

# 现代机床基础技术

[日] 伊東 誼 等編

机械工业出版社

本书主要介绍国际上近十余年来机床基础技术的研究成果，并对今后的发展作了预测。全书共分十八章，叙述了以下各方面内容：机床的发展与相应的技术问题，构件静、动刚度，热变形，噪声，主轴及主轴系统，模块化构造，机床联接部位，静压导轨与静压传动机构，静态、动态变形及热变形的自动补偿，刀具与工件的自动装卸，适应控制用加工中测量传感器，切屑、切削液及磨削液处理系统，颤振防止措施，机床动态特性试验，机床制造新技术（结构刚度自动计算，零件及组件的自动制图）。本书兼顾资料性、知识性及历史性，并附有大量插图及参考文献。可供机床科研、设计人员及大专院校有关专业师生阅读。

### 最近の工作機械技術

今後の発展動向と解決すべき問題

東京工業大学工学部助教授

伊東 誼 等編

マシニスト出版

1980

### 現代机床基础技术

伊東 誼 等編

吕伯诚 译

周延祐 校

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）

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本 850×1168 1/32·印张 11 3/8·字数 297 千字

1987年2月北京第一版·1987年2月北京第一次印刷

印数 0,001—4,200·定价 3.35 元

统一书号：15033·6198

## 译者的话

随着电子计算机的发展及其在机床上的应用,相继出现了数控机床、加工中心、生产单元、柔性制造系统、无人化工厂等新的机床与系统,而其中若没有各种机床基础技术的革命性变革,将是不可思议的。为此,及时了解国外在机床基础技术方面的科研成果与发展过程,并引以为鉴,对于我国机床赶超世界先进水平,无疑有着重要的意义。

本书译自伊東誼等编的《现代机床基础技术》(最近の工作機械技術)一书,书中汇集了世界上近十余年来各种机床基础技术的最新研究成果,阐述了其发展的全过程及今后的研究方向。全书兼顾了资料性、知识性及历史性,内容广泛,图文并茂。可供从事机床设计、研究、试验等工作的人员,以及大专院校有关专业的师生阅读。读者如欲作更深入的研究,还可参阅各章末的大量参考文献。

译稿完成后,承蒙高级工程师周延祐同志作了仔细校订,提出了不少宝贵的修改意见,谨深表谢意。

原书中单位很不统一,且多数单位不符合我国法定单位,为便于读者阅读,译稿增加了单位对照表附于书后。对于人名,各章第一次出现时,同时给出汉译和原文(除日本人名外),再次出现时则只给汉译。对原书中的错误已作了更正,对需要说明的问题也已加了译者注。但限于本人水平,难免仍有不当乃至错误之处,恳请读者指正。

吕伯诚 一九八三年一月于北京

## 序 言 (摘译)

自从莫兹利 (Maudslay) 车床<sup>⊖</sup>问世以来, 在不断满足时代需求的发展过程中, 近代机床技术已经历了约 180 个年头; 施莱辛格 (Schlesinger) 教授对机床进行理论研究, 也已有约 50 年的历史, 这两方面都已获得了巨大的进展。并且可以说, 如今机床再一次面临着巨大的变革。这是由于围绕机床的技术、经济及社会环境已发展演变到了更高级的阶段, 这些因素的互相影响也变得更为复杂之故。

在这一变革时期中, 对今后机床的发展趋向进行预测, 从温故知新的观点重新认识过去和现在的各种机床技术问题, 无疑是很很有意义的。

尤其是随着电子计算机的出现, 机床的技术与研究进展迅速。但也还存在近代机床出现以来未获解决的各种问题。

本书由刊于《机械师》(《マシニスト》)杂志上的 18 篇连载文章经补充、修改编辑而成。

机床的技术与研究范围很广, 欲统统收进本书是不可能的。但书中对预测到的、今后机床发展中的许多重要问题, 都已述及。可望对有关科技人员有所助益。

编者 1979 年秋于大岡山

---

⊖ 指英国 H. 莫兹利 (H. Maudslay) 于 1797 年制成的第一台带有机动刀架、全部由金属制成的车床, 它的出现标志着人类从此摆脱了手持刀具切削工件的落后加工方式, 是机床发展史上的一个转折点。——译者注

# 目 录

译者的话

序言(摘译)

第一章 机床的发展与相应的技术问题	1
一、自动生产系统与机床技术	1
二、超精密加工与机床技术	5
三、使用电子计算机的机床制造方式及有关问题	7
四、机床技术的发展趋向	8
第二章 提高机床大件结构的静刚度和动刚度	10
一、截面形状及结构优化	11
二、钢板焊接结构	15
三、混凝土结构	19
四、新材料	22
第三章 机床热变形	25
一、热变形的基本概念	25
二、机床上热的边界条件	29
三、热变形实例和防止措施	34
四、从热工学观点看未来之研究课题	42
第四章 机床噪声	44
一、机床噪声级的测量方法	47
二、机床噪声及其降低措施	49
第五章 机床主轴及主轴传动系统	64
一、主轴部件的静刚度	67
二、主轴部件的动刚度	71
三、主轴的回转精度	79
四、主轴传动系统	81
第六章 机床模块化构造	84

一、模块化构造的类型与发展史 .....	84
二、模块化构造的特点与应用中的问题 .....	95
三、自动加工系统与模块化构造 .....	97
四、跨类排列机床群与使用通用部件的跨类模块化构造 .....	99
五、模块化构造的未来 .....	101
<b>第七章 机床联接部位 (之一, 螺栓联接部位的静态特性和动态特性) .....</b>	<b>104</b>
一、机床上的固定联接部位与螺栓联接部位 .....	104
二、螺栓联接部位的刚度 .....	105
三、螺栓联接的阻尼能力 .....	114
四、螺栓联接部位的模型准则 .....	119
<b>第八章 机床联接部位 (之二, 导轨联接的静态特性和动态特性) .....</b>	<b>121</b>
一、滑动导轨的刚度 .....	122
二、二平面联接的刚度表达式 .....	137
<b>第九章 静压导轨与静压传动机构 .....</b>	<b>141</b>
一、静压轴承的特性 .....	142
二、应用现状与有关问题 .....	159
三、静压技术的今后课题 .....	167
<b>第十章 静态、动态变形及热变形的自动补偿——刀具与工件间相对位置的保持功能 .....</b>	<b>170</b>
一、工件与刀具间相对位置的低级保持功能 .....	171
二、GAC概述与有关问题 .....	175
三、超声波测微器 .....	178
<b>第十一章 刀具与工件的自动装卸 .....</b>	<b>183</b>
一、工厂内物的流动 .....	183
二、将物资供给机床 .....	185
三、刀具和工件的自动装卸 .....	189
四、刀具及工件自动装卸方面的课题 .....	195
<b>第十二章 适应控制用加工中测量传感器 (之一, 加工时产生的力和刀具状态的测定) .....</b>	<b>200</b>

一、测定加工中产生的力的状态的加工中测量传感器	202
二、测定刀具状态的加工中测量传感器	208
第十三章 适应控制用加工中测量传感器 (之二, 测定 工件尺寸、形状、表面粗糙度及刀具趋近量 的加工中测量传感器)	222
一、测定工件尺寸的加工中测量传感器	222
二、测定工件形状的加工中测量传感器	236
三、测定工件表面粗糙度的加工中测量传感器	237
四、测定刀具趋近量的加工中测量传感器	239
五、加工中测量传感器的现状与今后课题	241
第十四章 切屑及切削和磨削液处理系统	244
一、切屑的形状	244
二、切屑的排除	249
三、切屑的输送	255
四、切削液和磨削液的分离和回收	259
五、切屑处理系统的主要问题	264
第十五章 防止机床振动	267
一、防振新动向	267
二、控制再生效应	269
三、采用防振合金	278
第十六章 机床的动态特性试验	281
一、机床的试验、检验及动态特性试验	282
二、动态特性试验的种类	283
三、切削试验的现状	285
四、MTIRA方式概述	289
五、使用MTIRA推荐的锥形试件进行动态特性试验时的 有关问题	293
第十七章 新的机床制造技术 (之一, 结构刚度的计算 机计算)	301
一、利用电子计算机进行结构设计计算的概况	302
二、结构刚度自动计算的现状	318

三、今后结构刚度计算机计算方面的问题.....	321
第十八章 新的机床制造技术（之二，零件及组件的计算机辅助制图） .....	330
一、以机床为对象的计算机辅助制图的研究现状与问题.....	330
二、应用成组技术式计算机辅助制图.....	335
三、使用立体要素式计算机辅助制图.....	347
四、研制机床结构计算机辅助设计系统时的一般注意事项.....	351
单位对照表 .....	354



## 第一章 机床的发展与相应的技术问题

以“玫瑰车床”<sup>⊖</sup>为代表的古代机床（一种木制机架、制造家具装饰件的机床），随着莫兹利车床的出现，完成了向近代机床的飞跃。如今的机床正发生着可以与这一历史事实相比拟的巨大变革。

一方面，随着近来大型及小型电子计算机的迅速发展及其在单件小批生产上的应用，正给机床的应用技术带来很大变化，使下列研究的必要性增加了：在集成生产系统（IMS）或自动生产系统（CAM——计算机辅助制造系统）等高度自动化的制造系统中，应如何合理使用机床这一组成因素，适于在上述系统中工作的机床是什么样的等等。

另一方面，由于电子计算机本身的迅速发展，使得对以磁盘为代表的电子计算机元件进行精密加工的必要性增加了，从而要求迅速研制精密或超精密加工用的机床。

再者，其他机械行业使用电子计算机判别技术经济效果的生产方式，近来正越来越多地用于机床制造业，适应这一需要的机床也已开始研制。

故此可以认为，今后的机床将向高度自动化或超精密加工的方向发展。制造方式也会因需要不同而有所变化。为制定相应的解决措施，就有必要研究目前存在及将来可能出现的各种技术问题。

### 一、自动生产系统与机床技术

机床的发展方向之一，是作为高度自动化的制造系统中的一

---

<sup>⊖</sup> 又称“rose engine”，在十七、十八世纪，广泛用于车削曲线花样。——译者注

个核心要素。这不仅意味着整个系统的高度自动化，也意味着机床本身的高度自动化。这时产生的技术问题将不只停留在机床本身，而且还要扩大到制造过程必需的、机床的一切外围作业。这样，要讨论的技术问题将变得很复杂，问题产生的原因也不只是纯技术方面，经济方面及社会方面的原因的比重将有很大增加。

为使问题更为清楚，我们来考察单元自动系统所需之功能。这类自动加工系统常见的有：费伦梯 (Ferranti) 公司的单元制造方式，及日本带工业机器人的 DNC<sup>⊖</sup>系统，它们还只是处于初期阶段。为此，需要有自动化程度更高的、可供理论研究用的原型程控制造系统。但世界上设置这种系统的还很少，所知的只有联邦德国柏林工科大学及斯图加特大学有此系统。图 1-1 所示是由

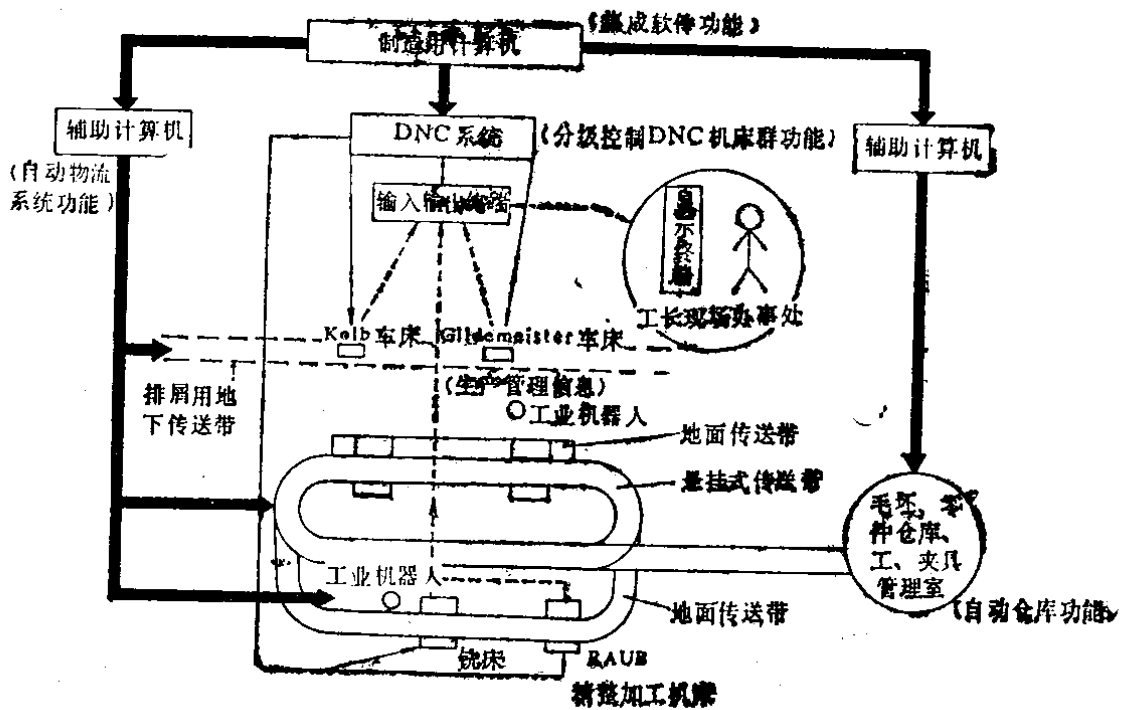


图1-1 柏林工科大学供理论研究用的CAM系统 (未含自动检修功能)

联邦德国政府援建的、设在柏林工科大学的单元自动加工系统，目前还不具备图示全部功能。这类系统除了应有与加工直接有关的功能外，还应有自动仓库、自动物流系统、自动检修及集成软件系统诸种功能。与加工直接有关的功能由DNC机床群来实现，

⊖ 计算机群控，Direct Numerical Control的缩写。——译者注

DNC机床群则由分级控制数控化、适应控制化及高度自动化的多台机床形成。因而，伴随加工过程自动化产生的问题要比单机时复杂。在高度自动化的加工系统中，往往不是由于机床本身的积极变革而使加工系统随之变革，而是由于周围环境的需要强迫机床进行变革。这就带来许多机床使用技术方面的问题。

为实现图 1-1 所示加工系统的功能而必须解决的机床及其外围作业的技术问题见图 1-2。

机床是以高精度、低成本及迅速加工社会所需产品为目的而不断发展起来的，这就要求我们必须重视机床及其周围环境中的技术及经济问题。对于高度自动化加工系统中的机床，则还必须考虑社会环境的要求。所谓社会环境的要求，即是与机床直接、间接相关的人类的要求。从这方面产生，而必须从机床方面解决的问题，最近已引起人们的密切注意。

图 1-3 列举了这类技术问题。若全自动加工系统得以实现，其中许多问题便无需考虑。但现状是需要改善工作环境及把工人从操作岗位上解放出来，因此这些问题仍很重要。

仔细分析可知，图 1-2 与图 1-3 虽因加工自动化的要求不同而对问题各有侧重，但两图所列并非新问题，这些问题在不断追求机床性能的过程中早就被提出来了。

图 1-2 所列问题主要与机床密切相关，对于前述自动加工系统，则不仅与机床，而且与机床的外围作业及加工过程本身也有复杂的关系。为此应注意机床基础技术中一切有问题的方面：如材料切削性能的改进，刀具耐用度的提高和磨削液的使用效果等。

图 1-2 所示与集成软件系统功能有关的技术问题，像支配自动加工系统中软件的能力那样，严重地影响着数据库信息的充实。而解决这方面问题时，实际经验常常起很大作用，至今尚缺乏理论研究。例如，与自动工序设计用软件有关的技术问题有：零件形状与加工工序的一致性，加工方法与机床最大加工能力和加工精度的关系等。这意味着从可加工某一形状的许多种加工方法中，如何选择最优加工方法。其中尤与机床加工能力和可达到

自动加工系统应有功能

为实现功能应研究的事项

机床硬技术问题举例

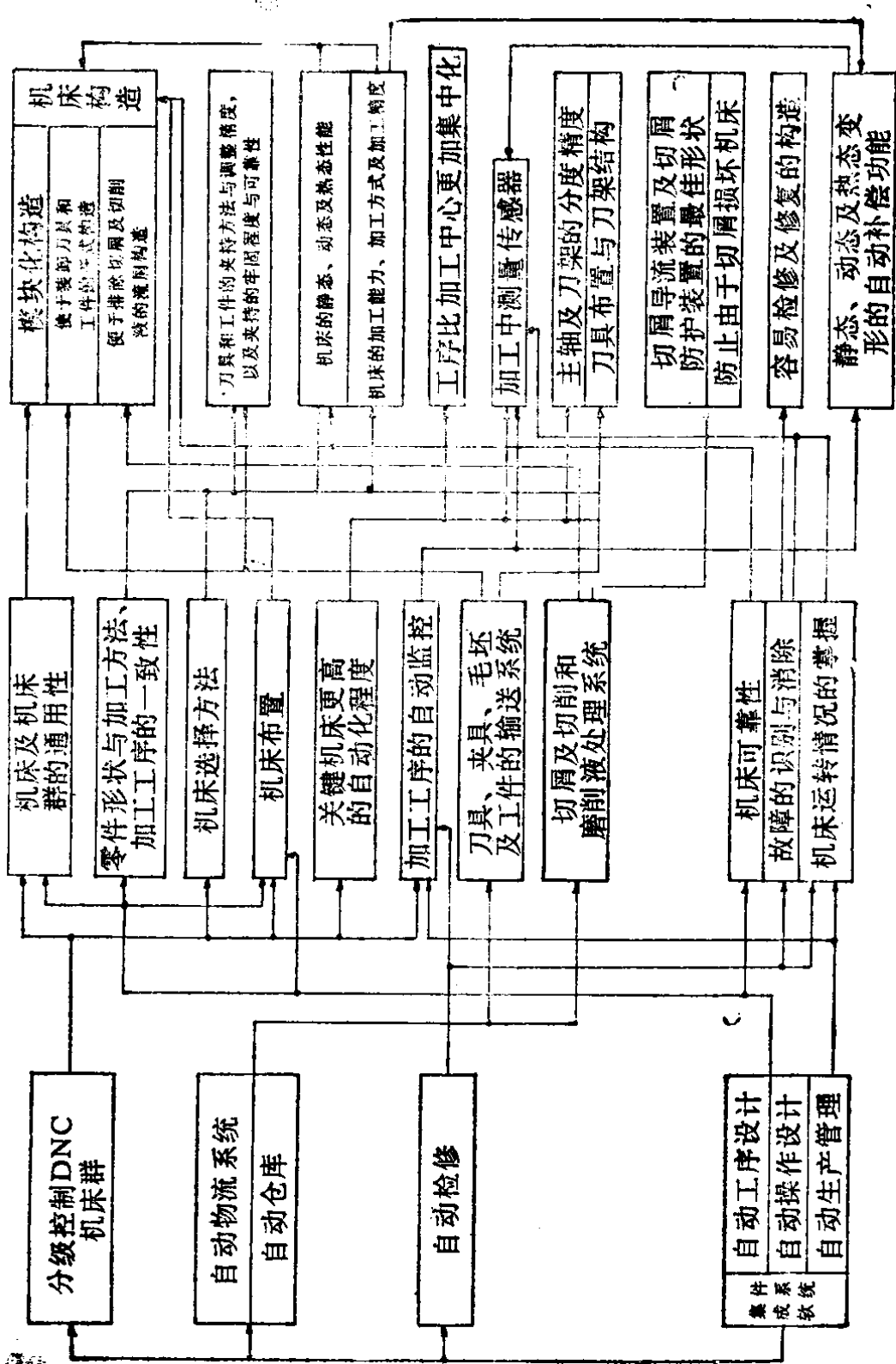


图1-2 自动加工系统中的机床技术问题

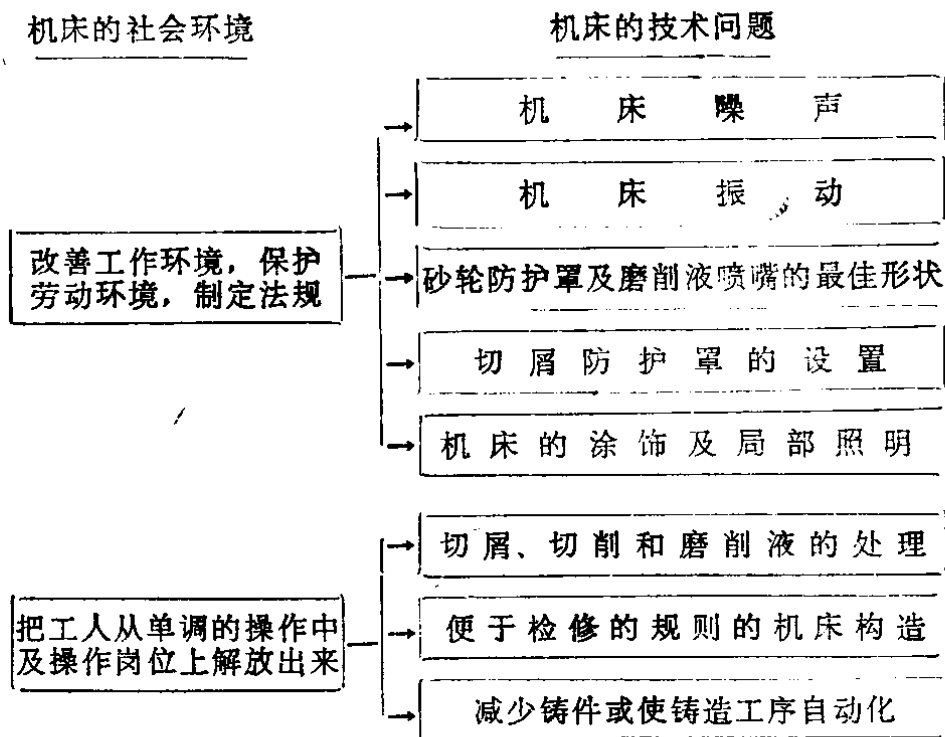


图1-3 由社会环境要求而产生的机床技术问题

的加工精度密切相关。

为此应特别注意：没有硬技术就不能充分开发实用的软技术，只注意硬技术而忽视软技术也是不恰当的。

## 二、超精密加工与机床技术

提高加工精度是近代机床问世以来追求的基本目标，也是机床当然的发展方向。但人们往往在保证一定精度的条件下，追求低成本的加工方法，这是由于加工精度要与加工成本这一经济因素平衡而受到制约的结果。而超精密加工则不考虑这种经济性，至今只用于某些特殊领域，如制造兵器和光学仪器等零件。电子计算机的迅速发展增加了对其有关零件进行高精度加工的迫切性。即便在其他行业，一定程度地忽视经济性，加工高精度复杂形状零件的要求也日益强烈。因此可以认为，今后超精密加工机床的需要量将日益增加。

图1-4所示磁盘车床即是超精密加工机床。过去，磨削和研磨铝制存储器磁盘的端面时，问题很多，达不到所需的加工精度。而在图示机床上，仅用金刚石车刀，即可将其车削到镜面状

态（表面粗糙度为 $0.02\mu\text{m}$ ）。

人们很早就知道，这类超精密加工机床应具有以下基本性能：在任何静载荷和动载荷的作用下，以及热态环境中，机床均能沿各坐标轴方向或绕各坐标轴持久地作准确、均匀及平稳的运动。简言之，加工外圆时是指：确保工件及刀具绕某轴线作准确的旋转运动，及作平行于该轴线的直线运动。

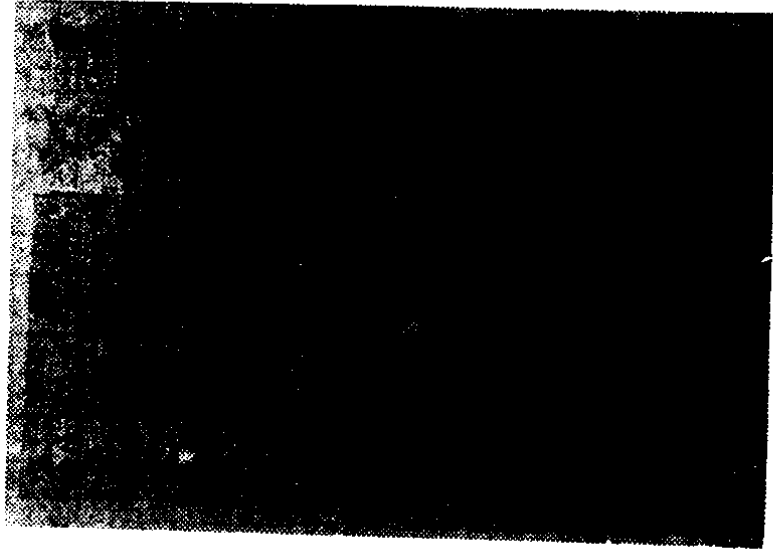


图1-4 用于超精密加工的车床(丰田工機  
AHP50-32)

可是，机床是一个弹性体，并在复杂的受力状态下及热态环境中工作，事实上要满足上述要求并非易事。对此，人们也早就从提高机床的加工精度方面作了各种努力，作为问题提出的背景虽然不同，但就问题的内容来看，仍与图1-2和图1-3所列相同。

然而，进行超精密加工时，应当比普通机床更好地满足上述基本要求，图1-5所示的各项尤应注意。即：外界振源的隔离及机床本身振动的消除，确保直线运动精度的导轨构造，具有很高回转精度和进给精度的主轴和进给传动机构，能长时间保持刀具和工件之间的相对位置精度的机床构造，等等。

这些问题与机床的基本构造相联系，不必过分考虑制造时的经济性，因为若不是仅仅从技术方面孜孜以求，许多问题便很难解决。并且，要把设计、加工及装配这三方面知识，与熟练设计人员和熟练工人的经验和理解力结合起来才能解决。一般说来，这是目前从理论方面还不易掌握的领域。因此，长期扎实积累的知识与熟练设计人员和熟练工人，对于解决上述问题具有重要意义。

日本也有着出色的机床技术，但在这样需要长年经验积累的

## 实现超精密加工应研究的事项

## 机床技术问题

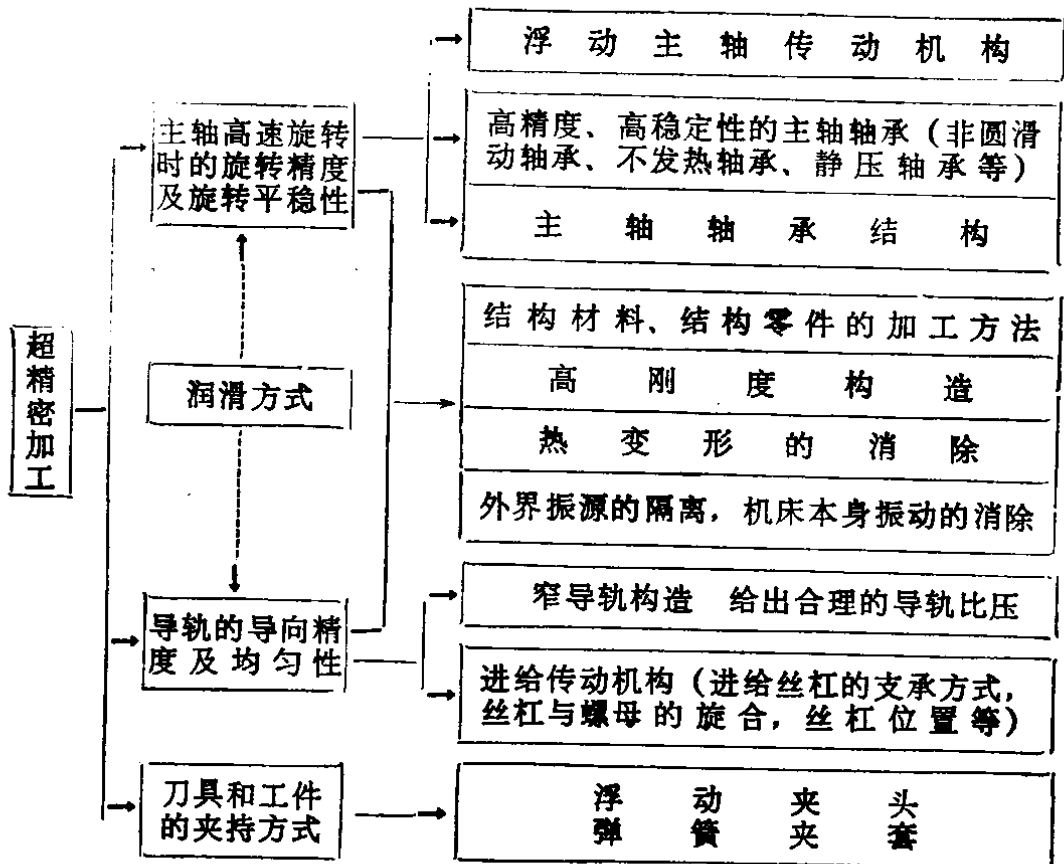


图1-5 用于超精密加工的机床的技术问题

领域，比起西德的机床研究部门和生产部门，不仅在技术方面，在其他方面也还有差距，今后还需更加努力。

### 三、使用电子计算机的机床制造方式及有关问题

单元生产方式是引进带工业机器人DNC系统和利用电子计算机管理生产的一种生产方式，从其应用看，在产品制造过程中使用电子计算机，可望有许多优越性。但在机床制造中引进电子计算机以推进自动化，要晚于其他行业。因为在机床制造中，经验及理解力这类不确定的人为因素起着特别重要的作用，有许多难于进行自动化之处。此外，由于企业规模不大，投资效果也成问题。

在现行设计系统的基础上，设想未来可能实现的机床CAD系统如图 1-6 所示。从迄今的机床设计情况看，欲完全实现图示CAD系统是困难的，获得发展的仅仅是不需要人们高度理解力的

简单的加工过程自动化。并且，已实现的也主要是设计计算、绘制零件图及组件图的自动化<sup>1)</sup>。若今后发展 CAD 系统，估计在机床的硬技术方面会出现机床的构造方法问题。

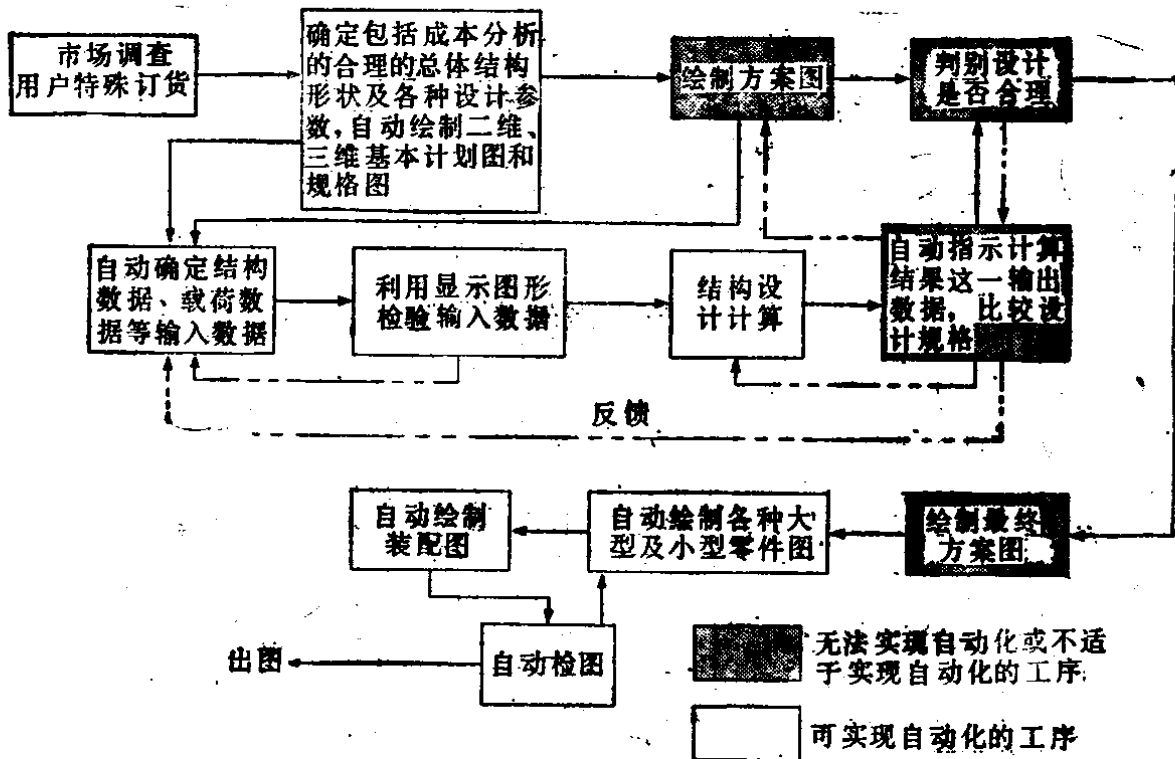


图1-6 用于机床结构设计的CAD系统

可以认为，今后对结构形式的研究并非以现有结构为对象，而是要研究适用于CAD系统的结构形式。最容易实现的一种构造方法，是利用成组技术(GT)、使用相同单元群的跨类模块化构造<sup>2)</sup>。图1-7所示为往此方向发展的过程中可能出现的技术问题。

#### 四、机床技术的发展趋向

以上概述了面临大变革时期的机床发展趋向，以及随之而来必须解决的机床技术问题。从下一章起，将详细说明这些技术的现状及问题，但从叙述的实例看，相应未来发展而新出现或可能出现的问题较少。因此，机床技术问题的一般趋向可汇总如下：

1. 由于是一门综合技术，若不把技术、经济、社会等各方面专而深的知识巧妙地统一起来，并使之融合成一体，则问题将



## 应用时需研究的原则

## 具体技术问题

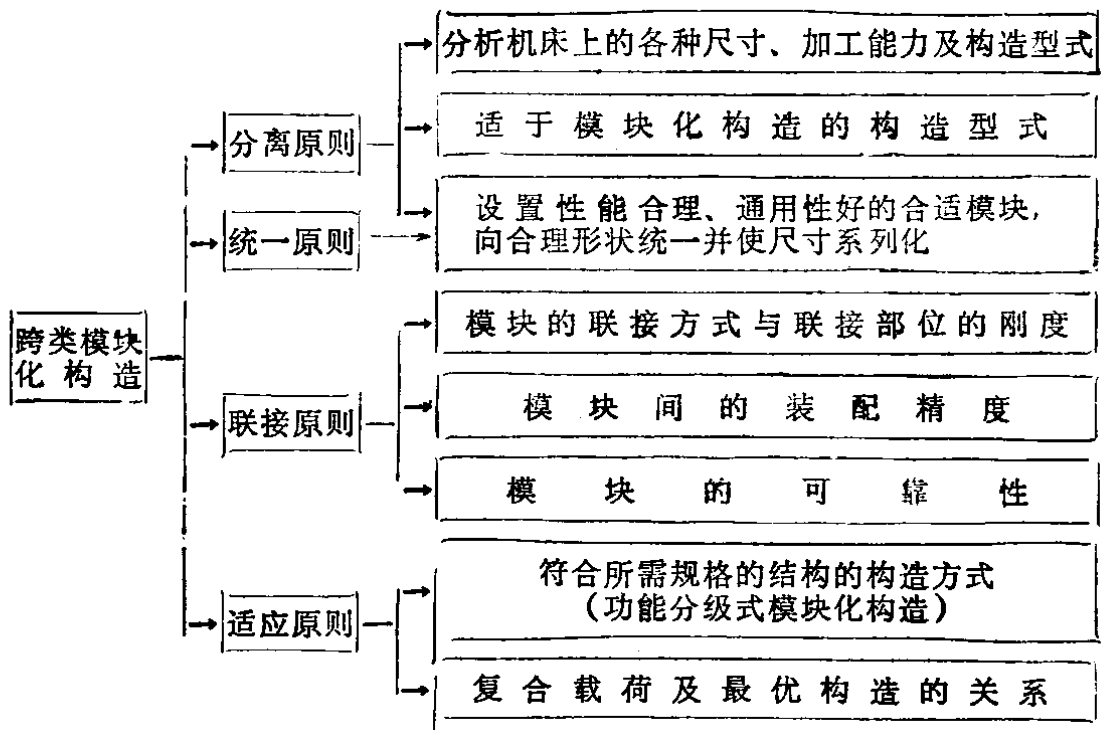


图1-7 适用于CAD系统的机床构造的技术问题

不易解决。随着电子计算机的普及使用，这一倾向也将越发明显。

2. 都是些既过时又新鲜的问题，因而温故知新十分必要。了解现用技术的历史变迁，对于预测它的未来是必不可少的。

3. 根据许多人的努力及长年的经验积累，问题的本质已很清楚，但多数还缺乏有效的解决措施。

4. 由于是人类理解力起重要作用的技术，故解决问题的过程中，应有效地利用人类理解力，进行人类与自动化这两方面因素的平衡。

## 参 考 文 献

- 1) 伊東，益子；日本機械学会誌，79，693（昭51-8）773
- 2) 伊東；第26回精密工作講習会（昭51-9），加工システムの自動化と切削工作機械，精機学会