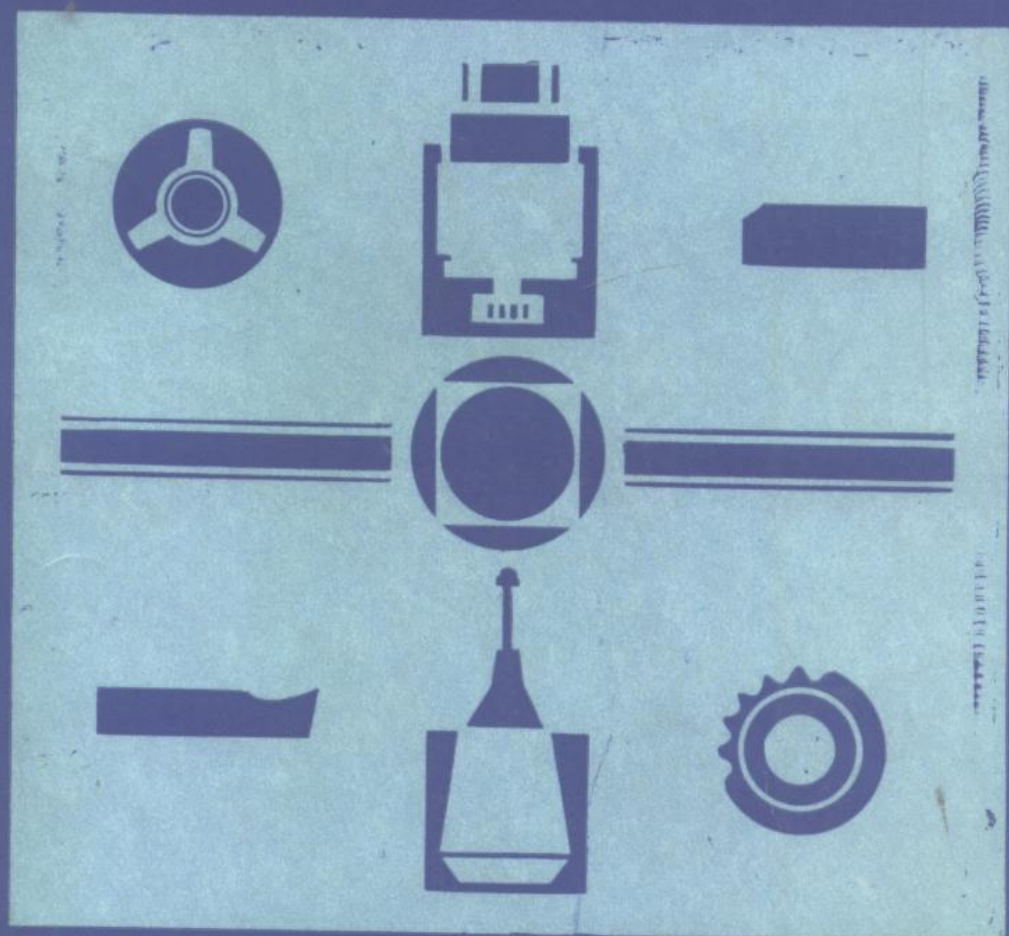


〔美〕米凯尔 P. 格鲁弗 著

# 自动化生产系统 及 计算机辅助制造



机械工业出版社

1p.27  
3

# 自动化生产系统及 计算机辅助制造

〔美〕 米凯尔 P. 格鲁弗 著

季瑞芝 鹿世金 朱双玉 译



机械工业出版社

本书内容安排为六篇共19章。第一篇阐明了制造与自动化的基本概念，探讨了工程经济学问题；第二篇介绍大批量与单件生产系统，着重对自动化作业线进行了分析研究；第三篇介绍数控加工系统；第四和第五篇论述计算机辅助制造和生产支持系统；第六篇阐述成组技术和集成生产系统。各章基本上自成一体，都举有应用实例和习题。

本书内容供从事自动化技术的工程技术人员和企业管理人员参考，也可供大专院校作工科和企业管理专业教材或参考教材之用。

**Automation, Production Systems,  
and Computer-Aided Manufacturing**

Mikell P. Groover

Prentice-Hall, INC. 1980

\* \* \*

**自动化生产系统及  
计算机辅助制造**

〔美〕米凯尔 P. 格鲁弗 著

季瑞芝 鹿世金 朱双玉 译

\*

责任编辑：严蕊琪 版式设计：乔玲

封面设计：姚毅 责任校对：熊天荣

\*

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登记证出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本 850×1168<sup>1</sup>/<sub>32</sub>·印张 19·字数 497 千字

1989年5月北京第一版·1989年5月北京第一次印刷

印数 0,001—2,110·定价：16.50元

\*

ISBN 7-111-00705-0/TP·49

## 译 序

本书内容全面，从生产自动化的基本概念开始介绍，对流水作业线、数控、工业机器人、计算机辅助制造、生产过程监控、成组技术以及包括集成生产系统等种种生产系统作了较详细的论述，可以说它是一部现代化生产方面的小百科全书。为使读者易于理解，各章都举有实例和习题。

本书不仅论述了生产自动化的理论、技术和方法，而且还论述了与自动化有关的经济方面的问题，把自动化与经济有机地联系起来，这有助于读者在决策时，不至于单纯追求自动化水平，而可选取能获得最大经济效益的最佳自动化方案。

全书由季瑞芝统稿。参加翻译的主要有鹿世金、朱双玉等同志。

在本书的翻译过程中得到了清华大学任守渠副教授、国家机械委机械工业自动化研究所何理路和李路达两位高级工程师的帮助，谨致以衷心感谢！

由于译者水平有限，译文中有错误之处，谨请读者批评指正。

译者

79751.3

## 前 言

本书介绍了生产自动化及其有关系统中的各方面的问题，其中包括流水作业线生产（底特律型自动化）、数控、工业机器人、计算机辅助制造、生产过程的监控、成组技术、柔性制造系统以及材料需求计划，它实际上是一部现代化制造系统的小百科全书。人们一直想要了解有关生产自动化的全部问题，但是却无法在一部书中一览无遗。

本书主要是为工程技术人员和工科学生编写的。他们想要了解现代化生产工厂的自动化技术和计算机辅助制造的方法。由于本书着重阐述的，不仅是与自动化有关的技术问题，而且还有经济问题，因此，对于企业管理人员和研究企业管理的研究生们，也是有益的。

本书也可用作大学高年级学生、研究生在工业、机械、制造工程管理等课程方面的教材。美国各大学的工学院，正在愈来愈多地设立制造系统和计算机辅助制造方面的课程，因而，本书适合这些课程的需要。本书也适用于企业管理研究生院的技术生产课程。书中所包含的课题，或许要比绝大多数大学教师希望在一个学期内安排的课程多些。本书内容，适合各项课程的要求，而且各章都自成一体，因此，对不同需要的教师可根据一定的课程，从中选择所需要的部分作为重点。

《自动化、生产系统及计算机辅助制造》也是为从事实际工作的工程技术人员和负责生产职能的企业管理人员编写的。他们必须跟上制造业中技术不断革新的步伐，齐头并进。本书阐述了一些系统的实例，说明这些系统在工业实际中的应用情况，并且列举了各种自动化技术应用的原则和相对的优缺点，以便帮助从事实际工作的工程技术人员和企业管理人员为公司可能采用的设备，作出合理的决策。

## 符 号 表

- $a$  用来解二次微分方程的参数。  $a = K_d/2M$ 。
- $B$  用来计算两段流水作业线的  $h(b)$  的参数。
- $B_{1,2}$  二进制计数器中二进制数字的状况 (0 或 1)
- $b$  带工件存储装置的自动化流水作业线中的存储缓冲器的缓冲能力。
- $C$  常数 (即泰劳工具寿命方程式中的  $C$ )。
- $C(s)$  控制器的传递函数。
- $C_{a,}$  流水作业线中自动操作工位每次所需的成本。
- $C_{at}$  流水作业线中自动传送装置每次使用所需的费用。
- $C_L$  每次开动流水作业线的成本, 其中包括劳动力、管理费以及在整个服务期间投资的分配。
- $C_m$  流水作业线生产的每件产品的原材料成本, 也指一台自动化组合机床所生产的一件组装件中的每一元件的成本。
- $C_0$  人工操作工位或单机的每次操作人员费用。
- $C_{pc}$  每一工件的平均成本。
- $C_t$  流水作业线上每一工件可任意加工的成本。
- $C_t$  机械加工中每个切削刃口的刀具成本。
- $D$  自动化流水作业线停工时间的比例。
- $D_k$  多段流水作业线中第  $K$  段停工时间部分。
- $D_p$  梯度的方向——矢量值。
- $D_w$  每周需求量。
- $d$  切削工序中的切削深度。
- $d$  流水作业线上的平衡延迟, 通常用于装配作业线。
- $E$  一条自动化流水作业线的利用率或工作时间的比例。
- $E_k$  一条自带工件存储区的自动化流水作业线中第  $k$  段的利用率。
- $E_0$  一条不自带工件存储装置的自动化流水作业线的功效。
- $E_{\infty}$  一条自带工件存储装置的自动化流水作业线的总功效。作业线上各段系由具有无限能力的存储缓冲区分开。

- $e$  电压。
- $e$  误差信号。  $e = e(s)$ 。
- $e_i$  最小方差计算中使用的误差, 其中  $i$  代表第  $i$  个数据集。
- $e_n$  反馈控制系统中误差信号的离散值。
- $F$  作业线每循环一次停机的频率。
- $F$  力。
- $F_C$  切削工序中的切削力。
- $f$  机床刀具的进给率。
- $f_t$  传送带上工件之间的时间间隔, 即进给率。
- $f_h$  传送带流水作业线的进给速度。
- $f_p$  脉冲频率(脉冲序列的频率)。
- $f_r$  钻头每转的进给量。
- $f_s$  铣刀的每次走刀的进给量。
- $G$  前馈传递函数。  $G = G(s)$ 。
- $G_p$  梯度——某些搜索过程中使用的矢量。
- $H$  反馈传递函数。  $H = H(s)$ 。
- $H_s$  每班工作小时。
- $h$  容器内液位差。
- $h(b)$  在一条两段作业线中, 当段 2 在能力  $b$  的限制范围内仍能工作时, 段 1 理想停工时间的比例。
- $i$  工位的脚标。
- $j$  说明作业线停工原因的脚标。
- $j$  用来标志流水线平衡中的工作环节。
- $K$  方程式(5-46)定义的参数。
- $K$  控制器增益。
- $K_d$  减振器的阻尼系数。
- $K_S$  弹簧常数。
- $k$  自带工件存储装置的自动化流水作业线中各段的脚标。
- $L$  使  $b$  超过  $BT_d/T_c$ 。
- $L_s$  流水作业线上每个工位的长度。
- $M$  质量。
- $M_p$  梯度的数值——标量。
- $m$  不合格的装配零件造成工位停工的概率。 $m_i$ 表示工位  $i$  的概率。

- $N$  位数(二进制数)。
- $n$  工程经济计算中的周期时间(通常为年)。
- $n$  流水作业线上的工位数。
- $n$  根轨迹中使用的离散变量。
- $n$  泰劳工具寿命方程式中的指数。
- $n_a$  部分自动化流水作业线中的自动操作工位数。
- $n_e$  作业线平衡一项任务的最小合理的工作元件数。
- $n_m$  工件流程必须经过的机器数。
- $n_0$  部分自动化的流水作业线上手工操作的工位数。
- $n_p$  传递函数中的极点数。
- $n_s$  步进电机每一整转中的分步角数。
- $n_1$  1把铣刀的齿数。
- $n_z$  传递函数中的零点数。
- $P$  脉冲序列的脉冲数。
- $P$  根轨迹中极点的数值。
- $P_{ap}$  没有不合格零件的装配件比例或产量。合格产品的产量。
- $P_{qp}$  至少含有1个次品零件的装配件的比例。
- $P(s)$  过程传递函数。
- $PC$  每周以件数计的生产力。
- $p$  由其坐标 $X_1$ 、 $X_2$ 所定义的响应面上的一点。
- $P$  自动化流水作业线中工件可能在某一工位壅塞的概率。 $P_i$ 是在工位 $i$ 上的概率。
- $Q$  流水作业线上所生产的工件数量。
- $Q$  在一定时间内所生产的工件批量数或工件数。
- $q$  不合格率(废品率)。
- $R$  流道阻力。
- $R_{ap}$  合格零件的生产率。
- $R_e$  流水作业线理论上的生产率。
- $R_p$  流水作业线实际平均生产率; 每台机床的平均生产率。
- $r$  2段自动化流水作业线中段2和段1的停工率之比。
- $r$  回归分析中抽样相关系数。
- $S$  机床的主轴速度。

- $S$  步进电机的转速。
- $S_w$  工厂每周的开工班数。
- $s_e$  回归分析中使用的估计标准误差。
- $s_p$  传送带作业线上工件的间距。
- $s$  微分算子和拉普拉斯变换的变量。
- $T$  切削刀具的寿命。
- $T_c$  流水作业线理想的或理论上的循环时间。
- $T_d$  作业线发生故障时平均停机时间。
- $T_{c,j}$  进行最小合理工作单元  $j$  需要的时间。
- $T_h$  工件搬运时间; 工件装卸时间。
- $T_n$  每个工件的实际加工时间。
- $T_{n0}$  每个工件与每个工序间的平均非加工时间。
- $T$  每个工件的平均加工时间。
- $T_p$  每个工件的平均生产时间。
- $T_{pi}$  在  $i$  工位的加工时间。
- $T_{m0}$  生产机床的调定时间。
- $T_t$  传送带作业线上的可容许时间。
- $T_{tc}$  每个切削刃的更换时间。
- $T_{th}$  每个工件在每台机床上用的工具装卸时间。
- $T_{w0}$  作业线上总工作量的时间。
- $t$  时间变量。也用作微分方程中独立的时间变量。
- $V$  切削工序中的线性速度。
- $V(t)$  电压, 时间函数  $t$ 。
- $V_t$  传送带速度。
- $V_{min}$  最小成本的切削速度。
- $V$  数字-模拟转换器转换过程的输出电压。
- $V_{ref}$  参考电压。
- $W$  工厂中作业中心数。
- $x$  被置换的变数。
- $x_p$  过程的输入量和控制器的输出量。
- $x_{pn}$   $x_p$  的变量。
- $y$  系统的因变数或输出变量。

- $z$  根轨迹中零点的数值。
- $z$  目标函数或性能指标。
- $\alpha$  步进电机的每步角度。
- $\beta$  根轨迹中  $\cos^{-1} \zeta$ 。
- $\zeta$  阻尼系数。
- $\omega$   $\sigma + j\omega$  的复数中的虚数部分。
- $\omega_d$  自然衰减频率。
- $\omega_n$  自然频率。
- $\sigma$   $\sigma + j\omega$  的复数中的实数部分。
- $\sigma_b$  根轨迹中的分离点和会合点。
- $\sigma_c$  根轨迹图中渐近线的中心。
- $\tau$  时间常数。
- $\tau$  抽样瞬间之间的时间间隔。

# 目 录

前言

符号表

## 第一篇 制造与自动化的基本概念

|                  |    |
|------------------|----|
| 第 1 章 概论         | 1  |
| 1.1 自动化的定义       | 1  |
| 1.2 实现自动化的理由     | 3  |
| 1.3 支持和反对自动化的论点  | 4  |
| 1.4 本书的编排        | 7  |
| 参考文献             | 9  |
| 第 2 章 生产工序与自动化策略 | 10 |
| 2.1 什么是生产        | 10 |
| 2.2 基础工业         | 10 |
| 2.3 制造业公司的内部组织   | 13 |
| 2.4 生产车间         | 19 |
| 2.5 生产工序         | 23 |
| 2.6 一般生产工序模型     | 25 |
| 2.7 自动化策略        | 32 |
| 参考文献             | 36 |
| 习题               | 36 |
| 第 3 章 生产中的经济分析   | 38 |
| 3.1 导言           | 38 |
| 3.2 投资分析的基本原理    | 38 |
| 3.3 生产中的各项成本     | 44 |
| 3.4 盈亏平衡分析       | 49 |
| 参考文献             | 52 |
| 习题               | 52 |

## 第二篇 大批量 单件 生产系统

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 第4章 底特律型自动化         | 61  |
| 4.1 导言              | 61  |
| 4.2 设备的实际布置         | 62  |
| 4.3 传送工件的方法         | 65  |
| 4.4 传送机构            | 67  |
| 4.5 增加费用选定附件        | 71  |
| 4.6 机械加工自动化         | 76  |
| 4.7 自动化装配           | 80  |
| 4.8 设计和制造方面的考虑      | 83  |
| 参考文献                | 86  |
| 习题                  | 87  |
| 第5章 自动化流水作业线的分析     | 89  |
| 5.1 导言              | 89  |
| 5.2 常用术语与分析         | 90  |
| 5.3 对无存储能力的传送作业线的分析 | 94  |
| 5.4 对无存储能力的装配机的分析   | 93  |
| 5.5 部分自动化           | 108 |
| 5.6 有零件存储的自动化流水作业线  | 111 |
| 5.7 自动化流水作业线的计算机模拟  | 121 |
| 参考文献                | 122 |
| 习题                  | 123 |
| 第6章 流水作业线负载平衡问题     | 128 |
| 6.1 导言              | 128 |
| 6.2 作业线负载平衡问题       | 131 |
| 6.3 作业线负载人工平衡法      | 138 |
| 6.4 用计算机处理的作业线负载平衡法 | 146 |
| 6.5 改进作业线负载平衡的其他途径  | 150 |
| 6.6 文献指南            | 154 |
| 参考文献                | 155 |
| 习题                  | 155 |

### 第三篇 数控加工系统

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 第7章 数字控制 .....        | 161 |
| 7.1 导言 .....          | 161 |
| 7.2 什么是数字控制 .....     | 161 |
| 7.3 坐标系统和机床运动 .....   | 168 |
| 7.4 NC系统的种类 .....     | 170 |
| 7.5 数字控制的应用 .....     | 174 |
| 7.6 数控的经济效果 .....     | 178 |
| 参考文献 .....            | 183 |
| 第8章 NC零件程序设计 .....    | 184 |
| 8.1 零件程序设计方法 .....    | 184 |
| 8.2 穿孔带及穿孔带的规格 .....  | 185 |
| 8.3 人工零件程序设计 .....    | 194 |
| 8.4 计算机辅助零件程序设计 ..... | 198 |
| 8.5 APT语言 .....       | 204 |
| 参考文献 .....            | 217 |
| 习题 .....              | 217 |
| 附录: APT字的定义 .....     | 221 |
| 第9章 数控的发展 .....       | 231 |
| 9.1 导言 .....          | 231 |
| 9.2 直接数字控制(DNC) ..... | 232 |
| 9.3 计算机数控(CNC) .....  | 236 |
| 9.4 机械加工自适应控制 .....   | 238 |
| 9.5 工业机器人 .....       | 245 |
| 9.6 NC目前的发展趋势 .....   | 250 |
| 参考文献 .....            | 252 |
| 习题 .....              | 253 |

### 第四篇 计算机辅助制造

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 第10章 CAD/CAM的基本原理 ..... | 257 |
| 10.1 导言 .....           | 257 |

|      |                        |     |
|------|------------------------|-----|
| 10.2 | 计算机辅助设计 .....          | 258 |
| 10.3 | 计算机辅助制造 .....          | 265 |
|      | 参考文献 .....             | 275 |
| 第11章 | 工业计算机 .....            | 277 |
| 11.1 | 计算机及其外部设备 .....        | 277 |
| 11.2 | 计算机的分类 .....           | 285 |
| 11.3 | 计算机程序设计语言 .....        | 288 |
| 11.4 | 计算机与生产过程的接口 .....      | 292 |
| 11.5 | 接口硬件 .....             | 298 |
| 11.6 | 计算机控制程序的设计 .....       | 314 |
| 11.7 | CAM中的分级计算机系统 .....     | 321 |
|      | 参考文献 .....             | 325 |
|      | 习题 .....               | 326 |
| 第12章 | 计算机过程监督 .....          | 327 |
| 12.1 | 导言 .....               | 327 |
| 12.2 | 生产监督系统的类型 .....        | 329 |
| 12.3 | 过程监督提供的信息 .....        | 333 |
|      | 参考文献 .....             | 341 |
| 第13章 | 过程控制基础——模型的建立和分析 ..... | 342 |
| 13.1 | 导言 .....               | 342 |
| 13.2 | 过程模型的建立 .....          | 343 |
| 13.3 | 传递函数和框图 .....          | 353 |
| 13.4 | 拉普拉斯变换 .....           | 364 |
| 13.5 | 控制机能 .....             | 373 |
| 13.6 | 线性系统分析 .....           | 379 |
| 13.7 | 根轨迹法 .....             | 385 |
| 13.8 | 系统设计 .....             | 393 |
|      | 参考文献 .....             | 403 |
|      | 习题 .....               | 404 |
| 第14章 | 直接数字控制 .....           | 412 |
| 14.1 | 导言 .....               | 412 |
| 14.2 | 模拟控制 .....             | 413 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 14.3 直接数字控制 .....       | 415 |
| 14.4 直接数字控制的优缺点 .....   | 420 |
| 参考文献 .....              | 421 |
| 习题 .....                | 422 |
| 第15章 计算机监督控制 .....      | 423 |
| 15.1 引言 .....           | 423 |
| 15.2 计算机监督控制的控制策略 ..... | 428 |
| 15.3 稳态最佳控制 .....       | 432 |
| 15.4 自适应控制 .....        | 441 |
| 15.5 在线寻优策略 .....       | 464 |
| 参考文献 .....              | 478 |
| 习题 .....                | 479 |

## 第五篇 生产支持系统

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 第16章 作业级的生产系统 .....     | 485 |
| 16.1 综述 .....           | 485 |
| 16.2 计算机编制的工时标准 .....   | 486 |
| 16.3 机加工性能数据系统 .....    | 492 |
| 16.4 切削条件最佳化 .....      | 500 |
| 参考文献 .....              | 504 |
| 习题 .....                | 505 |
| 第17章 工厂级的生产系统 .....     | 507 |
| 17.1 生产计划与生产控制 .....    | 507 |
| 17.2 物料需求计划 (MRP) ..... | 510 |
| 17.3 生产能力计划 .....       | 521 |
| 17.4 车间现场控制 .....       | 527 |
| 参考文献 .....              | 532 |
| 习题 .....                | 532 |

## 第六篇 成组技术和集成生产系统

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 第18章 成组技术 ..... | 535 |
| 18.1 引言 .....   | 535 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 18.2 零件族 .....           | 537 |
| 18.3 零件分类与编码 .....       | 540 |
| 18.4 生产流程分析 .....        | 550 |
| 18.5 机床单元设计 .....        | 554 |
| 18.6 成组技术的好处 .....       | 557 |
| 18.7 自动工艺规程设计 .....      | 559 |
| 参考文献 .....               | 563 |
| 习题 .....                 | 564 |
| 第19章 柔性制造系统 .....        | 565 |
| 19.1 引言 .....            | 565 |
| 19.2 FMS能够解决的问题 .....    | 566 |
| 19.3 柔性制造系统的各个组成部分 ..... | 569 |
| 19.4 应用实例 .....          | 579 |
| 19.5 自动化工厂 .....         | 582 |
| 参考文献 .....               | 585 |
| 部分习题答案 .....             | 586 |

# 第一篇 制造与自动化的基本概念

## 第 1 章 概 论

### 1.1 自动化的定义

本书叙述的是生产自动化问题。这些年来，为了说明这一技术，产生了许多新术语。这些新术语，如数控、制造系统和计算机辅助制造，在 30 年前是无人知晓的。诸如 机械化这一类老的名词，实际上已从技术词汇中消失。新的自动化技术的发展，标志着一个已经存在了几十年，而且还在继续不断演变着的过程。有人甚至会说，这一过程是随着工业革命（约在 1770 年）开始的，然后，机器开始取代过去由手工操作的作业，自动化则在可见的将来仍将是继续进行下去的一种技术发展的过程。

自动化是指这样一种技术，它把复杂的机械、电子和以计算机为基础的系统应用于生产操作和控制中。这项技术包括：

- 加工工件的自动机床；
- 物料自动搬运系统；
- 将零件装配成产品的自动装配机；
- 流水作业线；
- 反馈控制系统；
- 计算机过程控制系统；

为支持制造活动用来收集数据、进行规划和作出决策的计算机控制系统。

这些内容，基本上局限于金属加工业中分件制造的自动化。