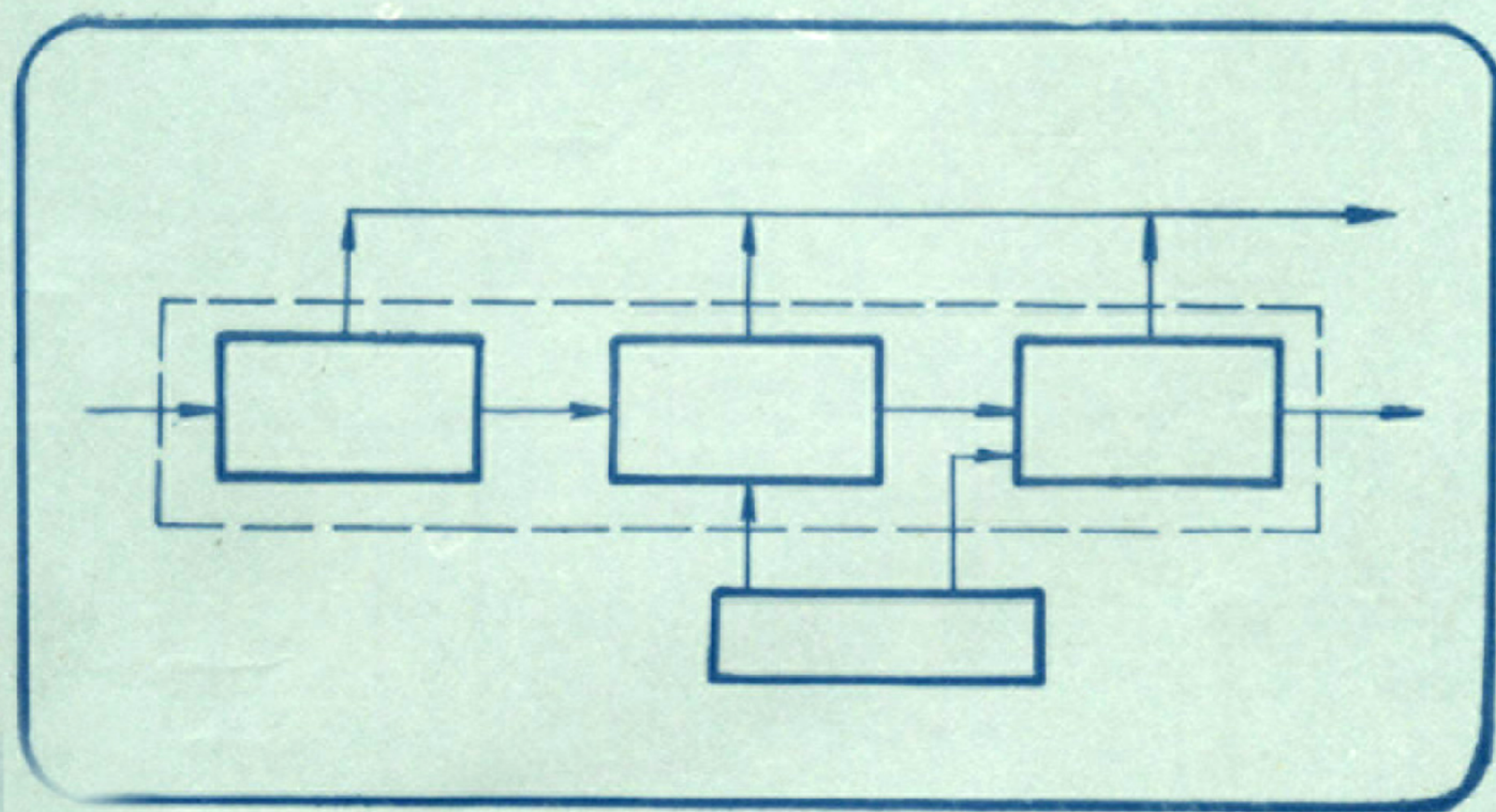


机械制造工艺原理

胡永生 编著



北京理工大学出版社

机械制造工艺原理

胡永生 编著

北京理工大学出版社

(京)新登字149号

内 容 简 介

本书介绍机械制造工艺的基本原理，内容分四篇。第一篇为总论，介绍制造工艺的发展及有关理论；第二篇为制造工艺方法的原理，介绍各种制造工艺方法的机理和分类；第三篇为工艺系统的分析原理，主要分析工艺过程的加工精度、基准和定位、热效应、振动及优化等问题；第四篇为机械制造系统基础，介绍成组技术、柔性制造系统及计算机辅助工艺设计等。

全书注重将机械制造过程用系统的观点进行分析，并以计算机在机械制造中的各种应用作为重点，阐述机械制造工艺学科的一些最新成就。

本书可作为机械制造专业本科高年级学生的教学参考书，研究生教材，并可供从事机械制造工作的工程技术人员、教学、科学研究人员参考。

机械制造工艺原理

胡永生 编著

*

北京理工大学出版社出版发行

各地新华书店经售

北京地质印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 14.75印张 357千字

1992年8月第一版 1992年8月第一次印刷

ISBN 7-81013-562-7/TH·54

印数：1—5000册 定价：4.25元

前 言

机械工业是各种产业的“装备部”，是国民经济发展的基础和支柱。

机械工业要提高产品质量，增加产量和品种，降低生产成本，缩短生产周期，提高经济效益都与机械制造工艺的发展水平密切相关。

近年来，由于机械产品品种迅猛增加，质量要求不断提高，新材料新技术大量采用，促使传统的制造工艺得到很大的进步和发展；很多新工艺方法在生产中陆续出现；计算机在机械制造业中的应用不断扩大，使机械制造正向着高度自动化方向发展。我国有一个庞大的机械加工行业，但制造工艺水平与先进工业国家相比仍有很大差距。因此从事机械制造工艺的研究人员和工程技术人员必须系统了解机械制造技术发展的这些新动向，开阔视野，掌握工艺的基本原理，以便进行创造性的工作，适应新技术革命和四化建设的需要。

本书介绍机械制造工艺方法和工艺过程的基本原理以及这方面的一些最新成就。着重用系统的观点分析机械制造工艺，并介绍计算机在机械制造中的各种应用。

全书分为四篇共十五章。第一篇包括第一、二两章，介绍机械制造工艺的新发展和制造工艺的基本理论。第二篇自第三章至第五章，介绍制造工艺方法的原理。从各种工艺方法的形态结构说明其拓扑分类，各种典型表面加工的原理，以及表面加工技术与去毛刺工艺。第三篇自第六章至第十一章为工艺系统（即机床-夹具-工件-刀具系统，或称单级机械制造系统）的分析原理。着重分析工艺系统中与加工质量、产量密切相关的一些因素，如加工质量、加工误差的分析计算与统计分析、零件的基准与定位、工艺系统的热效应、工艺系统的振动以及工艺过程的优化。第四篇自第十二章至第十五章为机械制造系统的基础，阐述机械制造系统中的主要问题，包括成组技术、柔性制造系统、计算机辅助工艺设计和机械制造系统的仿真原理。

本书是作者在近几年为研究生进行工艺理论教学的基础上参考了国内外有关文献编写成的。在这里谨向有关的文献作者表示谢意。原稿由清华大学池去病教授详细审阅，特此感谢。书中有不妥和错误之处，欢迎读者给予批评指正。

作 者

目 录

第一篇 总 论

第一章 机械制造工艺的发展	1
第一节 概述	1
第二节 机械制造工艺技术的进展	2
第三节 机械制造工艺的发展前景	7
第二章 机械制造的理论	10
第一节 工艺过程的基本规律	10
第二节 工艺过程的理论	11
第三节 柔性制造系统对传统工艺理论的影响	17

第二篇 制造工艺方法的原理

第三章 制造工艺方法的机理和分类	20
第一节 制造工艺方法的形态学	20
第二节 机械加工方法的拓扑分类	25
第四章 典型表面加工方法的原理	32
第一节 概述	32
第二节 外圆加工	33
第三节 内孔加工	36
第四节 平面加工	37
第五节 螺纹加工	39
第六节 齿形加工	40
第五章 金属表面加工技术与去毛刺工艺	43
第一节 表面加工技术	43
第二节 去毛刺工艺	46

第三篇 工艺系统的分析原理

第六章 机械加工质量	53
第一节 产品质量和加工质量的含义	53
第二节 零件尺寸精度的规定	55
第三节 加工精度及其评价指标	59
第四节 表面质量及其评价指标	62
第五节 提高加工质量的途径	70
第七章 加工精度的分析原理	73
第一节 加工误差的分析计算	73
第二节 加工误差的统计分析	80
第八章 零件的基准和定位	97
第一节 零件的基准问题	97

第二节	零件的定位问题	100
第三节	定位误差的计算	103
第九章	工艺系统的热效应	108
第一节	基本概念	108
第二节	传热学基础	109
第三节	温度场计算	113
第四节	典型热效应问题	133
第十章	工艺系统的振动	139
第一节	加工过程振动的基本概念	139
第二节	受迫振动的消减措施	144
第三节	自激振动及消减措施	148
第四节	振动切削	158
第十一章	工艺过程的优化	162
第一节	工艺过程优化方法	162
第二节	适应性控制	166
第三节	最优工艺过程方案的选择	171

第四篇 机械制造系统基础

第十二章	成组技术	174
第一节	成组技术的原理	174
第二节	零件的分类和编码	176
第三节	成组技术在机械加工中的应用	182
第十三章	柔性制造系统	187
第一节	成批生产自动化途径	187
第二节	柔性制造系统	189
第三节	集成制造系统	196
第十四章	计算机辅助工艺设计	200
第一节	概述	200
第二节	工艺数据库	201
第三节	工艺过程设计	204
第四节	工序尺寸的计算	211
第十五章	机械制造系统的仿真	220
第一节	仿真的基本原理	220
第二节	各种机床工作的仿真	222
第三节	柔性制造系统的仿真	227

第一篇 总 论

第一章 机械制造工艺的发展

第一节 概 述

机械制造工艺是指利用各种机理并采用相应的生产工具对原材料、半成品进行加工或处理，最后使之成为机械产品的方法和过程。制造工艺方法是由所用的设备和工艺装备对所加工的对象完成加工作用而体现出来的，而实现制造工艺方法必须经历一个过程，这就是制造工艺过程。

各种机械产品的具体制造工艺方法和过程是不相同的，但它们在工厂内的制造过程大致都可分为三个阶段：毛坯制造、零件加工和产品装配。这三个阶段组成的制造过程框图见图 1.1-1。图中表示的制造过程是以原材料、半成品等为输入，经过毛坯制造、零件加工、产品装配的制造过程，输出的则是机械产品，也可以是毛坯、零件或部件。

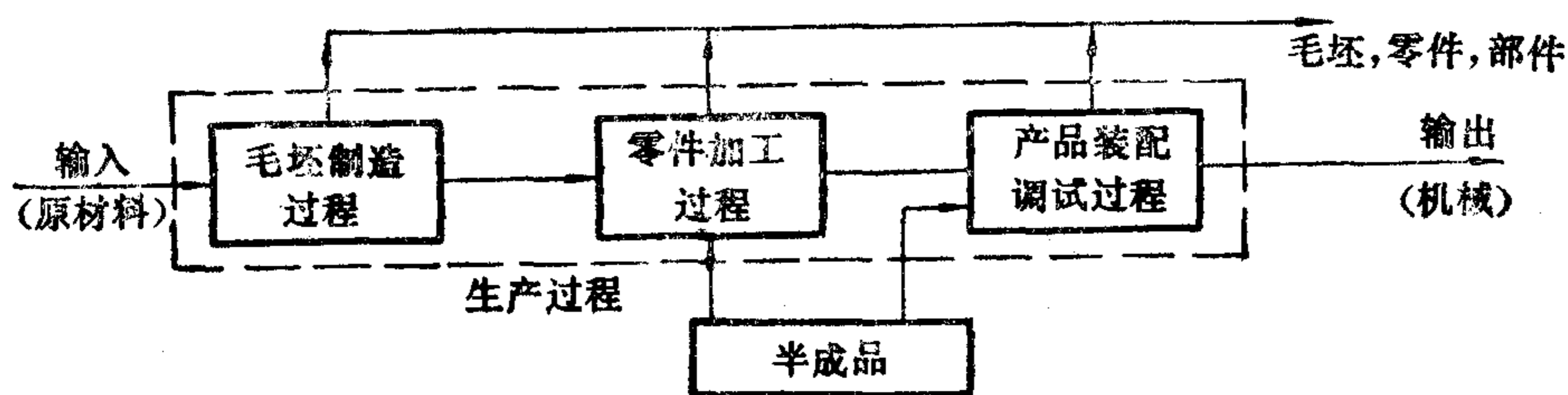


图 1.1-1 机械产品的制造过程

长期以来对机械制造工艺过程所涉及的各种知识是分门别类在高等院校开设的各种专业课程中进行学习的。例如《金属切削原理》学习切削与磨削的基本规律；《机床设计》、《刀具设计》、《夹具设计》分别学习机械加工过程中所用设备和工艺装备；《机械制造工艺学》是以零件加工和产品装配为对象学习其制造工艺方法和过程；而质量管理、生产的经济性一般在管理类课程中学习。近年来国外一些学者特别注意对这些问题的综合分析与研究，提出了机械制造系统的概念。根据这一概念，把机械制造的各个组成部分看成是一个有机的整体，是一个具有输入和输出的生产系统。它把生产技术和有关组织管理问题结合在一起，用系统的观点进行分析研究，以期对制造过程进行有效的控制，达到大幅度提高加工质量和效率的目的。

从系统工程观点看，机械制造过程是物料流、能量流、信息流三者的汇合和作用过程。物料流是指物料经过制造过程产生形貌和位置的转变，如工件经过加工改变形状、尺寸，经过运输改变工位等。能量流是指在制造过程中将能量施加于加工对象并产生相应的变换，一般是将电能变成机械能和热能。信息流是指将要求得到的形状、尺寸、性能等

信息向被加工物料的传递过程，在这一过程中要对物料流和能量流进行恰当控制以获得需要的工件。

机械制造系统可看作是若干硬件和软件的集合体。硬件是指机床设备和工具、物料运输设备和辅助装置等。这些硬件必须有软件的配合，软件是指生产信息，它包括工艺方法、加工参数、生产管理和调度等。

机械制造系统可以根据其拥有机床的数量分成单级制造系统和多级制造系统。前者是指加工零件时只用一台机床，完成一个工序；后者则指采用了多台机床，完成零件的加工过程。另外根据系统中机床的类型还可分成常规机械制造系统和数控机械制造系统。常规机械制造系统所拥有的机床是常规机床，一般为手动、凸轮控制或普通电气控制，其控制水平较低。对于采用数控机床的制造系统，无论是单级的或多级的，如果把通用的计算机或数据处理装置结合进去，承担系统的某些功能，则这种系统就属于计算机集成制造系统。这种系统控制水平较高，对于多品种、小批量生产具有适应能力，也就是一般所说的具有柔性。

本书就机械制造系统中以下三部分内容进行研究：

1. 制造工艺方法的原理 在机械产品的制造过程中，毛坯的获得、零件的加工、产品的装配工艺方法是多种多样的。制造毛坯大都采用铸、锻、焊等热加工工艺，零件加工则主要采用切削、磨削等冷加工工艺。以制造零件常用的切削加工工艺来说，近40年来已有突破性发展。这是由于高强度、耐磨、耐热等新材料的出现，使传统的切削加工方法难以适应，而必须采用新的加工方法，如电火花加工、电化学加工、激光加工等。这些新加工方法是利用各种物理、化学机理来达到加工目的或改善加工过程的。近年来出现的工艺过程形态学是根据工艺过程中所包含的各种基本要素提出了新的工艺分类方法，它有助于综合分析各种工艺方法的机理，并且对新工艺方法的出现具有一定的预见性。

2. 工艺系统（单级制造系统）的分析原理 在单级机械制造系统中只有一台常规机床或数控机床进行工作，如车削制造系统、磨削制造系统、铣削制造系统等。这些制造系统的硬件是由机床、夹具、工件、刀具四个环节组成，在《机械制造工艺学》中称为工艺系统。工艺系统的任务是对工件进行加工，使之达到所要求的形状、尺寸、精度和表面质量，并尽可能使工艺过程在最佳条件下进行，以达到高的加工效率、低的生产成本。围绕这些任务，近年来工艺理论有较大进展。特别是计算机在进行分析计算中的应用。

3. 机械制造系统基础 为了提高机械制造系统的加工质量和效率，实现自动化是一条重要途径。最早出现的机械制造自动化是汽车工业的大量生产自动化系统。本世纪50年代以来，由于计算机技术的发展，生产中陆续出现了数控机床、加工中心、计算机数控、适应控制系统等，使单件、小批生产有可能利用成组技术组织成自动化的生产系统，从而大大地提高劳动生产率。这种具有柔性的制造系统标志着制造技术的重大进展，目前正在迅速发展中的柔性制造单元、柔性制造系统是构成未来无人化工厂的基本模块。

在研究这些问题之前，本篇将首先说明机械制造系统中工艺技术和理论方面的现状和近年来的一些进展。

第二节 机械制造工艺技术进展

机械制造工艺技术近年来的进展主要表现在不断提高质量和效率方面。

保证和提高加工质量是机械制造工艺要解决的首要问题。加工质量的指标中最重要的是加工精度，保证加工精度即是指限制加工过程产生的误差值；而提高加工精度即是指减少加工误差值。

近代机械制造技术是以 18 世纪后期（1776 年）发明并制造蒸汽机为标志而出现的。当时在镗缸机（*Wilkinson*）上花了 27.5 个工作日才能将 650 mm 直径的灰铸铁汽缸加工到 1 mm 左右的精度。加工水平低下延长了蒸汽机从发明到使用的时间。

生产的发展要求不断提高机器的工作精度或运转精度，为此必须相应地提高零件的尺寸和几何形状精度。在 19 世纪中期相继出现了各种金属切削方法和机床（如 *Stowell* 螺纹加工机床，*Whitney* 铣床，*Fitch* 六角车床等），形成了精度理论和公差制度。本世纪中叶以后又出现了各种新型工具材料和特种加工方法，使 200 多年来机械加工的精度不断得到提高。1850 年机器零件的尺寸精度已可达到 0.01 mm。20 世纪初由于发明了能测量 0.001 mm 的千分表和光学比较仪等，加工精度逐渐向微米级过渡，成为机械加工精度发展进程中的转折点。当时在机械工业中将达到微米级精度的加工称为精密加工。本世纪 50 年代末以来，迅速发展的宇航、计算机、激光技术，以及自动控制系统等尖端科学技术，就是综合利用了近代的先进技术和工艺方法的结果。另外由于生产集成电路的需要，出现了各种微细加工工艺（微小尺寸零件亚微米级加工精度的加工技术）。它利用了切削和非切削的加工方法，在最近 10—20 年的时间里使机械加工精度提高了 1—2 个数量级，即由 50 年代末的微米级（ 10^{-6}m ），提高到目前的纳米（nm）级（ $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$ ），从而进入了超精密加工的时代。现在测量超大规模集成电路所用的电子探针，其测量精度已可达 0.25 nm。预计到 2000 年将实现原子级尺寸的加工和测量。各年代达到的加工精度的大致情况见图 1.2-1。从图中可见，传统的机械加工方法（一般的粗加工和精密加工）与超精密加工方法一样，是随着采用新技术、新工艺、新设备、以及新的测试技术和仪器，其加工精度也在不断地提高。一般精密加工（如研磨）现在已可达到 0.05 μm 精度。加工精度的不断提高，反映了加工工件时材料的分割水平不断由宏观进入微观世界的发展趋势。

提高机械加工精度的措施主要有：开发新的机械加工工艺方法，如现在已创造出单刃金刚石刀具精密、超精密车削及铣削的新工艺；新型刀具材料的研制和采用，如应用涂层硬质合金、聚晶立方氮化硼和人造金刚石材料等；研究超精密加工用机床，如采用空气轴承、具备低速进给机构和微量进刀机构，并具有优越的抗热、抗振特性。另外在加工过程中对加工精度进行的监控技术，如应用光学的计量方式已有可能进入实用阶段。

图 1.2-2 是用激光高速扫描的尺寸计量系统^[1]。它是用平行光管透镜将激光焦点准确地调整到多角形旋转扫描器反射镜上聚焦。通过激光扫描，检测被测工件两棱。根据反射镜旋转角、反射镜旋转速度，反射镜和透镜之间的间隔，即透镜焦点距离等数据计算出被测工件的尺寸。这个系统的要求是：透镜与反射镜之间的间隔，经常和焦点距离准确保持一致；为保持光的平行性，平行光管透镜不得有形状误差；同步电动机的转速稳定性良好；光传感器能对高速扫描作出反应。这个系统的测量精度受被测工件轮廓棱边精度的影响。

以亚微米级加工精度为计量对象的非接触测量系统的研制和实用，是近些年里实现高度自动化精密生产系统的重大课题。

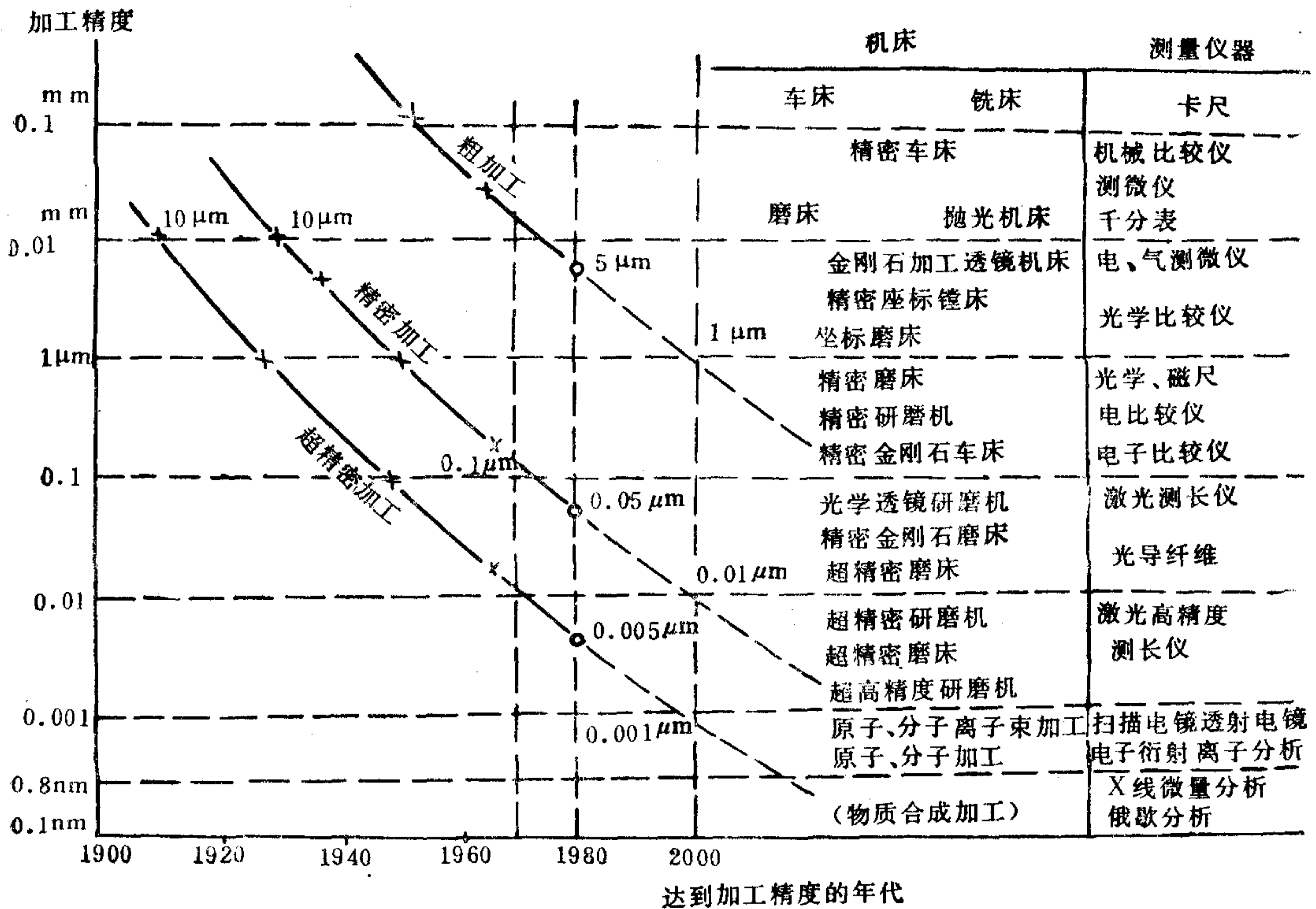


图 1.2-1 各年代达到的加工精度

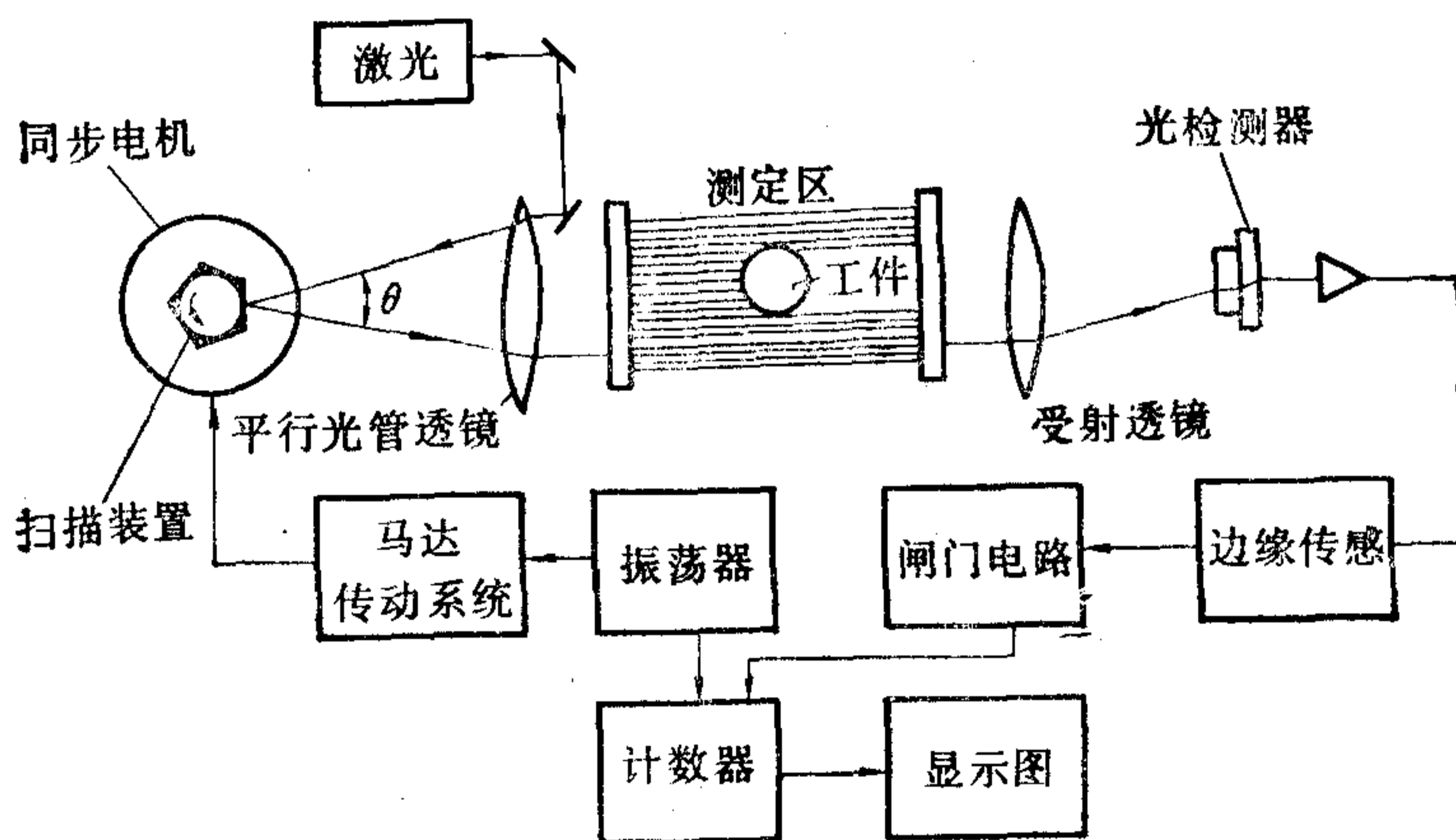


图 1.2-2 激光高速扫描的尺寸测量系统

为了延长机械设备的使用寿命和提高其工作可靠性，国外近年来特别注意零件经机械加工后的表面质量，提出了表面完整性 (*Surface Integrity*) 这一概念，它比过去一般所谓表面质量包含了更多的内容。表面完整性不但指机械加工后表面的粗糙度、波纹度、以及纹理等表面特征，还包含已加工表面大致在 0.38 mm (0.015 英寸) 厚度范围内各种物理、机械、冶金方面的特性，如残余应力、硬化程度、微观组织变化，晶间腐蚀、热损伤区、材质不匀等等。表面完整性对于在工作时受的应力很大，或经受的是反复载荷，以及使用环境恶劣的零件尤为重要。

社会生产力进步的主要标志是劳动生产率的提高，这是生产技术的永久性课题。机械加工工序的劳动生产率可用产量来表示，其计算式为

$$Q = \frac{B}{T}$$

式中， Q 为产量； B 为年、月或日的名义工作时间； T 为单件工时。

在三班制工作的工厂，机床设备每年的名义工作时间是365天。如果工厂每天工作一班，则名义时间只利用了三分之一。除去公休和假日，每年的名义工作时间大致利用了20%左右。此外由于切削用量选择不当，停工待料，换刀，测量工件，维修和调整机床等等，又会造成不少时间损失。为提高机床名义工作时间的利用率，主要的措施是实现工艺过程自动化。如近年来发展起来的柔性制造系统，使机床有可能接近24小时工作，据统计它的时间利用率可高达70—80%。

机械加工工序的单件工时一般是由机动工时和辅助工时组成，而机动工时往往占单件工时的主要部分。机动工时通常由采用的切削用量决定，因此机械加工工艺所采用的切削用量高低，往往是作为衡量工艺技术水平的一个重要标志。

切削加工速度的提高，是同切削刀具材料的发展和机床性能的改善同时并进的。本世纪以前，刀具材料主要是用碳素工具钢，切削速度很低，所以生产率提高得很缓慢。本世纪以来，刀具材料不断改进，品种不断增加，切削速度大约提高了30倍。图1.2-3表示加工图中同一尺寸的工件，由于刀具材料的进步，使切削速度不断提高，因而加工时间随年代的增长而不断减少。

提高切削用量除了采取改进刀具材料这一措施外，还必须改进刀具结构、采用高速机床以及其它一些工艺措施。例如目前汽车工业加工变速箱中的中模数齿轮（材料为20CrMnTi）采用一般高速钢滚刀时切削速度为20—40 m/min。改用含铝超硬高速钢滚刀后可提高速度至80—100 m/min。如采用新型的硬质合金材料（WC中含TiC、TaC，并添加Cr₃C₂等），制成装配式滚刀，在YB 3120型高速滚齿机上的加工速度可达到180—250 m/min。机械加工方法通过提高切削用量来提高生产率还有很大潜力。对磨削加工来说，目前推广的高速磨削、强力磨削，特别是深切缓进给磨削都是较有发展前途的工艺。

迄今各国对切削加工速度的提高作了很大努力，所以高速切削的目标值是随着年代而不断提高的。图1.2-4表示80年代各种切削加工方法的切削速度及其高速切削目标值。图中表明车削和铣削现在使用的最高速度为600—800 m/min，高速化的目标值为5000—8000 m/min。图中还列出了国外各研究人员制定的高速切削（HSC）目标值，其中规定500—10000 m/min为高速切削，更高的速度，即10000 m/min以上为超高速切削（UHSC）。

高速切削和超高速切削能有效地提高生产率，并且能降低切削力，减少传导到工件和

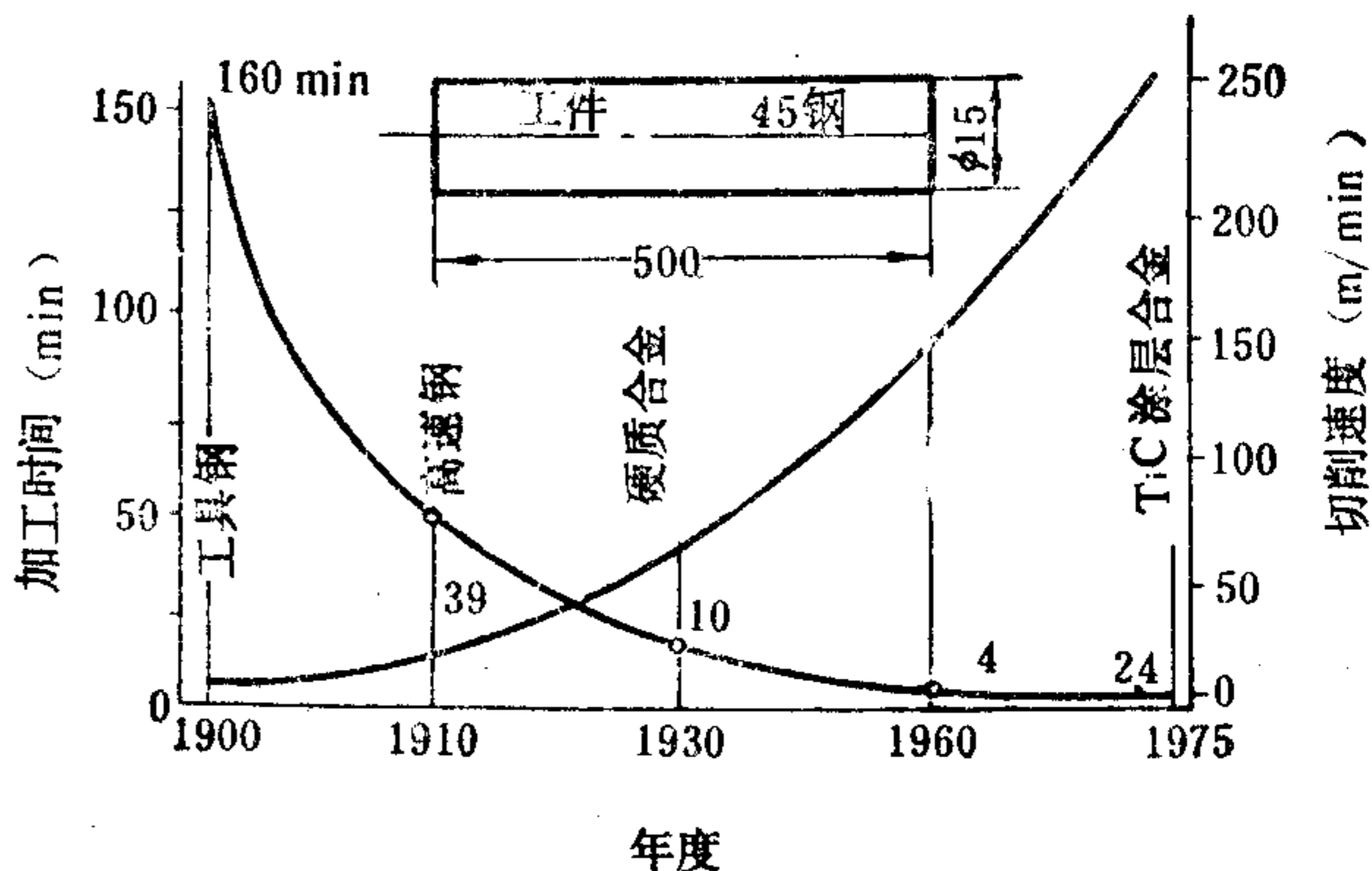


图 1.2-3 切削速度和加工时间随年代的变化

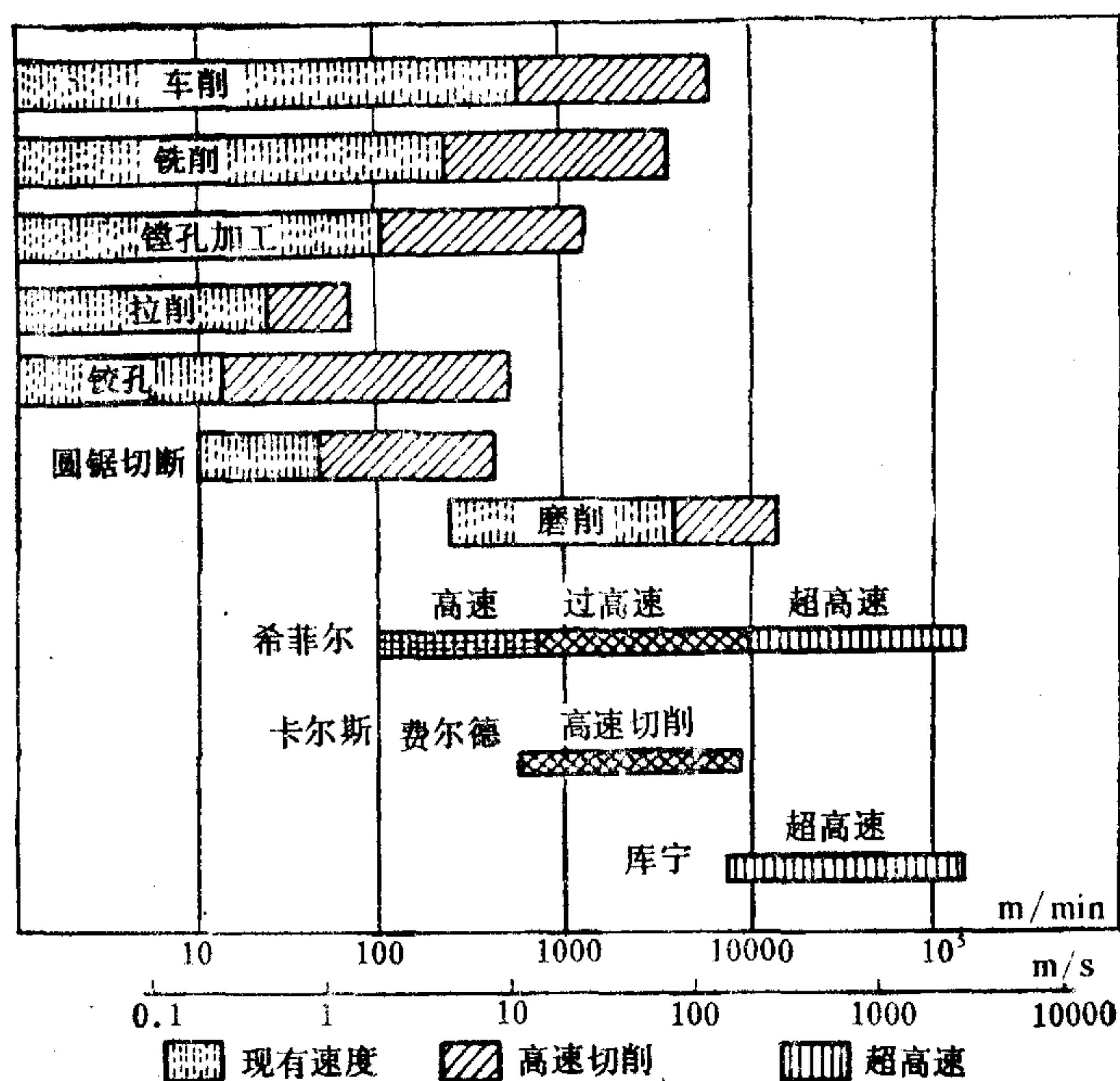


图 1.2-4 现有加工速度值和高速目标值

刀具上的热量，能加工出很薄、没有畸变和裂纹的工件。

为使超高速切削能实际应用，不仅要有高性能的刀具，机床方面也有不少需要解决的问题，如特别要解决耐用高速轴承的生产技术。

由于切削用量与产量、成本以及加工质量等的关系非常密切，许多国家都很重视先进切削数据的积累和使用。苏联早在 40—50 年代就陆续制订出高速钢和硬质合金刀具加工的切削用量手册。美国在 1964 年成立了可加工性数据中心 (MDC)，在 1980 年出版的第三版《切削数据手册》中，给出了 60 多种主要材料、80 多种机械加工工序的切削数据，取得了很大的社会经济效益。英国的生产工程研究协会切削数据俱乐部 (PERAMDC) 为车、铣、钻、攻丝、铰等六个工序提供切削用量数据，每年也可节省大量财富。联邦德国的切削加工信息中心 (INFOS) 是由学校、研究单位和工厂联合建立的大规模的通用数据库，规模极为庞大，可供共同体各国使用。

我国在 50 年代曾推行过高速切削、强力切削等先进切削经验。现在全国已有了 300 多万台金属切削机床，因此通过提高切削效率为国家节约财富蕴藏着很大潜力。所以近年来有关部门已开始注意建立切削用量数据库的工作，它将为工厂的增产节约做出有益的贡献。

降低加工成本，减少人力、物料的消耗是机械加工工艺要实现的重要原则。工业发达国家都很重视生产成本的分析计算，以便使它能不断地得到降低。目前计算机技术已可使加工过程实现优化，可将加工成本在具体条件下下降到最低限度。1964 年奥岛 (Okushima) 和人见 (Hitomi) 提出了制造工艺的新标准——在规定时间内的最大利润，并且利用这一标准，通过收支平衡分析，从理论上推导出最优切削速度。以后又有人用数学模型进行这种分析，1966 年后将这种标准命名为“最大利润率”。具体将在第十一章中介绍。

第三节 机械制造工艺的发展前景

机械制造过程所采用的工艺方法和设备的先进性一般取决于产品的产量（也就是工厂的生产纲领）。同一种产品由于产量或批量不同就可以有完全不同的工艺过程。对单件小批生产来说，一般采用通用机床与通用的工艺装备进行加工。这些通用机床在车间内按机群式布置，所以毛坯加工成零件的工艺流程非常杂乱，生产周期很长。据统计分析，毛坯从进入车间到加工成零件，有95%的时间耗费在存放和运输过程中，只有5%的时间在机床上加工。而在机床上加工时间内的有效切削时间一般小于30%，其余的时间则用于工件的装卸、测量等。所以这种生产方式大量积压流动资金，降低生产的经济效益。成批生产的工艺过程则有所改善，它一般采用通用机床与专用工装，在车间内零件的工艺流程就较有秩序。只有在大量生产条件下才能广泛采用专用设备和工装，使各工作地专业化，可以实现流水生产，部分零件可采用生产自动线加工。

就机械制造厂而言，数量较多的是成批生产工厂。据统计成批生产的产品约占机械总产品的70—80%。因此近20多年来机械加工工艺新技术发展的重要方面是解决这一类型的生产问题。对各种加工工序来说，首先要提高通用机床的自动化程度，所以程序控制机床、数控机床、加工中心等是比较先进的用于中、小批量加工的自动化设备，在生产中已得到越来越广泛的应用。另外对零件的制造过程来说，可以结合生产组织管理进行工艺革新。上面讲到零件制造工艺的先进性受所谓“批量法则”的制约，因此人为地增大批量就有可能采用先进的工艺。苏联米特洛范诺夫（С. П. Митрофанов）教授早在40年代末就提出了成组技术，最近20多年来在世界各国得到了发展并推广。成组技术就是把形状相似或所采用的加工工序相似的零件归纳成组，改变了传统的批量概念。对一个工厂来说，每一个零件的生产数量虽少，但成组的零件数多了，便可看作批量增加了。这样就可类似大批量生产，采用先进而效率又高的设备，以获得良好的经济效益。成组技术可使生产准备时间减少60—75%，另外可提高机床的生产率，减少工夹具设计费，并简化其设计程序。

成组技术是对设备进行计算机控制和生产柔性化的工艺基础。数控机床、成组技术与计算机技术相结合而发展起来的柔性制造系统是70年代末以来制造工艺技术学的最新成就，至今方兴未艾。柔性制造系统不仅能进行自动化生产，还能在一定范围内完成不同工件的制造任务，所以它与大量生产中采用的组合机床自动线（一般称为刚性生产线）是有重大区别的。

毫无疑问，柔性制造系统将在机械制造业中推广应用。但是它并不能用于所有的制造方式。日本有人指出：“无论科学技术取得多大成就，也不可能存在对于真正熟练工人所进行的作业由机械来代替的自动化。”生产精密产品必须依靠各种精密加工技术，它们还不能实现自动化。另一方面从图4.3-1可见，自动线、专用机床、柔性制造系统、加工中心与数控机床在应用范围、柔性和生产率方面是不同的。为保持生产适当的柔性和生产率，柔性制造系统主要适用于中小批生产的机械制造业。

1971年国际生产工程学会（CIRP）编辑出版了生产工程发展远景的技术预测，提出了自1975—2000年间生产技术发展远景比较一致的意见，认为生产发展总的趋势是发展

和应用电子计算机进行自动化生产，从而在本世纪末以前可以实现电子计算机集成自动化工厂 (Computer Integrated Automated Factory)，也即是全盘自动化的无人工厂。这种高度自动化的工厂就是把各种现代技术手段集中起来，在计算机控制下实现信息流自动化、物料流自动化、以及加工过程自动化。这样的制造系统即是计算机集成制造系统 (CIMS)，在第十三章将作进一步分析。

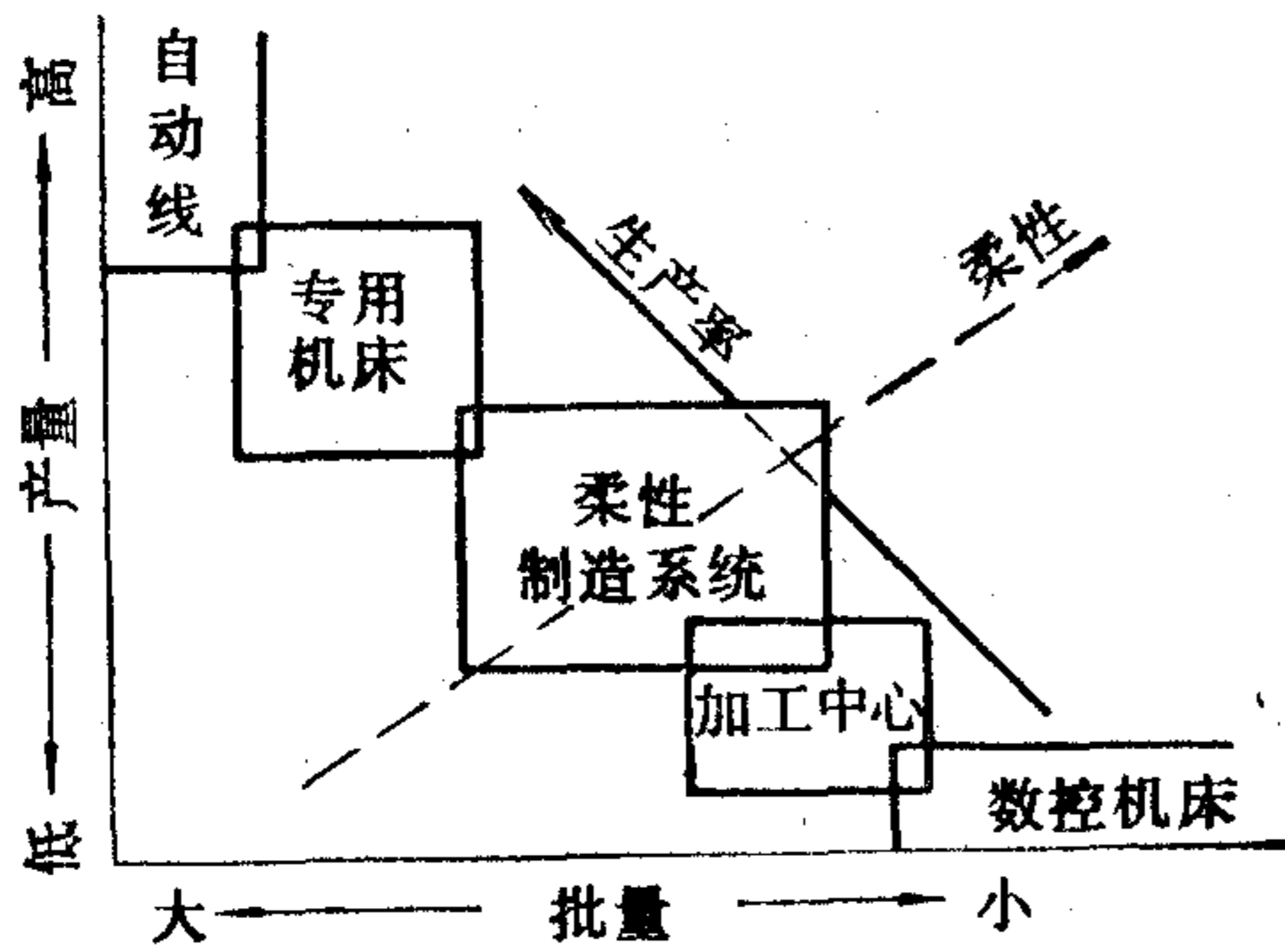


图 1.3-1 不同制造系统的柔性和生产率

这种高度自动化的工厂就是把各种现代技术手段集中起来，在计算机控制下实现信息流自动化、物料流自动化、以及加工过程自动化。这样的制造系统即是计算机集成制造系统 (CIMS)，在第十三章将作进一步分析。

计算机集成制造系统是在柔性制造系统技术已较为成熟，并在生产中推广应用之后出现的。1969年美国M. E. 麦钱特对它提出的概念如图 1.3-2 所示。它是一个闭环反馈系统。系统的输入是产品的要求（需要）和产品的构思（创造）；系统的输出是完成的产品（全部装配好的、检查过的、待用的）。

系统包括软件和硬件的组合，它的要素有产品设计、生产计划、生产控制、生产设备和生产过程，通过系统工程实现全部自动化和最优化。实现上述设想主要是利用计算机的有关技术，现在美、日等国都不惜巨资进行这方面的工作。1980年以后，日本已有多个工厂在柔性制造系统的基础上实现夜班无人运行一类的系统，对机械制造自动化和无人化方面具有一定的示范意义。

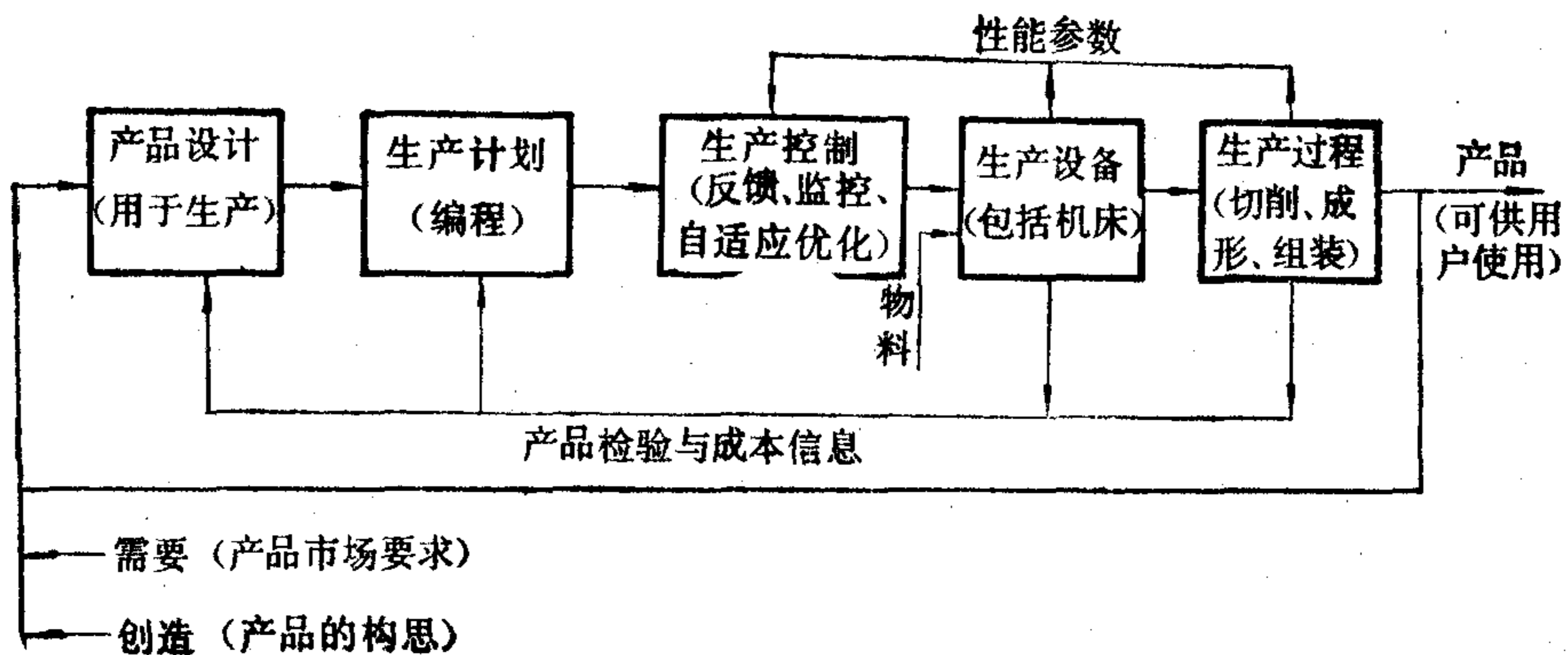


图 1.3-2 计算机集成制造系统

生产自动化是提高劳动生产率、降低成本、加速资金积累，提高综合经济效益的有效途径。现在在世界范围内受到重视的自动化技术有多方面。如制造程序和设备的全面计算机控制，通过使用数字控制 (NC)、计算机数字控制 (CNC)、群控 (DNC)，以及分级计算机系统；发展和应用各种计算机控制的工业机器人，实现自动上下料及自动换刀；发展和应用由计算机控制的柔性制造单元和柔性制造系统。

生产过程自动化是制造技术发展的必然趋向，所以必须根据我国的具体情况，有计划、有组织、有步骤地开发这项重大新技术，以实现机械工业的现代化。

参 考 文 献

- (1) (日) 机械与工具编辑部. 机械加工新技术. 科学技术文献出版社, 1985.
- (2) (丹麦) Leo Alting 著. 制造工艺过程. 北京航空学院出版社, 1986.
- (3) 刘兔. 为加速开创机械加工技术的新局面贡献力量. 机械加工学会三届年会报告, 1982.
- (4) Peklenik J. 机械制造系统. 上海科学技术出版社, 1982.

第二章 机械制造工艺的理论

第一节 工艺过程的基本规律

机械产品种类很多，由于其需要量不同，其生产类型就各不相同。因此具体的工艺过程和工艺方法对各种产品来说就千差万别。研究机械产品的制造工艺过程和工艺方法的工艺学一般不是研究一种具体产品或具体零件的制造工艺，而是研究各种产品，至少是一类产品（如机床、发动机、仪表等）工艺过程中经抽象、概括出来的规律。这些规律来自生产和工艺科学研究的实际，是对客观事物科学的抽象，它能更深刻、正确、完全地反映客观事物。也就是说它能解释具体的生产过程，并对生产实际有指导意义，所以这些规律可以称之为理论。工艺学是研究工艺理论的一门应用科学。

机械制造工艺方法的本质和机理是在《物理》、《化学》、《力学》、《金属切削原理》、《塑性变形原理》、《特种加工工艺》等课程中研究的。机械制造系统，主要是工艺过程和方法则属本课程研究的对象。产品装配和零件加工的工艺过程是由一系列工序组成的，这一系列工序逐步改变毛坯的形状、尺寸、物理机械性能，使之转变成零件并最后组装成产品。在这些工艺过程中是存在着普遍规律的。

哲学观点认为任何事物都可以一分为二，都存在着矛盾。对需要加工的零件来说，它既有一定的质的规定性（指零件有特定的材料、形状结构、尺寸大小等），又有一定的量的规定性（由数量体现），也就是说零件可分解成质量和数量两个方面。工艺过程完成零件的加工工作，就是指在一定时间内加工出一定数量的零件（用产量或生产率表示）并达到其质量要求。这样质量和产量就构成了工艺过程中的一对矛盾。在具体生产条件下正确解决这一对矛盾的规律就成为工艺过程的基本规律，那就是：工艺过程必须满足加工质量要求，在此前提下达到高的生产率。生产率提高就意味着生产零件的时间消耗降低，就可导致成本降低。这就是说，工艺过程必须满足优质、高产、低耗的要求，满足这三个要求是实施工艺过程必须遵循的三原则。

工艺过程是一个复杂的过程，有许多的矛盾存在。除质量和产量的矛盾外，例如还有加工要求（质量与产量）与设备能力之间的矛盾；加工要求与工人操作水平的矛盾；工艺技术与生产组织和管理的矛盾等。但是工艺过程中质量和产量是主要矛盾，它规定或影响着其它矛盾的存在和发展。

工艺过程中质量和产量的矛盾具体是这样表现的：工艺过程必须质量第一，否则尽管生产的件数再多也是无用。这就是说没有质量就没有数量。如果生产零件的质量提高了，它的性能、耐用度好了，或者废品率降低了，那就实际上等于增加了产量。这说明质量可以转化为产量。另一方面，零件的质量必须通过一定的数量表现出来，因为任何质量都表现为一定的数量，没有数量也就没有质量。如果工艺过程的产量极低，即使质量很高，仍是不能完成生产任务的。由此可见，质量和产量是各以对方的存在为条件的，并且它们之间又有相互对立的一面。例如某一正常的工艺过程，若在生产条件（如设备、工艺装备、

人的操作水平等)不变的情况下要求产量提高一倍,这就势必使工人劳动极度紧张,零件废品率增加,使质量下降。同样,如果在生产条件不变的情况下提高质量要求,也势必会增加废品,使产量下降。因此只有通过技术革新,创造一个与新的产量和质量标准相适应的生产条件,矛盾才可解决,生产因而就得到发展。

质量和产量的矛盾具体反映在生产中往往表现为新的生产任务(提高产品质量或是提高产量)同现有设备能力之间的矛盾,或新的生产任务同操作技术水平间的矛盾。解决这些矛盾从技术方面来说主要是采用新工艺、新设备,挖掘现有设备的潜力,改造旧设备,进行技术革新和技术革命等途径来解决。

在工艺过程中质量和产量这一对矛盾一般前者表现为矛盾的主要方面。生产过程必须好字当头,质量第一,好中求快,好中求省。但处理工艺过程中的这一对矛盾也不是一劳永逸的。随着机械制造业的发展,产品的品种日益增多,性能要求日益提高,对产品的数量需要日益增长。此时生产条件不能适应客观需要,就会出现质量和产量之间新的矛盾。采用了某一新的工艺措施提高产量或者提高质量,往往又会影响到矛盾的另一方面。从整个工厂的生产角度来看,一道工序、一个车间的产量提高了,也就要求其它工序、其它车间提高产量以取得相应的平衡。社会需要的增长,生产条件的变化,不断打破质量和产量间的相对统一。这种不平衡的不断解决,就不断地推动了生产技术的发展。所以我们可以从质量和产量这一对矛盾的变化来说明机械制造工艺过程的发展。

《机械制造工艺原理》即是研究工艺过程中质量与产量这一对矛盾的变化规律,也就是研究机械制造过程中提高质量、增加产量、降低消耗的原理。它相当于一般《机械制造工艺学》中讲授的工艺原理部分,但要进行较广泛深入的说明,并着重介绍近年来一些新的成就,特别是计算机在解决这些问题中的应用。

第二节 工艺过程的理论

工艺过程围绕质量、产量、工艺过程设计三方面的理论,在一般工艺学教材中都已论述。这里仅对它们进行扼要说明。

一、零件加工质量方面的理论

为保证和提高加工质量必须分析研究加工过程产生的误差,并掌握其大小数值。研究加工误差有两类方法:对造成误差的各个因素进行分析计算;对加工误差进行统计分析。

1. 单项因素造成的误差 在完成机械加工工序的工艺过程中有许多误差因素存在。能造成工件误差的因素称为原始误差因素,由该因素造成的工件误差值称为单项工件误差值。单项原始误差值与由该因素造成的单项工件误差值之间有一定的几何关系,通过分析和实验测定原始误差值后,便可计算出该因素所造成的单项工件误差值。两者间的关系用数学式表示为

$$\Delta_i = f(\delta_i)$$

式中 δ_i ——原始误差值,如刀具的磨损量、机床导轨的弯曲度、铰刀直径的制造误差等;

Δ_i ——由单项原始误差造成的单项工件误差值。

例:在车床上精镗内孔时(图2.2-1)由于主切削力 F_z 的作用使刀尖垂直向下(自C点移动 Δz 至C'点)产生偏移。求主切削力这一因素造成的工件误差。