

高等学校试用教材

# 机械加工系统自动化

东南大学 昊天林 主编  
华中理工大学 段正澄

机械工业出版社

高等学校试用教材

# 机械加工系统自动化

东南大学 吴天林 主编  
华中理工大学 段正澄



机械工业出版社

(京)新登字054号

本书对机械加工系统的自动化作了系统的阐述,讨论了机械加工自动化的一些基本问题和各种产量条件下的机械加工系统的自动化,其中包括工具与物料储运、检测与监控以及控制等子系统。最后介绍柔性制造系统的规划设计和仿真。

本书为高等学校机械制造专业的教材,也可供从事有关工作的技术人员参考。

### 机械加工系统自动化

东南大学 吴天林 主编  
华中理工大学 段正澄

\*  
责任编辑:林松 责任校对:孙志筠  
封面设计:郭景云 版式设计:霍永明  
责任印制:王国光

\*  
机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)  
(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)  
机械工业出版社京丰印刷厂印刷  
新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*  
开本 787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·印张13<sup>3</sup>/<sub>4</sub>·字数337千字  
1992年10月北京第1版·1992年10月北京第1次印刷  
印数0 001—2 200·定价:4.00元

\*  
ISBN 7-111-03245-4/TH·357(课)



## 前 言

本书是根据全国高等工业学校机械制造专业教材编审委员会制订的教学计划和大纲编写的。书中阐述了机械加工系统自动化的有关问题，增加了中小批量生产中的机械加工系统自动化。它适用于高等工科院校机械制造专业的高年级学生。

本书不讨论装配自动化和上料自动化两部分内容。单机自动化和成品检验内容也只做少量阐述。因为就目前情况来看，《机械工程手册》已提供了相当的资料。但加强了中小批量生产的机械加工系统自动化、工具系统和物料储运系统、在线检测与监控、计算机控制系统等内容。最后增加柔性制造系统的规划设计和仿真一章，为设计柔性制造系统，选择最佳结构和最佳参数提供了正确的方法。

参加本书编写的有吴天林(绪论、第一章)、段正澄(第二章)、吴锡英(第三、六章)、何作民(第四、五章)、吴锡英、钟秉林(第六章)、周祖德(第七章)邓子琼(第八章)。全书由吴天林、段正澄担任主编，李德庆为主审。

在本书编写过程中，得到机械工业部机械制造教材编审委员会以及东南大学、合肥工业大学、华中理工大学有关系和教研组的指导和支持，对此表示由衷的感谢。此外，**刘禹臣**同志在编写过程初期曾参加部分工作，谨以此书的出版表示志念。

由于编者学识不足，水平有限，本书难免有不少缺点和错误，恳请希望读者指正。

编 者

91. 12

# 目 录

<p><b>绪论</b>..... 1</p> <p>    §0-1 机械加工自动化的发展过程、现状和趋势..... 1</p> <p>    §0-2 机械加工自动化的途径和效益..... 6</p> <p><b>第一章 机械加工系统自动化的基本问题</b>..... 8</p> <p>    §1-1 机械加工系统的基本概念..... 8</p> <p>    §1-2 成组技术与机械加工自动化..... 11</p> <p>    §1-3 加工精度与影响因素的关系..... 11</p> <p>    §1-4 机械加工工序的最佳化..... 17</p> <p>    §1-5 机械加工工艺路线的最佳化..... 21</p> <p>    §1-6 机械加工生产率分析..... 23</p> <p>    §1-7 技术经济分析..... 25</p> <p>    §1-8 机械加工系统的可靠性..... 26</p> <p><b>第二章 大批量生产机械加工系统的自动化</b>..... 30</p> <p>    §2-1 方式和等级..... 30</p> <p>    §2-2 单机自动化..... 30</p> <p>    §2-3 机械加工自动线的结构和组成..... 34</p> <p>    §2-4 机械加工自动线的类型..... 37</p> <p>    §2-5 典型的机械加工自动线..... 38</p> <p>    §2-6 自动线的总体设计..... 43</p> <p>    §2-7 自动线的主要发展趋势..... 64</p> <p><b>第三章 中小批量生产机械加工系统自动化</b>..... 71</p> <p>    §3-1 概述..... 71</p> <p>    §3-2 计算机数控加工设备..... 72</p> <p>    §3-3 柔性制造单元..... 79</p> <p>    §3-4 柔性制造系统..... 80</p> <p>    §3-5 柔性自动线..... 87</p> <p>    §3-6 计算机集成制造系统..... 88</p> <p><b>第四章 工具系统</b>..... 94</p> <p>    §4-1 概述..... 94</p>	<p>    §4-2 刀具系统..... 95</p> <p>    §4-3 夹具系统..... 105</p> <p><b>第五章 物料运储系统</b>..... 115</p> <p>    §5-1 工件运储系统..... 115</p> <p>    §5-2 自动化输送设备..... 126</p> <p>    §5-3 刀具运送系统和切屑处理..... 150</p> <p><b>第六章 自动检测与监控系统</b>..... 154</p> <p>    §6-1 概述..... 154</p> <p>    §6-2 工件尺寸精度的检测与控制..... 158</p> <p>    §6-3 刀具磨损和破损的检测与监控..... 163</p> <p>    §6-4 自动检测与监控系统的经济性分析..... 168</p> <p><b>第七章 机械加工系统的自动化控制系统</b>..... 170</p> <p>    §7-1 概述..... 170</p> <p>    §7-2 顺序控制系统..... 171</p> <p>    §7-3 计算机数字控制系统..... 175</p> <p>    §7-4 自适应控制系统..... 183</p> <p>    §7-5 DNC控制系统..... 186</p> <p>    §7-6 多级分布式计算机控制系统..... 188</p> <p><b>第八章 柔性制造系统的规划设计 and 仿真</b>..... 193</p> <p>    §8-1 柔性制造系统的分层规划设计方法..... 193</p> <p>    §8-2 系统仿真的基本概念..... 198</p> <p>    §8-3 利用活动循环图和ECSL语言的离散事件系统仿真..... 201</p> <p>    §8-4 利用流程图和GPSS语言的离散事件系统仿真..... 210</p> <p><b>主要参考文献</b>..... 215</p>
--	--

## 绪 论

众所周知，机械制造业是一切工业的基础，它要为工农业生产等各个部门提供先进的技术装备。因此机械制造业的发展对四个现代化的实现起着极其重要的作用。显而易见，机械制造业本身就要有更高一些的增长速度才能满足国民经济各部门发展的要求。另一方面，在技术上也必须超前发展才有可能为其它部门提供先进的新技术装备。也就是说，机械制造业的高技术开发应用应有一个超前期。

因此，机械制造业的高度自动化不仅是它本身实现现代化的重要标志之一，同时又是为实现四个现代化，适应上述迅速增长的要求而在技术上必须超前的必然结果。

另外，据工业生产统计，本世纪初劳动生产率的提高，只有5%~10%是依靠新的科技成果取得的。而到70年代末，就有60%~80%是依靠新的科技成果取得的。在美国，据布鲁金斯研究所1974年发表的调查报告指出，美国技术革新是影响工业生产率的最主要因素，估计约占生产率增益的一半左右。在苏联，从第二次世界大战到50年代，其经济增长主要靠经济积累和充足的劳动力。但到70年代，其经济增长中，有80%~90%是靠生产率的提高。而生产率的提高有70%~75%是由于技术进步。也就是说，生产增长有60%~70%是由技术进步取得的。这充分说明高技术的开发应用对国民经济的增长有极其重大的意义。

机械加工系统的自动化是体现机械制造工业中最新技术进步的一个方面。

### §0-1 机械加工自动化的发展过程、现状和趋势

#### 一、发展过程和现状

纵观机械制造业的发展过程表明，新技术、新工艺、新材料和新设备几乎是同步发展的。它们是互为条件又互相促进的。机械制造业的进展就是这四个方面综合发展的结果。

由图0-1材料和制造精度的发展过程，可以看出，蒸汽动力的发现，正是由于具备铸铁和低碳钢的条件，有加工精度为1mm的镗床的工艺手段，才使蒸汽机的创造成为现实。从而导致了史无前例的工业大革命。

随后，由于合金钢、铝合金、钛合金、复合材料、精密陶瓷及其它新材料的出现。使从1775年以后的200年中，材料强度提高了10倍，而硬度、耐磨性、耐蚀性、耐热性等性能提高得更多。其中作为刀具的材料也相应地随着发展，使难加工材料的切削成为可能。加工工艺和测试技术的发展，本世纪40年代光学比较仪的出现，使加工精度从1mm提高到1 $\mu$ m。60年代出现的Talyrond圆度仪可测到0.1 $\mu$ m。近年来，在大规模集成电路中精度已达到0.0025 $\mu$ m。在此期间，出现了喷气推进和人造卫星等新成就。最近以来由于电子技术、信息技术和计算技术的突飞猛进，电子计算机的出现，及其在机械制造中的应用，使机械制造自动化进入了划时代的新纪元。

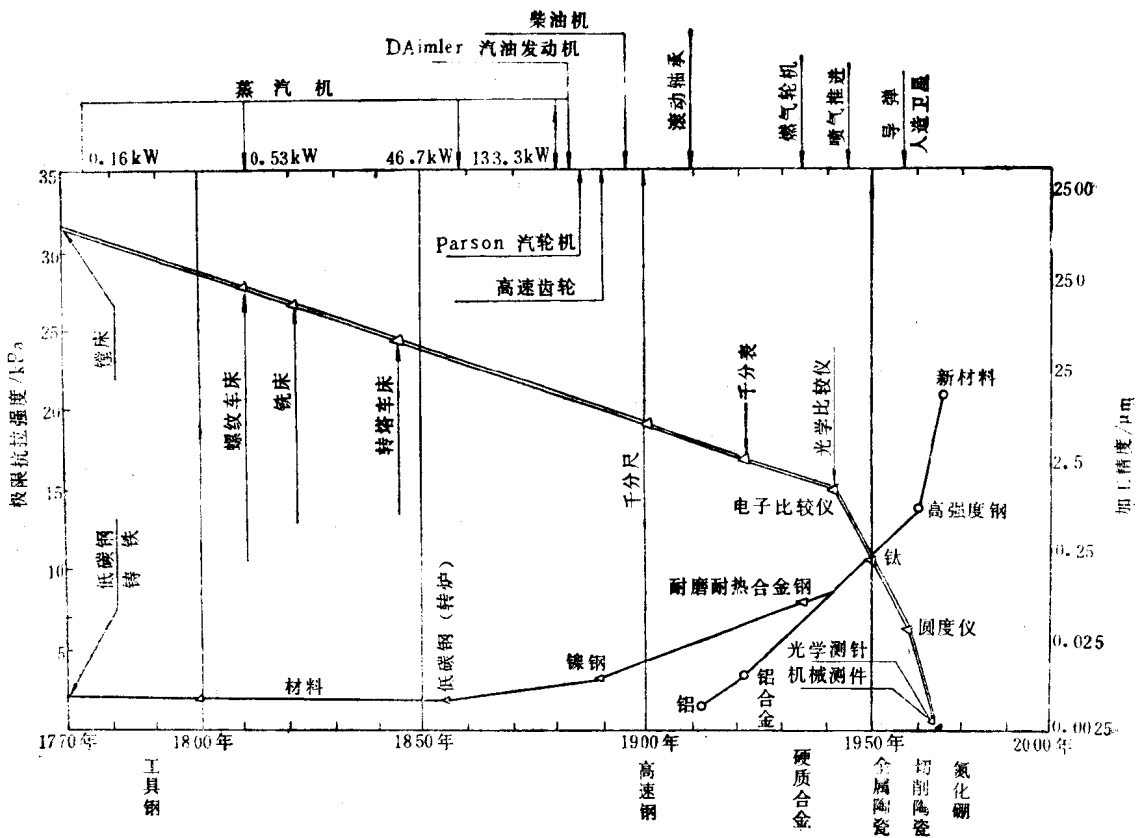


图0-1 材料、制造精度和产品的发展

机械制造自动化的发展过程简述如下：

- 1870年 自动制螺丝机
- 1895年 多轴自动车床
- 1924年 机械加工自动线
- 1935年 汽车发动机气缸体加工自动线
- 1946年 成组加工工艺
- 1947年 底特律机械加工自动线
- 1950年 汽车活塞自动化工厂
- 1952年 数控铣床
- 1954年 自动操作器
- 1958年 加工中心
- 1959年 Unimate极坐标式工业机器人
- 1960年 适应控制铣床
- 1961年 制造碳电阻的计算机控制自动化
- 1962年 圆柱坐标式Versatran工业机器人
- 1963年 计算机辅助设计(CAD)绘图

- 美国
- 美国
- 英国
- 苏联
- 苏联
- 美国
- 苏联
- 美国
- 美国
- 美国
- 美国
- 美国
- 美国
- 美国
- 美国

1965年 计算机数控(CNC)机床

美国

1968年 群控系统(DNC)在几个国家相继都有出现,如英国、美国、日本等国家都在此期间分别建立起各自的DNC系统。

1970年, 工业机器人操作的焊接自动线

美国

1975~1976年间,工业机器人发展很快,其中以日本最为突出。工业机器人广泛应用于装配、机床间搬运工件、上下料、更换刀具和操作机床以及不少热加工工序和对人体有害条件下的作业。到1984年光是日本就拥有工业机器人16500台。定位精度和重复精度都为0.05mm,举重能力达 $78.5 \times 10^3 \text{MN}$ 。目前已经出现移动式 and 能上下台阶的机器人以及具有触觉、视觉和能声控的机器人。也已经有了具有简单逻辑判断能力的智能机器人。

在此条件下,70年代初出现了柔性制造单元(FMC),并由此组成柔性制造系统(FMS)。柔性制造系统发展很快,至80年代初期已不少于150个,到1986年,世界各国已投入运行的约有400个。在美国,多数柔性制造系统用于汽车、航空航天、工程和农业机械以及机床工业。系统的规模较大,柔性较小。在日本,约有75%的柔性制造系统用于箱体类零件的加工,主要加工对象为柴油机、传动箱和机床零件,系统规模大小不一。德国的柔性制造系统,主要用于中等规模的企业,其特点是系统的规模较小,不超过4~6台机床,柔性较大。目前在柔性制造系统中,已具有可换刀库和向中心刀库换取刀具的移动式刀库。在零件输送过程中利用摄像仪,并通过影像处理系统新技术来识别零件。在零件加工质量自动检测中发展了视觉系统。在日本大阪机工公司则出现把刀库装在工件托盘交换装置上既可传递工件又可供应刀具的柔性制造系统。

1980年日本建成多品种小批量生产的无人化机械制造厂——富士工厂。从毛坯外购件入库、搬运、加工、成品入库等除装配以外完全自动化。80年代初期还着手搞了一个由机器人进行装配的全自动化电机制造厂和一个规模庞大的利用激光加工的综合柔性制造系统。

我国第一条机械加工自动线于1956年投入使用,是用来加工汽车发动机气缸体端面孔的组合机床自动线。第一条加工环套类的自动线是1959年建成的加工轴承内外环的自动线,第一条加工轴类零件的自动线是1969年建成的加工电机转子轴的自动线。1964年以后不到10年时间已为第二汽车制造厂提供了57条自动线和8000多台自动化设备。据1980年对一机、农机系统拥有的机械加工自动线的调查报告指出,在所调查的266条自动线中,组合机床自动线占64.2%,用其它机床联线的占35.8%。从加工零件的类型来看,加工箱体零件的自动线占35.3%,加工轴类零件的占15.4%,加工套盘类零件的占11.7%,加工杂类零件的占37.6%。自从自动更换主轴箱的组合机床自动线出现后,自动线已从加工单一产品向加工多种产品发展,这表明刚性联接的自动线向柔性发展的趋势。

我国数控机床以1958年研制成功的数控立式铣床为开端。1973年起集中力量研制数控机床和加工中心。目前不少工厂已有这类产品并已在用户厂推广使用,远销国外。

多工位自动更换主轴箱的数控加工中心和计算机数控(CNC)机床已成功地投入使用。到1985年底,我国数控机床品种累计已达50余种。

我国在1984年研制成两个柔性制造单元。第一个柔性制造系统于1986年10月投入运行,用于加工伺服电机零件。1987年后又从国外引进4个柔性制造系统正在工厂顺利运行。目前正在规划和建造新的柔性制造系统,已开始从引进过渡到自行开发、设计和制造。

工业机器人的研究始于70年代初,到1983年前估计用于生产的有30余台。近年来,我国



机器人技术发展很快,已研制成功喷漆、焊接、搬运的工业机器人。80年代末展览过能前后左右步行,能上下台阶以及水上作业和 underwater 作业的机器人。1990年建立了机器人工程示范基地,将促使机器人技术的加速发展。

计算机辅助生产管理(CAPM)的研究开发工作,在80年代发展较快。如长春第一汽车制造厂于1985年建立了全厂的计算机辅助经营管理系统,效果明显,单就减少在制品储备一项,即可减少资金占用13.6%。

计算机集成制造系统(CIMS),也就是制造系统全盘柔性自动化,正在开发研制之中。1990年国家科委已批准将在全国四个机械制造厂首先试点运用,预计在本世纪内将可建成。图0-2表示本世纪以来自动化设备的发展和预测简图,横坐标为年份,纵坐标为相对产量。

应当指出,近代机械制造业有下列一些特点。首先是机械制造劳动量发生了变化。如图0-3所示,它是在大批量生产条件下,在 $t$ 期间,机械制造主要阶段劳动量 $T$ 的总的变化特性。

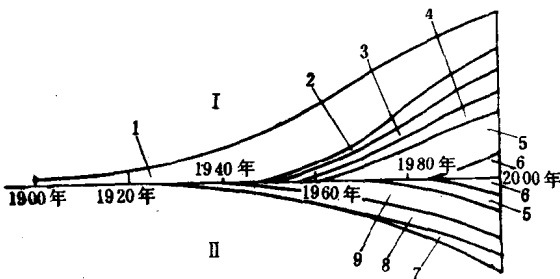


图0-2 自动化设备的发展

区域 I —— 单件小批生产 区域 II —— 大批大量生产  
 1—通用机床 2—成组加工 3—数控机床 4—加工中心  
 5—数控机床系统 6—电子计算机控制的自动化生产  
 7—标准化和规格化工件的集中生产 8—大量流水生产 9—自动线

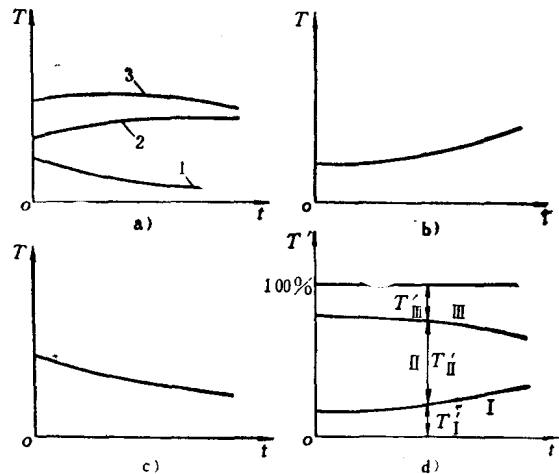


图0-3 近代机械制造劳动量特性

其中图0-3a表示机械加工劳动量 $T$ 的变化。曲线1表示预加工劳动量的减少倾向,这是由于毛坯精度提高的结果。曲线2表示由于机械制造精度不断提高的结果,光整加工的劳动量增加了。曲线3表示机械加工总劳动量的变化。

图0-3b表示毛坯制造劳动量的变化特性。毛坯制造劳动量的增加,是由于毛坯精度提高,其形状日益接近于成品零件的形状所致。

图0-3c的曲线表示装配时减少了修配作业,增加了按完全互换法原理实现的连接而使装配劳动量日益减少。

图0-3d表示毛坯准备 $T_I'$ (区域 I)、机械加工 $T_{II}'$ (区域 II)和装配 $T_{III}'$ (区域 III)相对劳动量的变化情况。从图中可以看出:毛坯制造劳动量比重在增加,机械加工劳动量比重在减少,装配劳动量比重稍有减少。这是因为装配的绝对劳动量减少速度比机械加工绝对劳动量减少速度慢的结果。可以看出,在不远的将来,机械制造中机械加工和装配的劳动量虽仍保持较大的比重,但总的趋势是在逐渐减少,而机械加工劳动量的比重将明显减少。这是因为现代化加工工艺、新型加工设备和加工系统发展很快,而装配作业的机械化和自动化水平还比较低。装配中采用机械化设备的工序数量平均为30%,采用自动化设备的工序数量约为

5%。其原因有工艺上、结构上和组织方面的困难。并且工业上到现在用于自动化装配的设备还必须针对每一具体情况单独地设计制造，这就导致劳动量增大使生产准备时间拉长。因此，特别在小量生产条件下，往往不能降低生产成本。

近代机械制造还有另一个特点是，由于对产品的品种和性能有不断提高的要求。因而产品品种日益增多，更新周期越来越短，从而使多品种小批量生产方式占有较大的比重。据国际生产与研究工程协会(CIRP)对欧美等工业国家的调查，就机械制造业产品的品种数而言，单件生产占35%左右，小批生产占50%左右，大批大量生产只分别占10%和5%左右。就其产值来看，单件小批生产的产值约占全行业的60%，而大批大量生产的产值只占40%(图0-4)。

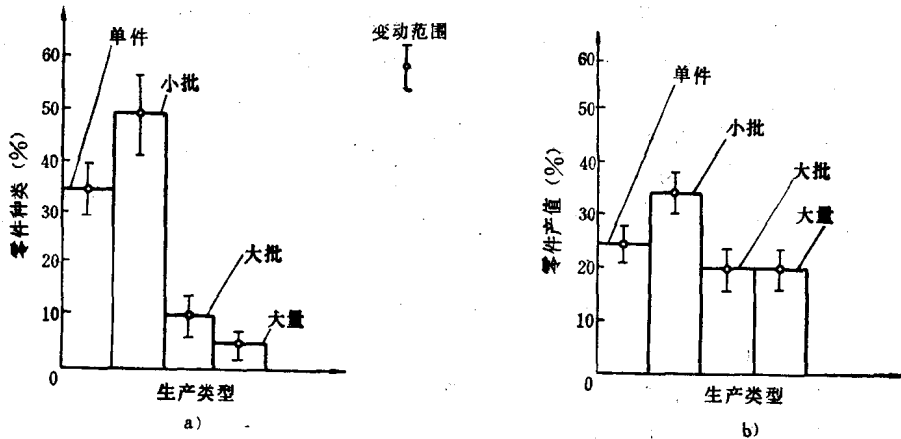


图0-4 生产类型按产品品种数和产值的分布

另外，在多品种小批量生产中，如图0-5所示，材料和零件在车间的总时间中，有95%的时间用于运输、存放和等待加工。在机床上的时间只有5%。而在这5%的时间中，又只有30%的时间在进行切削，其余70%的时间又消耗于定位、装夹和测量的辅助动作上。所以在小批生产中，零件在车间的生产周期中实际只有1.5%是有效的切削时间。因此，在小批生产中开展机械加工自动化(包括生产调度)以提高劳动生产率就成为十分迫切的问题。

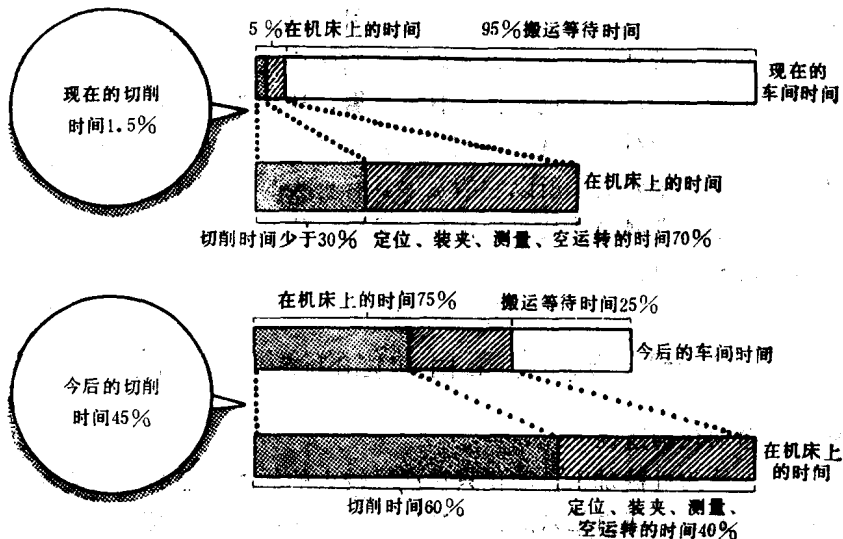


图0-5 小批生产中零件制造过程的时间分配

## 二、发展趋势

综上所述,可以看出机械加工自动化将在小批量生产中有更大的发展前景。

目前,计算机数控机床在工业化国家已很普遍。进入90年代趋于多功能化并将有半数可以用来组成柔性制造系统。直接数字控制将不断消退。原来只适用于单一产品的刚性连接自动线也逐渐柔性化而出现柔性制造线(FML)。

柔性制造系统在技术上已渐趋成熟,系统功能齐全,可靠性良好,已进入商品化时代。今后趋于模块化和标准化。计算机辅助设计/计算机辅助制造(CAD/CAM)系统也将进行标准化,以便以更快的速度推进可靠的柔性生产。

前面已经介绍过,柔性制造系统中刀具的存放、配置、交换和输送,即所谓刀具流正日趋复杂。刀具流是影响柔性的主要因素。而有关刀具流的管理决策理论和控制软件的开发是近期需要解决的问题。

计算机辅助设计/计算机辅助制造将与柔性制造系统集成起来。如果再建立一个计算机控制经营管理系统,依靠支撑环节把它们全部集成起来成为计算机集成制造系统(CIMS),就可使整个生产系统全盘自动化而形成工厂自动化(FA)。全盘自动化工厂目前尚处于研制阶段,本世纪内还不会广泛发展。

由于传感器的发展,使工业机器人成为机械制造和其它有关领域中发展最快的部分。今后的发展是创造智能机器人。人可以用特殊的语言(计算机语言甚至口语)对它下命令布置任务。今后的智能机器人可根据现场环境的各种条件或信息,独立地分析和判断,并自编或自变程序进行工作,能自找物件方位、自调握力大小、自找传送路线避开障碍等。

机械加工系统的工况检测和监控对工件的加工质量和加工过程的稳定性有重大的作用。这是目前需要进一步研制和开发的关键技术。其中,特别是新传感器的研制及其可靠性的提高更具有极其重要的意义。

应当注意,除金属材料之外,还有陶瓷材料、工程塑料和复合材料的发展,以及精密铸造、精密锻造、模压、冲压、烧结、注塑成形等加工方法取得的成就,使许多机器零件将利用模具制造直接形成,而不必机械加工,从而使生产率成百上千倍地提高。且在节约材料,节省能源等方面都有极大的实际意义。更何况用这类材料制造的零件又具有优越的物理力学性能,就以陶瓷材料来说,就具有高强度、高硬度、高耐磨性、高耐蚀性,还能耐高温和抗热振。可是为了适应市场销售,产品更新换代日益频繁,这就要求不断更新模具,而造成实际上的困难。计算机辅助设计/计算机辅助制造模具技术的开发和应用,可以高精度高效率地制造模具,从而解决了这个矛盾。所以它的发展具有更大的经济效益和广阔前途。

机械加工自动化总的发展趋势是柔性化和集成化,使加工系统能顺应产品更新换代加快的要求和取得最高的整体效益。

## §0-2 机械加工自动化的途径和效益

### 一、机械加工自动化的途径

早先,大多数人认为机械加工自动化只在产量较大的同类产品的连续流水作业的大量生产中才是合理的可行的。其理由是只能在产品生产纲领大,生产期限长的条件下,才能使复杂的自动化设备物质消耗和很长的生产准备期正确合理。目前,也多半在产量较大的条

件下，采用机械加工自动化可取得较好的经济效益。但要创造这样的条件，应力求扩大产品的统一化、规格化和标准化来扩大产量和加长生产期。这是发展生产自动化重要措施之一。并且为企业进行专业化生产创造了条件。在产品标准化、统一化和专业化生产的情况下，产量可望增加20%~40%。

大量生产中自动化的基础是工艺过程的严格流水性，从而可以建立自动线。

大约有70%的产品是成批生产的。因此，在成批生产中开展自动化有着重大的意义。成组加工技术和成组装配是成批生产的基础，需要按工艺过程典型化原则建立由快速重新调整的设备组成的成组工段或流水线。柔性制造系统能最满意地实现成组自动化。

单件小批生产的自动化也极为重要。对于形状复杂的表面，数量较多的坐标位置孔和工步较多的工件采用数控机床或加工中心可取得极好的效果。

图0-6表示在多品种和不同产量条件下，各种自动化设备的适用范围。

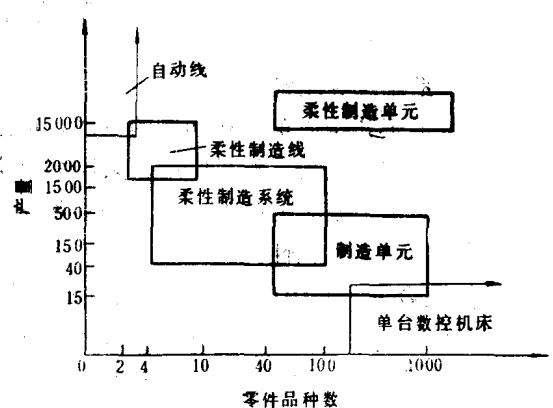


图0-6 自动化设备的适用范围

**二、机械加工自动化的效益**

机械加工自动化的效益主要是：提高设备的生产率；降低产品的成本；改进产品的质量；减少大量的工人；减少生产面积；根本上改善劳动条件。

设备生产率的提高主要是加工时间或辅助时间显著减少的结果。同时也由于换刀和重新调整设备的改进所取得的。降低产品成本除了由于产品废品率的降低和设备生产率提高之外，还由于中间储备减少，输送路线简化和缩短，以及由于工人减少，厂房面积减少和生产调度简化的结果。

机械加工自动化能提高产品质量是由于减少和排除了人为因素的影响。在自动化条件下，工人的技术水平不影响加工表面的精度、粗糙度和其它质量参数，但产品质量决定于调整工的技术水平。在采用积极检验和加工精度自动监控装备时，能保证精度，减少废品。有时所要求的质量还只能在自动化的条件下才能保证。例如，在制造与装配真空仪表和电子器件时，往往不许手工加工和装配，以免有害于真空卫生和污染电子器件。

自动化的发展减少了大量的工人，因为采用自动和半自动设备时，可以实现多机床管理。采用自动线和柔性制造系统时，往往只需要监控人员。至于无人化车间和工厂的建立几乎不需要直接生产的工人。

生产面积的减少是由于工艺过程集中构成的结果。使一台机床能同时完成好几个工步或工序。同时也由于设备布置大大紧凑的缘故。

自动化改善了劳动条件，减少了生产伤害。工人可以不在有灰尘、有毒气体、存在振动和高温等环境中工作。工人可以从繁重工序和单调枯燥的重复动作中解放出来。即人类完全脱离有害的生产区域。有的必须在高压(如深水作业)、真空、放射线存在的环境中进行的作业，可用自动化装置(如机械手或工业机器人)来进行。

此外，生产自动化促使从业人员要有高的文化技术水平。有时甚至要有受过高等教育的专家的技术水平。因此，就不存在脑力劳动和体力劳动的差别。

# 第一章 机械加工系统自动化的基本问题

## §1-1 机械加工系统的基本概念

### 一、系统及其属性

系统由于其构成单元和功能的不同，可以有多种定义。较普遍的定义是：系统是由两个或两个以上相互依赖、相互作用、共同配合实现预定功能的各单元组成的有机集合体。例如，简单的加工系统是由机床、工夹具和操作人员组成的。

系统具有下列属性：

1) 集合性 系统由若干个单元组成。广泛地说，单元可以是实体，也可以是概念，可以是天然的，也可以是人工的(如元件、部件要素、子系统等)，如上述的机床、工夹具等。

2) 关联性 若干单元集合在一起只是一个“群体”或“集体”。要使这种群体或集体够条件成为系统，则单元间必须存在相互关联或相互影响。可以是物理关系、逻辑关系或法定关系。可以表现为某个子系统从另一子系统接受输入，而其输出又往往是别的子系统的输入。

3) 目的性 一个实际系统作为一个整体对单一或多个对象履行某种功能或某种目的并力求这些对象达到最高的水平，即最佳化。这就是目的性。例如，制造系统把价值赋予原料而得到尽可能高的使用性能的对象时，它就履行了把生产因素转换成产品的功能，而尽可能提高产品使用性能就是系统寻求的目标，即最佳化。

4) 环境适应性 任何系统都有一定的边界和环境，与外部环境有一定的联系和相互作用。它在运行时(物料与/或能量与/或信息的接受与发送)应能适应环境的变化，外部环境能影响系统或反过来系统影响环境。一个能自行控制使其在外部环境变化时始终处于最佳状态的系统称为适应性系统。外部环境及其影响是经常变化的，系统必须进行动态调节以适应环境的变化，即系统具有动态适应性。例如下面的生产系统，能在严峻的环境条件下(如竞争者、市场、社会、经济、政治和国际形势等)作出决策，以适应市场的潜在需求。

### 二、生产系统的基本概念

机械制造厂作为一个生产单位，它的生产活动不仅是把原材料经过毛坯制造、机械加工、装配、油漆、试车、包装、运输和保管以及经营管理生产调度等内容，还应当把收集和剖析国际国内市场动态、技术情报、经济政策、环境保护、社会问题等包括进去。

图1-1所示为整个工厂的生产过程的流程图。通常称它为生产系统。短划线框外表示生产环境。整个系统分成三级：决策级、计划管理级和生产技术级。决策级为系统的最高层次。工厂领导根据国家的经济政策、资源和能源情况、环境保护、市场动态和数据库中有关信息资料，制定工厂总的生产纲领，即确定产品类型及其规模。同时制定总的经济政策。在计划管理级中，有关部门根据上级指示，结合市场信息和技术部门及数据库提供的信息，确定各种产品的产量并制订全厂的生产计划。在生产技术级中包括三个子系统：开发和设计子

系统负责发展和改进产品，并进行产品设计和提供产品图样；工艺和调度子系统负责制定生产用工艺文件和作业计划；制造子系统根据工艺和调度子系统输出的信息，对输入的原材料进行加工、装配、油漆、包装。最后经成品验收输出产品，供应用户。各子系统在生产和研究中的成果和产品性能测试结果，都不断地存入数据库，以便今后调用，使生产系统在更为科学的基础上进行工作。

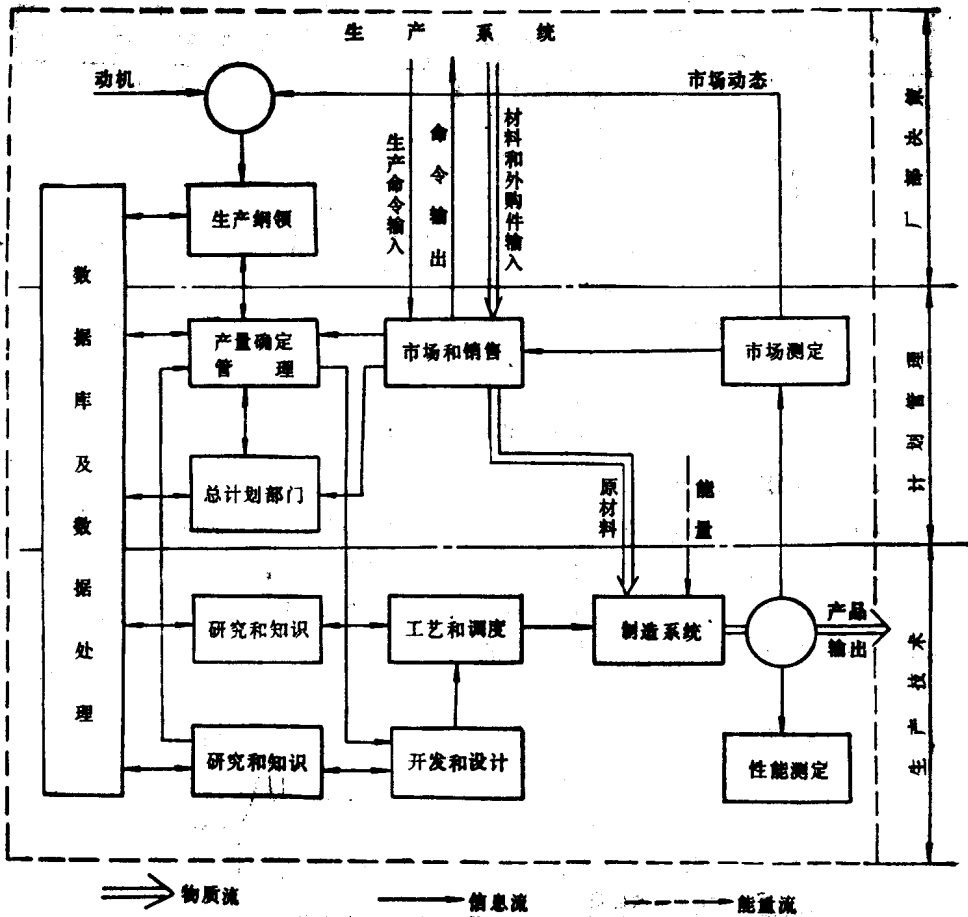


图1-1 生产系统图

### 三、机械制造系统的基本概念

制造系统是生产系统的一个组成部分，包括机床上的机械加工和物料的储存、运输、检验和计划调度等工作。图1-2表示机械制造系统中，各组成部分及其相互间的关系。

图中把毛坯、刀具、夹具、量具及其它辅助物料作为原材料输入，经过存储、运输、加工、检验等环节，最后以成品输出。这个流程是物质的流动，称为物质流。加工任务、加工顺序、加工方法以及物流要求等所确定的作业计划、调度、管理属于信息范畴，称为信息流。制造过程中的能量消耗及其流程称为能量流。

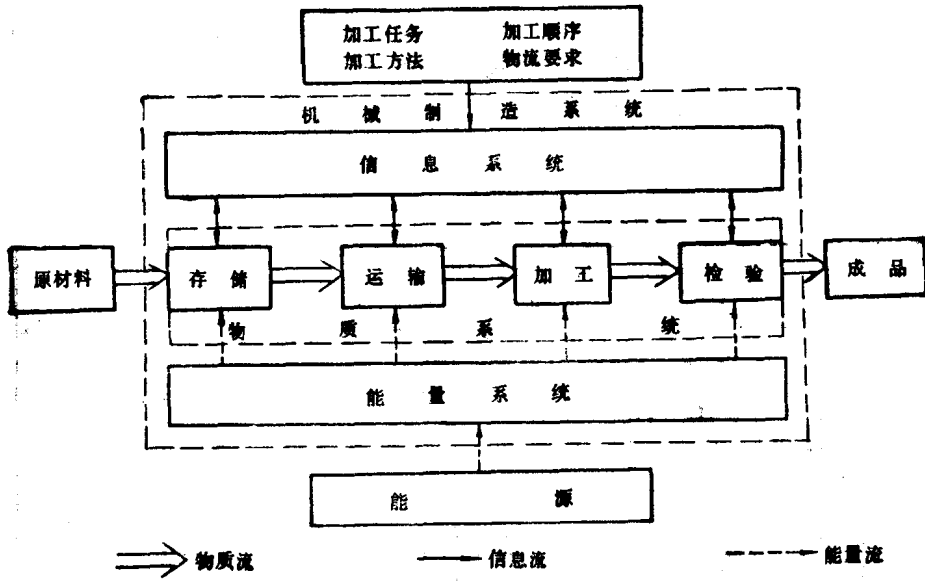


图1-2 机械制造系统图

**四、单级制造系统的概念**

图1-3所示为表示加工过程(如车削)的一个单级的基础制造系统的组成部分。输入的是一个有一定几何外形(尺寸、形状)精度和表面粗糙度以及材料性质的毛坯。刀具和工件之间的相对位置、切削速度、进给量和完成切削所需的能量则由机床提供或保证。最后加工出符合要求的工件几何形状、精度和表面粗糙度的工件。

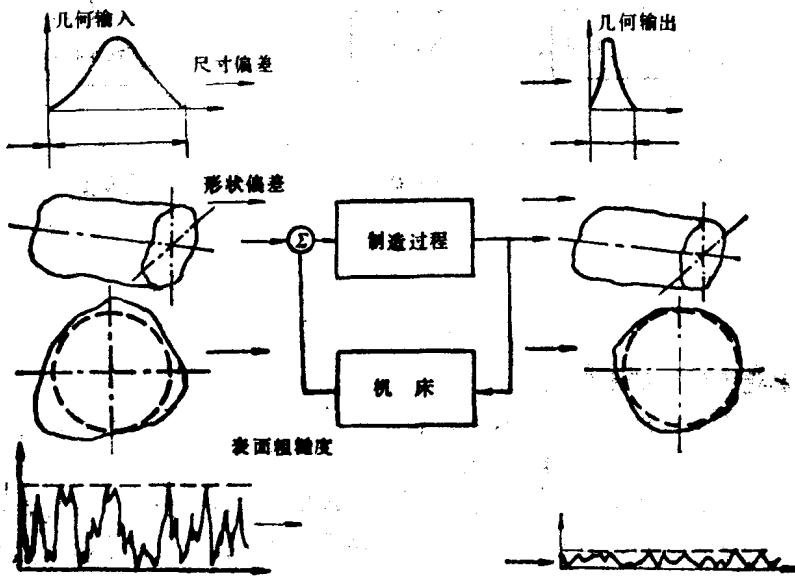


图1-3 单级制造系统

## §1-2 成组技术与机械加工自动化

前面已经指出,在大批大量生产条件下实现机械加工自动化,才能在提高生产率的同时取得显著的经济效果。在比重很大的中小批量生产中,除了在生产中贯彻产品统一化、标准化及采用专业化生产来扩大产量外,成组技术的发展为多品种小批量生产创造了大批量生产的条件。

成组技术的先决条件是把形状、尺寸和工艺特性相似的零件组合在一起进行加工,也就是说按一组零件的总批量来组织生产而不是按一种零件的批量,因而显著提高了生产规模。零件的工艺相似性包括装夹、工艺过程和测量方面的相似性。

在上述条件下,零件加工就可以采用该组零件的典型工艺过程、成组可调工艺装备(刀具、夹具和量具)来进行。不必设计单独零件的工艺过程和专用工艺装备。从而显著减少了生产准备时间和准备费用,也减少了重新调整时间。

采用成组技术不仅可使工件按流水作业方式生产,工位间的材料运输和等待的时间以及费用都可以减少,并且简化了计划调度工作。

在流水生产条件下,显然易于实现自动化,从而提高了生产率,降低了成本。

必须指出,在成组加工条件下,形状、尺寸及工艺路线相似的零件,合在一组在同一批中制造,有时候会出现某些零件会早于或迟于计划日期完成,从而使零件库存费用增加。但这个缺点,在制成全部成品时,就可能排除。

零件的分类编码系统在实施成组技术的效果中起着重大的作用。

按相似性原则进行零件编码。把零件按类型(功能名称,如轴套、法兰、齿轮等)、精度,用最佳公比的尺寸系列编制成组零件设计图册。在设计新产品时,根据零件编码便可找出所需的相似或完全相同的零件,因而大大减少了设计工作量。

成组技术不仅适用于零件的设计和制造,也适用于生产计划的制订,如最佳的机床负荷和调度等。它也是生产管理中强有力的工具。

综上所述,可见成组技术对实施机械加工自动化有着极其重大的意义。它是计算机辅助制造的基础。据国际生产技术研究会(CIRP)预测到90年代世界各国将有75%的机械制造业采用成组技术进行生产。

## §1-3 加工精度与影响因素的关系

要保证加工过程以最佳状态运行,必须知道联系影响因素和基本误差的关系。

加工精度由总误差——决定于加工尺寸的分散带来确定。在规定切削用量、刀具几何形状时,在选择机床类型、刀具材料和其它条件时,必须力求使总误差 $\Delta$ 小于加工公差 $\sigma$ 。

由一系列因素共同影响所产生的总误差包括下列基本误差:

- 1) 由刀具尺寸磨损所产生的加工误差 $\Delta_{m_1}$ 。
- 2) 由工艺系统热变形所引起的加工误差 $\Delta_{m_2}$ 。
- 3) 由机床几何形状不准确所引起的加工误差 $\Delta_{m_3}$ 。
- 4) 在变载荷和系统变刚度影响下,由系统弹性变形的变化结果所引起的加工误差 $\Delta_{m_4}$ 。



5) 毛坯在夹具中的安装误差 $\Delta_{i_0}$ 。

6) 毛坯给定尺寸的调整误差 $\Delta_{i_1}$ 。

这些误差彼此无关, 总误差则应按具体情况由工序的构成条件确定。误差 $\Delta_{m_0}$ 、 $\Delta_{i_0}$ 、 $\Delta_{i_1}$ 是按各自的规律变化的系统性基本误差。误差 $\Delta_{i_0}$ 由完工尺寸的极限值之差来确定。对所取的具体条件而言是一个完全确定的数值。但对每一个单独毛坯来说, 由于余量、材料硬度变化、刀具钝化等原因, 加工尺寸的即时数值都是偶然性数值。误差 $\Delta_{i_1}$ 有类似的性质, 对具体条件而言, 它是一个不变量——安装基准极限位置间的距离。但是由于定位、夹紧、夹具元件的制造和磨损等误差, 安装基准的位置对某一单独毛坯来说却是偶然性的。而误差 $\Delta_{i_1}$ 针对所选定的加工方法有确定的数值。但由于刀具位置的调节误差和调整时的度量误差, 对每批毛坯来说, 调整尺寸的即时值, 则是偶然性的。通常认为后三种误差的尺寸分布是服从正态分布规律的。

基本误差的综合可用代数法或概率法进行。用概率法综合时, 加工总误差 $\Delta$ 为

$$\Delta = \sqrt{3\Delta_{m_0}^2 + 3\Delta_{i_0}^2 + 3\Delta_{i_1}^2 + \Delta_{i_0}^2 + \Delta_{i_1}^2 + \Delta_{i_0}^2} \quad (1-1)$$

在车床、六角车床、镗床、钻床、拉床和其它机床上加工表面时, 精度基本上规定在直径尺寸上。此时, 安装误差可以不计, 则总误差为

$$\Delta = 2\sqrt{3\Delta_{m_0}^2 + 3\Delta_{i_0}^2 + 3\Delta_{i_1}^2 + \Delta_{i_0}^2 + \Delta_{i_1}^2} \quad (1-2)$$

根据完成工序的条件不同, 有些系统性误差可能对加工精度有重大影响, 而另外一些则影响不大。例如, 在精细加工刚性好的毛坯时, 由工艺系统弹性变形和机床热变形所引起的误差数值不大。但是由刀具的尺寸磨损和热变形以及机床的几何不准确性所引起的误差则在所有情况中都必须注意。由机床的几何不准确性所引起的误差在加工总误差中所占的比重相当大。

### 一、由刀具尺寸磨损所引起的误差 $\Delta_{m_0}$

加工零件时, 刀具的尺寸磨损往往是对加工表面的尺寸精度和形状精度产生决定性影响的主要因素之一。尺寸磨损产生的加工误差是由磨损有规律地引起从机床中心线至刀尖的距离增大的结果。在切削路程为 $L$ 的长度上, 尺寸磨损 $h_p$ 可根据相对磨损 $h_o$ 和初期磨损 $h_n$ 来计算

$$h_p = h_n + \frac{h_o L}{1000} \quad (1-3)$$

在刀具刃磨良好和刀刃经研磨的条件下, 在整个切削过程中, 磨损成线性变化, 则

$$h_p = \frac{h_o L}{1000} \quad (1-4)$$

$h_o$ 的数值可查有关手册或按下式计算

$$h_o = c_x t^{x_1} s^{y_1} v^{z_1} k_{d,m} k_p k_{p,m} \quad (1-5)$$

式中  $h_o$ ——相对磨损, [ $h_o$ ]为 $\mu\text{m}/1000\text{m}$ ;

$c_x$ ——由被加工材料和刀具材料决定的系数, 无量纲;

$t$ ——切削深度, [ $t$ ]为 $\text{mm}$ ;

$s$ ——进给量, [ $s$ ]为 $\text{mm}/\text{r}$ ;

$v$ ——切削速度, [ $v$ ]为 $\text{m}/\text{min}$ ;

$x_1, y_1, z_1$ ——指数, 无量纲;

$k_{d,m}, k_p, k_{p,m}$ ——分别表示切削部分材料和几何形状及毛坯材料的系数, 无量纲。