送线路控制灵活。

2. 机床上下料装置

将坯料送至机床的加工位置的装置称为上料装置;加工完毕后将工件从机床上取走的装置称为下料装置,它们能缩短上下料时间,减轻工人劳动强度。机床上下料装置类型很多,有料仓式和料斗式上料装置、上下料机械手等。在柔性制造系统中,对于小型工件,常采用上下料机械手或机器人,大型复杂工件采用可交换工作台进行自动上下料。

3. 刀具输送设备

在柔性制造系统中,必须有完备的刀具准备与输送系统,完成包括刀具准备、测量、输送及重磨刀具回收等工作。刀具输送常采用传输链、机械手等,也可采用自动运输小车对备用刀具等进行输送。

4. 仓储装备

机械制造生产中离不开不同级别的仓库及其装备。仓库是用来存储原材料、外购器材、