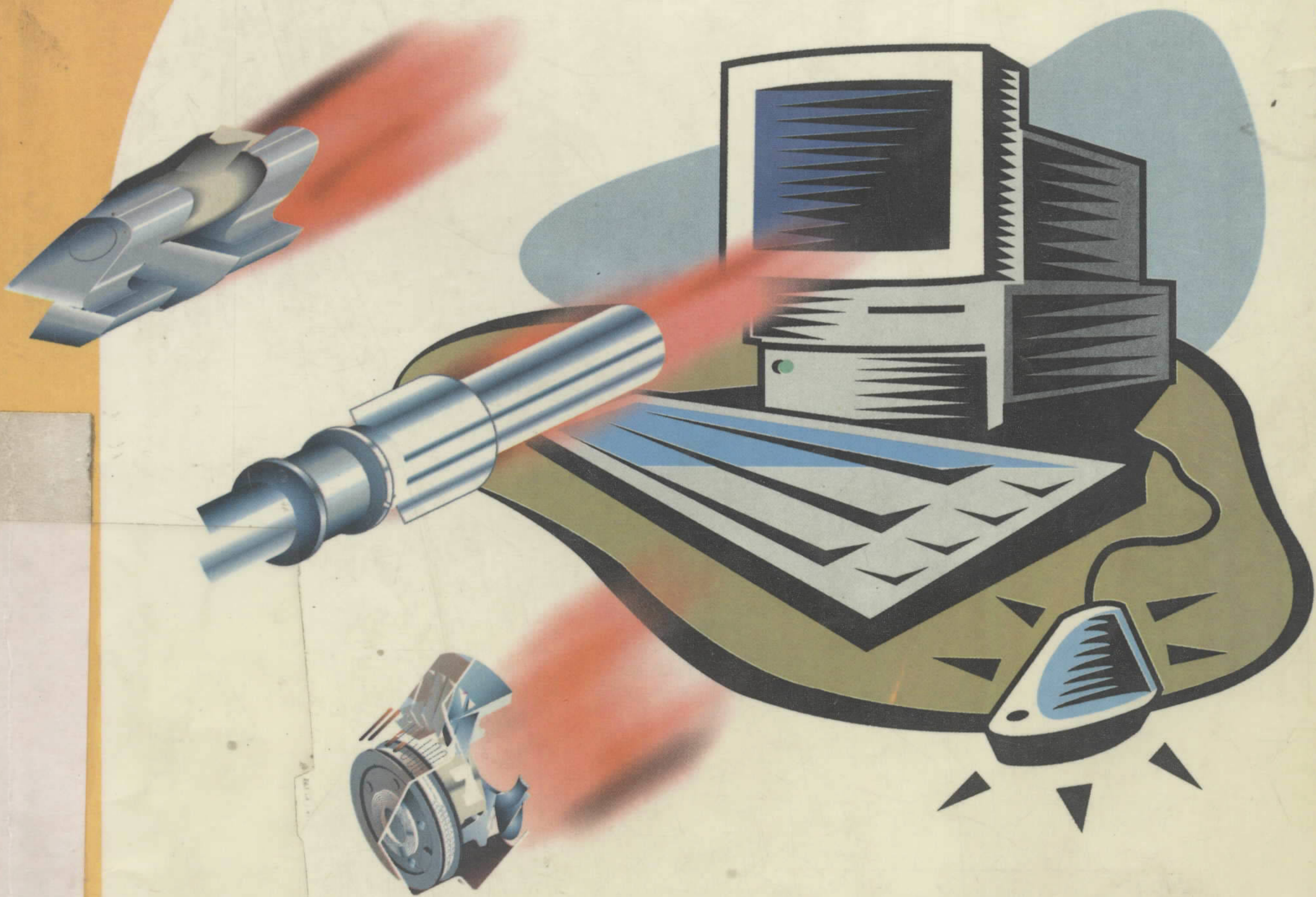


B

普通高等教育机电类规划教材

机械制造装备设计

大连理工大学 冯辛安 主 编
西安理工大学 黄玉美 副主编
天津大学 杜君文



机械工业出版社

普通高等教育机电类规划教材

机械制造装备设计

主 编 冯辛安
副主编 黄玉美 杜君文
参 编 关慧贞 吴宏基
林 跃 董立新
主 审 王启义



机械工业出版社

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指导性教学计划组织编写的，将原教学计划中的有关机械制造装备的设计内容，包括机床设计、夹具设计、工业自动化、工业机器人等按新的课程体系编写的专业教材。书中着重介绍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。全书依据的基础理论除传统的刚度、精度、抗振性、热变形、噪声、磨损和低速运动平稳性等外，还包括柔性化、精密化、自动化、机电一体化、节材、工业工程和绿色工程等；介绍的设计原理和方法采用了现代设计法的理论和方法，如系统工程、创造工程、优化工程、相似工程、可靠性工程、价值工程、人机工程和工业美学等。

全书共分七章，由学术造诣深和富有教学经验的老教授亲自编写，条理清楚、图文并茂、文笔通顺。适作为高等工业院校“机械设计制造及其自动化”专业以及相关专业的教材，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。

机械制造装备设计

大连理工大学 冯辛安 主 编
西安理工大学 黄玉美 副主编
天津大学 杜君文

*

责任编辑：邓海平 版式设计：霍永明
封面设计：姚学峰 责任校对：程俊巧
责任印制：何全君

*

机械工业出版社出版（北京市百万庄大街22号）
邮政编码：100037
（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）
北京京丰印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787mm×1092mm^{1/16}·印张 23.25·字数 574千字
1999年10月第1版第1次印刷
印数 0 001—8 000 定价：30.00元

*

ISBN 7-111-07148-1/TH·958（课）

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
本社购书热线电话（010）68993821、68326677-2527

前 言

本书是根据 1998 年“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，以及相应的“九五”教材编写计划组织编写的。

本书将原机械制造类教学计划中的有关机械制造装备的设计内容，包括机床设计、夹具设计、工业自动化、工业机器人等合为一门课，构成一新的专业类设计课程体系。课程的目的和要求是阐明机械制造装备是发展国民经济的重要基础及其技术现状和发展趋势；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。

本书编写的指导思想是着重对机械制造装备设计的基本原理和方法作简明的介绍，并反映国内外的先进技术和发展趋向；全书所依据的基础理论除传统的刚度、精度、抗振性、热变形、噪声、磨损和低速运动平稳性等外，还包括柔性化、精密化、自动化、机电一体化、节能、工业工程和绿色工程等；书中所介绍的设计原理和方法采用了现代设计法的理论和方法，如系统工程、创造工程、优化工程、相似工程、可靠性工程、价值工程、人机工程和工业美学等；处理好本书和相关的设计手册（如机床设计手册、夹具设计手册、机电一体化手册等）之间的内容衔接，教材侧重介绍（总体）系统设计和结构设计的思路、原理和方法，对在相关设计手册中已作详细介绍其工作原理和设计计算方法的常见结构，教材中仅介绍其选型的原则。

本书由大连理工大学冯辛安任主编，并编写第一、二章；西安理工大学黄玉美任副主编，并编写第三章的一至三节和第四章的一、二、六节；天津大学杜君文任副主编，并编写第三章的第九节和第六章；第四章的三至五节由西安理工大学董立新编写；大连理工大学关慧贞编写第三章的第四至八节；大连理工大学吴宏基编写第五章；吉林工业大学林跃编写第七章。全书由东北大学王启义教授主审。

本书可供高等工业院校“机械设计制造及其自动化”专业以及类似专业的教学用书，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，恳请批评指正。

编者

1998 年 10 月

目 录

前言

第一章 绪论	1	第六节 工业机器人在机械制造系统中的应用	244
第一节 机械制造装备及其在国民经济中的重要作用	1	习题与思考题	248
第二节 机械制造装备应具备的主要功能	3	第五章 机床夹具设计	249
第三节 机械制造装备的分类	7	第一节 机床夹具的功能和应满足的要求	249
习题与思考题	12	第二节 机床夹具的类型和组成	250
第二章 机械制造装备设计方法	13	第三节 机床夹具定位机构的设计	252
第一节 机械制造装备设计的类型	13	第四节 机床夹具夹紧机构的设计	267
第二节 机械制造装备设计的方法	14	第五节 机床夹具的其它装置	279
第三节 机械制造装备设计的评价	29	第六节 可调整夹具的设计	283
习题与思考题	52	第七节 机床夹具设计步骤	289
第三章 金属切削机床设计	53	第八节 典型机床夹具的设计要求	293
第一节 概述	53	习题与思考题	297
第二节 金属切削机床设计的基本理论	56	第六章 物流系统设计	303
第三节 金属切削机床总体设计	61	第一节 物流系统的功能和应满足的要求	303
第四节 主传动系统设计	77	第二节 物流系统的总体设计	304
第五节 进给传动系统设计	105	第三节 机床上料装置设计	307
第六节 主轴部件设计	116	第四节 机床间工件传送装置设计	325
第七节 支承件设计	137	第五节 自动化仓库设计	329
第八节 导轨设计	146	习题与思考题	334
第九节 机床刀架和自动换刀装置设计	159	第七章 机械加工生产线总体设计	335
习题与思考题	191	第一节 概述	335
第四章 工业机器人设计	195	第二节 生产线工艺方案设计	337
第一节 概述	195	第三节 生产线专用机床的总体设计	343
第二节 工业机器人运动功能设计	201	第四节 生产线的总体布局设计	355
第三节 工业机器人传动系统设计	209	第五节 柔性制造生产线	361
第四节 工业机器人的机械结构系统设计	220	习题与思考题	366
第五节 工业机器人的控制	233	参考文献	367

第一章 绪 论

第一节 机械制造装备及其在国民经济中的重要作用

制造业是一个国家或地区经济发展的重要支柱，其发展水平标志着该国家或地区的经济实力、科技水平、生活水准和国防实力。国际市场的竞争归根到底是各国制造生产能力的竞争。当前世界已进入知识经济时代，知识经济与以往经济形态的不同主要在于对知识，特别是对知识的创新与利用的直接依赖。在知识经济时代，知识对经济增长的直接贡献率超过了其它生产要素（如人力、物力和财力等）贡献的总和，成为最主要的生产要素。因此，当前提高制造生产能力的决定因素不再是劳动力和资本的密集积累，而是各项高新技术的迅速发展及其在制造领域中的广泛渗透、应用和衍生，它促进了制造技术的蓬勃发展，改变了现代企业的产品结构、生产方式、生产工艺和装备以及生产组织结构。

机械制造业是制造业的核心，是制造如农业机械、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如冶金机械、化工设备、和工作母机等装备的部门。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。

随着科学技术和社会生产水平的不断提高，机械制造生产模式发生了巨大的演变。本世纪 20 年代制造业开始起家，到二次世界大战，各国为了赢得战争，不计成本大力发展军火工业，使制造业取得飞速的发展。

进入 50 年代和平发展时期，那些不计成本的生产制造模式已不被企业接受，为了降低成本、提高效率，采用“少品种大批量”的做法，强调的是“规模效益”。其代表是由 H. 福特开创的大量生产制造模式，广泛采用“刚性”生产制造模式。由于这种生产制造模式在当时非常有效，为社会提供许多价廉物美的产品，被人们普遍接受，认为是制造业的最佳模式，或“传统模式（产业）”。

70 年代以后，市场的竞争日益激烈，企业为了击败竞争对手，主要通过提高质量和降低成本来实现，其基本原则是“消灭一切浪费”和“不断改善”，以最优质量和最低成本的产品提供给市场。70 年代日本丰田公司采用了这些原则，提出一种新的生产制造模式，在汽车工业击败了美国，震惊了世界。1990 年，美国麻省理工学院对日本的这种生产制造模式进行总结，提出了“精益生产”（Lean Production）的制造模式。

80 年代，随着世界经济和人民生活水平的提高，市场环境发生了巨大的变化。一方面表现为消费者需求日趋主体化、个性化和多样化；另一方面是制造商之间的竞争逐渐全球化。制造业仍沿用传统的做法，企图依靠制造技术的改进和管理方法的创新来适应如此变化迅速且无法预料的买方市场，以单项的先进制造技术，如计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助制造（CAM）、计算机辅助工艺规划（CAPP）、制造资源规划（MRP-Ⅱ）、成组技术（GT）、并行工程（CE）、柔性制造系统（FMS）和全面质量管理（TQC）等作为工具与手段，来缩短

生产周期 (T)，提高产品质量 (Q)、降低产品成本 (C) 和改善服务质量 (S)。单项先进制造技术和 TQC 的采用确实给企业带来不少效益，但对市场响应的灵活性方面并没有取得实质性的改观，而且巨额的投资往往不能得到相应的回报。这是因为上述改造还是停留在具体的制造技术和管理方法，而对不适当当前时代要求的传统大批量封闭式生产制造模式没有进行改造。

90 年代信息科学和技术的发展，使全球经济打破了传统的地域经济发展模式，世界变得越来越小，而市场变得更加广阔，全球经济一体化的进程加快。在这种时代要求下，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，提出了许多新的生产制造模式，例如敏捷制造 (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 (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征是：

- 1) 以用户的需求为中心；
- 2) 制造的战略重点是时间和速度，并兼顾质量和品种；
- 3) 以柔性、精益和敏捷作为竞争的优势；
- 4) 技术进步、人因改善和组织创新是三项并重的基础工作；
- 5) 实现资源快速有效的集成是其中心任务，集成对象涉及技术、人、组织和管理等，应在企业之间、制造过程和作业等不同层次上分别实施相应的资源集成；
- 6) 组织形式采用如“虚拟公司”在内的多种类型。

随着机械制造生产模式的演变，对机械制造装备提出了不同的要求。在 50 年代“刚性”生产模式下，通过提高效率、自动化程度，进行单一或少品种的大批量生产，以“规模经济”实现降低成本和提高质量的目的。在 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。在 80 年代，较多地采用数控机床、机器人、柔性制造单元和系统等高新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要求。从 90 年代开始，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，采用拟实制造和快速成形制造技术。

工业发达国家都非常注意机械制造业的发展，为了用先进技术和工艺装备制造业，机械制造装备工业得到优先发展。对比之下，我国目前机械制造业的装备水平还比较落后，表现在大部分工厂的机械制造装备基本上是通用机床加专用工艺装备，数控机床在机械制造装备中的比重还非常低，导致“刚性”强，更新产品速度慢，生产批量不宜太小，生产品种不宜过多；自动化程度低，基本上还是“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；机械制造装备主要是用来代替和放大人的体力，其工作尽管比人熟练和精确，并有一定的自动化程度，但由于缺乏存储和灵活处理信息的能力，智能化程度差，导致生产效率低、加工精度的进一步提高受到限制。

如上所述，我国机械制造装备模式基本上属于国外 50 年代“传统产业”的范畴。发达国家早在 50—60 年代用高新技术对传统产业进行了改造。改造后的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。

过去我国实行的是计划经济模式，传统产业的改造没有提到日程上来，机械制造业的装

备水平长期处于落后状态。改革开放后，我国实行了社会主义市场经济模式，企业有较大的自主权，可根据市场的需求确定产品的类型和生产规模，根据订货合同组织生产。企业面临着国内外同行的竞争。企业要生存，必须拿到足够多的订货，取得较大的利润。要拿到足够多的订货，并取得较大的利润，必须随市场的需求及时推出好的产品。继续按以前一套传统的生产模式去组织生产，往往是生产出来的产品市场不需要，市场急需的产品又不能及时开发出来，或者生产批量达不到经济规模，利润很少甚至赔钱，企业始终处于消极被动的困境，出现大面积的亏损。

以机械制造装备中两个最具有代表性的产品群：机床和工业机器人的生产来说，目前面临着非常严峻的形势。由于机制方面的问题没有解决，产品的市场占有率很低，抵不住进口同类型产品的竞争，又不重视和无力进行国际市场的开拓。例如1990年进口数控机床仅占国内市场占有率的15%，但到了1995年竟达到了77%。这些导致相关企业大量产品压库，加工能力闲置，人员过剩，资金不足，出现严重亏损等。

我国机械制造装备产业的上述情况仅仅是整个制造业的一个缩影，而机械制造装备产业的萎靡不振又严重影响了机械制造业、乃至整个制造业的振兴。故振兴我国机械制造装备产业，提高我国机械制造装备产品的技术水平和市场竞争力是当前进行国有企业改革、改组、改造的当务之急。

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

为了提高加工效率，切削速度越来越高，切削力越来越大，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重量，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改进设计，在不增加或少增加重量的前提下，使装备的强度、刚度和抗振性满足规定的要求。

3. 加工稳定性方面的要求

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. 耐用度方面的要求

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,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。如产品产量很大,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,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

柔性化在这里有两重含义,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任务。其柔性表现在机床可进行调整以满足不同工件的加工。调整方法如采用备用主轴、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

随着市场竞争的国际化,对产品技术性能的要求越来越苛刻,制造精度的要求越来越高。为提高产品的质量,许多工厂还不断地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,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技术,仔细分析各种引起加工误差的因素,建立误差的数学模型 $\xi = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 。式中, ξ 是由众多因素 x_i ($i=1, 2, \dots, n$) 引起的综合误差。引起误差的因素如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,输入计算机,算出将产生的综合误差 ξ , 然而由误差补偿装置按算出的综合误差进行补偿。

四、自动化

机械制造装备实现自动化后,除了可以提高加工效率和劳动生产率,还可以提高产品质量的稳定性,改善劳动条件等。自动化有全自动和半自动之分:全自动是指能自动完成工件

的上料、加工和卸料的生产全过程；半自动则上下料需人工完成。实现自动化的方法从初级到高级依次为凸轮控制、程序控制、数字控制和适应控制等。

凸轮控制是采用凸轮机构控制多个部件的运动，使之互相协调地工作，改变工作循环需更换或调整凸轮。

程序控制指工作程序和定位尺寸可以根据不同的加工对象选择，但不能控制运动轨迹。改变工作程序一般采用电气插销和电开关组成的矩阵板式程序设定装置；改变定位尺寸一般采用定位开关、尺寸鼓或多级挡铁等。程序控制可分为固定程序控制和可变程序控制。固定程序控制一般采用继电器控制系统，可变程序控制则采用可变程序控制器(Programmable Logic Controller, 简称 PLC)，改变工作程序只需改写或更换 PLC 中的存储器 (EPROM)。

数字控制除了可控制工作程序外，还可以控制运动轨迹，一般采用专门的数控装置。数控装置是一台专用计算机，根据读入的指令和数据，进行处理和运算，根据处理和运算的结果去控制伺服机构或其它执行机构完成要求的动作。指令和数据以一定格式的程序形式录在穿孔带或软磁盘上，可长期保存，随加工对象不同而改换。

适应控制能按事先给定的评价指标，在加工过程中根据实际工作条件（如材料硬度的变化，刀具磨损等）自动地改变加工系统的参数（如切削用量等），使加工过程始终按照给定的评价指标进行。主要用于毛坯余量、硬度、工件刚度和切削面积变化较大、空程较多、工件精度要求较高，以及工件材料费用、刀具成本和机床成本较高的工作条件。适应控制分约束适应控制、最佳适应控制和学习适应控制等。

约束适应控制是按事先规定的条件，如最大功率、最大扭矩、最高温度等，在加工过程中，由控制系统自动调节工作参数，始终在约束条件范围内进行加工。

最佳适应控制是按事先给定的评价指标，如最高生产率、最小成本等，以及这些指标与切削参数之间的关系（即目标函数），在加工过程中，控制系统不断对所有参数进行测量、比较并计算出相应的参数校正值，下达给执行机构进行修正，使机床始终处于最佳参数下工作。

学习适应控制有“学习”能力，能够根据现场加工结果，自动分析造成偏离最佳目标的原因，并修改评价函数使之适合现实的加工条件以保证达到预期目标。

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结构通常是机械的，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，机器始终处于正常的工作状态。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，将不同类型的元件和子系统用“接口”连接起来，构成一个完整的系统。这个系统应该是功能强、质量好和故障率低、节能和节材、性能价格比高，具有足够的“结构柔性”的系统。

采用机电一体化技术设计的产品可以获得如下几方面的功能：

1. 对机器或机组系统的运行参数进行巡检或控制

这些运行参数例如压力、流量、温度、转速、物料成分等。将巡检测得的参数与设定值进行比较，如果超出许可范围，可采用显示、报警等方式通知操作者，进行操作指导，或提

示操作者故障的情况和在什么位置，也可由系统自动控制运行条件，使各项运行参数恢复正常。

2. 对机器或机组系统工作程序的控制

现代自动化机械的动作十分复杂，传统的控制系统是采用大量的继电器，装置笨重、可靠性差、耗能多。采用可编程序控制器或单片机系统可以方便地实现复杂的控制任务，并可明显地提高控制系统的智能化程度和可靠性，也可以提高系统的“结构柔性”。

3. 用微电子技术代替传统产品中机械部件完成的功能，简化产品的机械结构

例如采用电力电子技术代替机床的变速箱，用数控系统代替原来机械、液压的刀架驱动系统等。未来产品的结构应该是机械结构越来越简单，而电子系统越来越复杂。这样的结构具有较高的可靠性、维修方便、性能价格比高、便于组织社会化的大生产。

六、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是必要的。

七、符合工业工程要求

工业工程是对由人、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—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。

早期的工业工程主要是为提高效率、减低成本而采用以动作研究和时间研究为主的科学管理方法，并且主要是建立在定性和经验的基础上，研究的也只是作业现场较小范围。随着计算机、运筹学和系统工程等新兴科学技术的出现和应用，工业工程可以定量分析为主，研究整个大系统工作效率和成本的优化。

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装备的总体布局，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，保证产品正确的质量标准，减少因质量标准订得过高造成不必要的超额工作量。

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，合并和简化重复和繁琐的工作，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，以达到减少机器的空闲时间，提高工作的舒适性，减少工人的疲劳，重新组织一个效率更高的作业程序。

八、符合绿色工程要求

企业必须纠正不惜牺牲环境和消耗资源来增加产出的错误做法，使经济发展更少地依赖地球上的有限资源，而更多地与地球的承载能力达到有机的协调。这就是所谓的绿色工程要求。按绿色工程要求设计的产品称绿色产品。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连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

机械制造装备包括加工装备、工艺装备、仓储输送装备和辅助装备四大类。

一、加工装备

加工装备主要指机床。机床是制造机器的机器，也称工作母机，包括金属切削机床、特种加工机床、锻压机床和木工机床四大类。特种加工机床传统上归在金属切削机床类中。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。

（一）金属切削机床

金属切削机床是利用切削刀具与金属工件的相对运动，从工件上切去多余或预留的金属层，以获得符合规定尺寸、形状、精度和表面粗糙度要求的零件。

通用的金属切削机床按其切削方式可分为车床、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、切断机床和其它机床等。其它机床如锯床、键槽加工机床、珩磨研磨机床等。

专用机床是为特殊的工艺目的设计和制造的加工装备，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。

机床按其通用特征可分为高精度、精密、自动、半自动、数控、仿形、自动换刀、轻型、万能和简式机床等。

（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，可以全新的工艺方法，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，例如大面积镜面加工、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、水射流等加工机床。

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产生的电火花小电弧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电流，并浇上液体介质，使之产生放电腐蚀而进行切割加工。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，又称电化学加工。加工时，工件与工具分别接正负极，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型。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

在真空条件下，由阴极发射出的电子流被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，将其百分之九十九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、气化和蒸发，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，可进行镀膜和曝光，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。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,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。按成形方法的不同,锻造加工可分为手工锻造、自由锻造、胎模锻造、模型锻造和特种锻造等。按锻造温度不同,可分热锻、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、尺寸进行剪裁或塑性变形,得到要求的金属板制件。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,获得所需的金属制件。挤压时,坯料受三向压缩应力的作用,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,以获得所要求的截面形状并同时改变其性能。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、提高生产效率的重要手段。

(一) 刀具

切削加工时,从工件上切除多余材料所用的工具,称之为刀具。刀具的种类颇多,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、冷冲模具、锻压模具等。

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,将一种或多种金属或非金属粉末混合,放在粉末冶金模具的模腔内,加压成形,再烧结成制品。

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之为塑料模具。塑料模具有压塑模具、挤塑模具、注射模具和其它模具。其它模具如挤出成形模具、发泡成形模具、低发泡注射成形模具和吹塑模具等。

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粘流状态，在成型压力的作用下流动而充满型腔，经保压一段时间后，塑件逐渐硬化成形，然后开模和取出塑件。

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。成形及加料前先闭模，塑料先放在单独的加料室内预热成粘流状态，再在压力的作用下使融料通过模具的浇注系统，高速挤入型腔，然后硬化成型。

注射模具沿分型面分为定模和动模两部分。定模安装在注塑机的定模板上，动模则紧固在注射机的动模板上。工作时注射机推动模板与定模板紧密压紧，然而将料筒内已加热到熔融状态的塑料高压注入型腔，融料在模内冷却硬化到一定强度后，注射机将动模板与定模板沿分模面分开，即开启模具，将塑件顶出模外，获得塑料制件。

3. 压铸模具

熔融的金属在压铸机中以高压、高速射入压铸模具的型腔，并在压力下结晶成型。压铸件的尺寸精度高，表面光洁，主要用于制造有色金属件。

4. 冷冲模具

冷冲模具包括阴模和阳模两部分。在室温下借助阳模对金属板料施加外力，迫使材料按阴模型腔的形状、尺寸进行裁剪或塑性变形。进行冷冲加工所用的钢材应是含碳量较低的高塑性钢。

5. 锻压模具

锻压模具是锻造用模具的总称。按所使用的锻造设备的不同可分为锤锻模、机锻模、平锻模、辊锻模等。按使用目的不同可分为终成形模、预成形模、制坯模、冲孔模、切边模等。

（三）夹具

夹具是安装在机床上用于定位和夹紧工件的工艺装备，它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效率。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和夹具体构成。按夹具安装在什么机床上可分为车床夹具、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，可以将组合夹具拆散，按新的加工要求重新组装。它常用于新产品试制和单件小批生产中，可缩短生

产准备时间，减少专用夹具的品种和缩短试制周期。

（四）量具

量具是以固定形式复现量值的计量器具的总称。许多量具已商品化，如千分尺、千分表、量块等。有些量具尽管是专用的，但可以相互借用，不必重新设计与制造，如极限量块、样板等，设计产品时所取的尺寸和公差应尽可能借用量具库中已有的量具。有些则属于组合测量仪，基本是专用的，或只在较小的范围内通用。组合测量仪可同时对多个尺寸进行测量，将这些尺寸与允许值进行比较，通过显示装置指示是否合格；也可以通过测得的尺寸值计算出其它一些较难直接测量的几何参数，如圆度、垂直度等，并与相应的允许值进行比较。组合测量仪中通常有模数转换装置、微处理器和显示装置（如信号灯、显示屏幕等），测得的值经模数转换成数值量，由微处理器将测得的值作相应的处理，并与允许值进行比较，得出是否合格的结论，由显示装置将测量分析结果显示出来。也可按设定的多元联立方程组求出所需的几何参数，也与允许值进行比较，比较结果也在显示装置上显示出来。

三、仓储输送装备

仓储输送装备包括各级仓储、物料输送、机床上下料等，机器人可作为加工装备，如焊接机器人和喷漆机器人等，也可属于仓储输送装备，用于物料输送和机床上下料。

1. 仓储

仓储是用来存储原材料、外购器材、半成品、成品、工具、胎夹模具等，分别归厂或各车间管理。

现代化的仓储系统应有较高的机械化程度，采用计算机进行库存管理，以减少劳动强度，提高工作效率，配合生产管理信息系统，控制合理的库存量。

立体仓库是一种很有发展前途的仓储结构，具备很多优点，包括占地面积小而库存量大；便于实现全盘机械化和自动化；便于进行计算机库存管理等。

2. 物料输送装置

物料输送在这里主要指坯料、半成品或成品在车间内工作中心间的传输。采用的输送方法有各种输送装置和自动运输小车。

输送装置主要用于流水生产线或自动线中，有四种主要类型：由许多辊轴装在型钢台架上构成床形短距离滑道，由人工或靠工件自重实现输送；由刚性推杆推动工件作同步运动的步进式输送装置；带有抓取机构的、在两工位间输送工件的输送机械手；由连续运动的链条带动工件或随行夹具的非同步输送装置。用于自动线中的输送装置要求工作可靠、输送速度快、输送定位精度高、与自动线的工作协调等。

自动运输小车主要用于工作中心间工件的输送。与上述输送装置相比，具有较大的柔性，即可通过计算机控制，方便地改变工作中心间工件输送的路线，故较多地用于柔性制造系统中。自动运输小车按其运行的原理分有轨和无轨两大类。无轨运输小车的走向一般靠浅埋在地面下的制导电缆控制。在小车紧贴地面的底部装有接受天线，接收制导电缆的感应信息，不断判别和校正走向。

3. 机床上下料装置

专为机床将坯料送到加工位置的机构称上料装置；加工完毕后将制品从机床上取走的机构称下料装置。在大批量自动化生产中，为减轻工人体力劳动，缩短上下料时间，常采用机床上下料装置。

四、辅助装备

辅助装备包括清洗机、排屑和计量等设备。

清洗机是用来清洗工件表面尘屑油污的机械设备。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，加热到80~90℃，采用浸洗、喷洗、气相清洗和超声波清洗等方法。在自动装配线中，采用分槽多步式清洗生产线，完成工件的自动清洗。

排屑装置用于自动机床或自动线上，从加工区域将切屑清除，输送到机外或线外的集屑器内。清除切屑的装置常用离心力、压缩空气、电磁或真空、冷却液冲刷等方法；输屑装置则有平带式、螺旋式和刮板式多种。

习题与思考题

1. 为什么机械制造装备在国民经济发展中占有重要作用？
2. 机械制造装备与其它工业装备相比，特别强调应满足哪些要求，为什么？
3. 柔性化指的是什么？试分析组合机床、普通机床、数控机床、加工中心和柔性制造系统的柔性化程度。其柔性表现在哪里？
4. 机械制造装备的精密化越来越高，也就是说新造出来的机械制造装备要比制造它用的现有机械制造装备精度要高，如何解决用精密化较差的机械制造装备制造出精密化较高的机械制造装备来？
5. 我国人口多，劳动力资源比较丰富，目前尚有不少下岗人员没有安排工作，实现自动化与更多地提供就业机会之间是否存在矛盾，为什么？
6. 机械制造装备的机电一体化体现在哪些方面？可获得什么好处？
7. 工业工程指的是什么？如何在设计机械制造装备时体现工业工程的要求？