

# 数 控 软 件

国 防 工 业 出 版 社



8722/  
343  
C.2

# 数 控 软 件

〔日〕岸 甫 编著

沈阳市日用机械研究所 译

曾 英、姜文炳 校



## 内 容 简 介

本书主要介绍数控软件方面的有关问题：数控基本知识、手工编程、自动编程、自由曲面的创成、后置处理程序、直接数控和计算机数控、特殊系统（机器人、自动仓库、装配线平衡，适应控制）和软件、数控教育和计算机以及数控术语等。

本书比较全面地介绍了数控软件技术，并列举了程序例子和切削实例。

本书可供从事数控软件的技术人员参考，也可作为高等院校教学参考。

NCソフトウェア

〔日〕岸 甫

工業調査会 1972年

\*

## 数 控 软 件

〔日〕岸 甫 编著

沈阳市日用机械研究所 译

曾 英、姜文炳 校

\*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

\*

787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 22<sup>5</sup>/<sub>8</sub> 525 千字

1980年3月第一版 1980年3月第一次印刷 印数：00,001—38,000册

统一书号：15034·1838 定价：2.35元

## 译校者的话

数字控制（简称数控，即 NC）是本世纪五十年代初问世的一项新技术，由于具有一系列的优点，获得了引人重视的应用与发展。到目前为止，在数控的基础上已发展有群控（DNC）、计算机数控（CNC）、适应控制（AC）、计算机辅助制造（CAM）和计算机辅助设计（CAD）等，这些新技术为实现自动化开辟了广阔的前景。而随着数控硬件的迅速发展，数控软件则成为急需解决的迫切问题。

为了满足数控软件工作的需要，我们翻译了《NCソフトウェア》一书，该书较系统地介绍了数控软件技术。它从数控编程的基础讲起，阐述了手工编程、自动编程，着重介绍了 APT 数控编程语言，同时还分别介绍了日本的 OKISPOT 数控编程语言和德意志联邦共和国的 EXAPT 数控编程语言。特别是对于自由曲面的处理和后置处理程序，分别作为独立的一章加以叙述。对于 DNC、CNC、机器人、自动仓库以及数控教育等方面的有关软件也作了概括的介绍。书中还列举了一些具体程序例子和切削零件的实例。

由于译校者水平所限，译文中错误和不确切之处在所难免，恳请读者批评指正。

# 目 录

## 第一章 编制程序所需要的数控基础知识

### 知识 ..... 1

|                         |  |
|-------------------------|--|
| 1.1 数控的发展简史.....1       |  |
| 1.1.1 数控硬件的历史 .....1    |  |
| 1.1.2 数控软件的历史 .....2    |  |
| 1.2 数控的原理.....4         |  |
| 1.2.1 前言 .....4         |  |
| 1.2.2 数控机床的开动 .....4    |  |
| 1.2.3 数控的控制方式 .....6    |  |
| 1.2.4 点位控制和轮廓控制 .....7  |  |
| 1.3 数控的应用范围.....11      |  |
| 1.4 数控和控制坐标轴的名称 .....14 |  |
| 1.4.1 坐标轴命名的基本方法.....14 |  |
| 1.4.2 Z轴的运动.....15      |  |
| 1.4.3 X轴的运动.....15      |  |
| 1.4.4 Y轴的运动.....15      |  |
| 1.4.5 其他附加轴.....15      |  |
| 1.4.6 实际应用图例.....15     |  |
| 1.5 数控软件的范围 .....20     |  |
| 1.5.1 数控软件的分类.....20    |  |

## 第二章 手工编制程序 ..... 22

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| 2.1 控制带制作的顺序及其使用的机器 .....22 |  |
| 2.1.1 零件程序编制员.....23        |  |
| 2.1.2 数控用图纸.....23          |  |
| 2.1.3 程序单.....23            |  |
| 2.1.4 纸带穿孔.....24           |  |
| 2.2 控制带格式 .....29           |  |
| 2.2.1 格式的分类.....29          |  |
| 2.2.2 字地址方式的信息单位.....30     |  |
| 2.2.3 程序段内的程序顺序.....31      |  |
| 2.2.4 各种速度控制码.....33        |  |
| 2.2.5 G, M功能的说明.....37      |  |
| 2.3 插补的种类 .....40           |  |
| 2.3.1 直线插补.....40           |  |
| 2.3.2 圆弧插补.....41           |  |
| 2.4 程序举例 .....43            |  |
| 2.4.1 程序例子(1).....43        |  |

|                      |  |
|----------------------|--|
| 2.4.2 程序例子(2).....45 |  |
|----------------------|--|

|                      |  |
|----------------------|--|
| 2.4.3 程序例子(3).....47 |  |
|----------------------|--|

## 第三章 自动编(制)程(序) ..... 49

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| 3.1 数控语言和自动编制程序 .....49             |  |
| 3.1.1 自动编制程序的必要性.....49             |  |
| 3.1.2 纸带制备过程.....51                 |  |
| 3.1.3 数控语言和电子计算机.....53             |  |
| 3.1.4 图形显示和数控纸带.....54              |  |
| 3.2 APT (MINIAPT) .....58           |  |
| 3.2.1 APT的发展历史 .....58              |  |
| 3.2.2 APT (MINIAPT) .....59         |  |
| 3.2.3 APT (MINIAPT) 的基本语法 .....64   |  |
| 3.2.4 定义.....70                     |  |
| 3.2.5 定位指令.....85                   |  |
| 3.2.6 轮廓控制指令.....88                 |  |
| 3.2.7 后置处理程序.....96                 |  |
| 3.2.8 特殊指令.....96                   |  |
| 3.2.9 LOOP和MACRO.....98             |  |
| 3.2.10 TRACUT和COPY .....103         |  |
| 3.3 APT语言的特殊功能和多轴控制.....108         |  |
| 3.3.1 立体形状的定义 .....108              |  |
| 3.3.2 POCKET .....117               |  |
| 3.3.3 BPOCKET .....120              |  |
| 3.3.4 MULTAX.....124                |  |
| 3.3.5 TLAXIS .....126               |  |
| 3.3.6 VTLAXS .....129               |  |
| 3.3.7 RLDSRF .....133               |  |
| 3.4 OKISPOT .....137                |  |
| 3.4.1 OKISPOT 的特点 .....137          |  |
| 3.4.2 OKISPOT语言的语法 (SYNTAX).....138 |  |
| 3.4.3 OKISPOT 词的分类 .....139         |  |
| 3.4.4 OKISPOT 语言 .....140           |  |
| 3.4.5 用 OKISPOT语言写的程序例子 .....147    |  |
| 3.5 EXAPT .....148                  |  |
| 3.5.1 EXAPT 系统 .....149             |  |
| 3.5.2 EXAPT 系统的能力 .....150          |  |
| 3.5.3 EXAPT 语言 .....153             |  |

## 第四章 自由曲面的创成 ..... 164

|                       |  |
|-----------------------|--|
| 4.1 自由曲面创成理论 .....164 |  |
|-----------------------|--|

|       |                   |     |
|-------|-------------------|-----|
| 4.1.1 | 前言                | 164 |
| 4.1.2 | 曲面创成程序            | 164 |
| 4.2   | FMILL/APTLFT      | 172 |
| 4.2.1 | FMILL的概要          | 172 |
| 4.2.2 | FMILL能处理的面        | 173 |
| 4.2.3 | FMILL面的定义方法       | 175 |
| 4.2.4 | FMILL的输出          | 178 |
| 4.2.5 | APTLOFT的概要        | 179 |
| 4.2.6 | APTLOFT的用法        | 179 |
| 4.3   | GEMESH            | 184 |
| 4.3.1 | GEMESH的概要         | 184 |
| 4.3.2 | 程序单的写法            | 185 |
| 4.3.3 | 栅(fence)的输入       | 189 |
| 4.3.4 | 零件坐标系向机床坐标系的变换    | 191 |
| 4.3.5 | 日本早期使用GEMESH的切削   | 193 |
| 4.4   | BSURF(波音曲面)       | 194 |
| 4.4.1 | BSURF/TYPE1,TYPE2 | 194 |
| 4.4.2 | BSURF/TYPE3,TYPE4 | 198 |
| 4.5   | 用有理式表示曲面          | 201 |
| 4.5.1 | 有理三次曲线            | 201 |
| 4.5.2 | 有理双三次曲面           | 202 |

## 第五章 后置处理程序 .....204

|       |                               |     |
|-------|-------------------------------|-----|
| 5.1   | 后置处理程序                        | 204 |
| 5.1.1 | 什么是后置处理程序                     | 204 |
| 5.1.2 | 后置处理程序的输入数据                   | 204 |
| 5.1.3 | 后置处理程序的结构和工作                  | 208 |
| 5.2   | 铣床类机床用的后置处理程序                 | 210 |
| 5.2.1 | 特点                            | 210 |
| 5.2.2 | 铣床类机床用的后置处理程序语句               | 213 |
| 5.3   | 同时控制多轴用的后置处理程序                | 216 |
| 5.3.1 | 特点                            | 216 |
| 5.3.2 | 同时控制多轴用的后置处理程序语句              | 218 |
| 5.4   | 车床用的后置处理程序                    | 219 |
| 5.4.1 | 特点                            | 219 |
| 5.4.2 | 车床用的后置处理程序语句                  | 224 |
| 5.5   | 后置处理程序的特殊功能                   | 226 |
| 5.5.1 | 简化零件程序编制的功能                   | 226 |
| 5.5.2 | 校验功能                          | 227 |
| 5.5.3 | 核对功能                          | 229 |
| 5.6   | 确定切削条件的程序                     | 229 |
| 5.6.1 | 独立的切削条件确定程序                   | 230 |
| 5.6.2 | 作为电子计算机数控系统的一个单位的<br>切削条件确定程序 | 230 |
| 5.6.3 | 作为后置处理程序的一个单位的切削条<br>件确定程序    | 231 |
| 5.6.4 | 切削条件确定程序中主要的数控<br>语言系统        | 232 |
| 5.7   | 模拟程序                          | 233 |

|       |                      |     |
|-------|----------------------|-----|
| 5.7.1 | 前言                   | 233 |
| 5.7.2 | 试运行程序的目的和概要          | 233 |
| 5.7.3 | AST(APT Simulator)语言 | 235 |

## 第六章 直接数控(DNC)和计算机 数控(CNC) .....241

|       |                             |     |
|-------|-----------------------------|-----|
| 6.1   | 直接数控(DNC)                   | 241 |
| 6.1.1 | 直接数控(DNC)和计算机数控<br>(CNC)的背景 | 241 |
| 6.1.2 | 各国的DNC系统                    | 244 |
| 6.1.3 | 冲电气的COMPUTROL-45            | 247 |
| 6.1.4 | 利用电子计算机进行生产过程管理             | 251 |
| 6.2   | 计算机数控(CNC)                  | 253 |
| 6.2.1 | 软联接数控的揭幕                    | 254 |
| 6.2.2 | 计算机数控(CNC)和插补的软化            | 255 |
| 6.3   | 自动线的计算机控制                   | 262 |
| 6.3.1 | 自动线和电子计算机                   | 262 |
| 6.3.2 | 系统的处理内容及特点                  | 263 |
| 6.3.3 | 系统的构成和发展性                   | 263 |
| 6.3.4 | 经济性                         | 264 |

## 第七章 特殊系统和软件 .....265

|       |             |     |
|-------|-------------|-----|
| 7.1   | 机器人         | 265 |
| 7.1.1 | 机器人控制       | 265 |
| 7.1.2 | 软件研制上的问题    | 265 |
| 7.1.3 | 特殊6自由度手臂的解  | 267 |
| 7.1.4 | 实际约束的问题     | 268 |
| 7.1.5 | 障碍物的问题      | 269 |
| 7.1.6 | 其他问题        | 275 |
| 7.2   | 自动仓库        | 275 |
| 7.2.1 | 自动仓库系统      | 275 |
| 7.2.2 | 货物搬运装置及其动作  | 276 |
| 7.2.3 | 自动仓库举例      | 280 |
| 7.3   | 装配线平衡       | 282 |
| 7.3.1 | 装配线平衡及其历史   | 282 |
| 7.3.2 | 装配线和生产成本    | 282 |
| 7.3.3 | 装配线平衡       | 283 |
| 7.3.4 | 装配线平衡的方法和分析 | 285 |
| 7.3.5 | 装配线平衡的未来    | 290 |
| 7.4   | 适应控制        | 290 |
| 7.4.1 | 什么叫适应控制     | 290 |
| 7.4.2 | 适应控制的实例     | 291 |
| 7.4.3 | 适应控制的未来     | 294 |

## 第八章 数控教育和电子计算机 .....295

|     |           |     |
|-----|-----------|-----|
| 8.1 | 前言        | 295 |
| 8.2 | 教育用的电子计算机 | 295 |



|                         |            |                         |            |
|-------------------------|------------|-------------------------|------------|
| 8.2.1 计算机辅助教学 (CAI) 系统  | 295        | 9.2 切削例                 | 330        |
| 8.2.2 学习程序的编制方法         | 298        | 9.2.1 绘图机               | 330        |
| 8.3 CAI 系统和数控语言教育       | 303        | 9.2.2 液压机零件             | 331        |
| 8.3.1 APT 语言在教育中的应用     | 303        | 9.2.3 平板凸轮              | 331        |
| <b>第九章 程序例和切削例</b>      | <b>308</b> | 9.2.4 椭圆尺               | 332        |
| 9.1 程序例                 | 308        | 9.2.5 凸轮                | 332        |
| 9.1.1 圆弧切削零件程序          | 308        | 9.2.6 胶卷卷轴柄的模具          | 332        |
| 9.1.2 点位的零件程序           | 309        | 9.2.7 卡盘爪               | 333        |
| 9.1.3 凹槽                | 309        | 9.2.8 三坐标控制数控机床加工的烟灰盒   | 333        |
| 9.1.4 飞机零件              | 310        | 9.2.9 电动洗衣机的振动机         | 333        |
| 9.1.5 样板                | 313        | 9.2.10 人造卫星用电池盒         | 334        |
| 9.1.6 NAS 验收用的零件程序      | 314        | 9.2.11 自由曲面切削例          | 334        |
| 9.1.7 NAS 验收用零件程序(三坐标用) | 316        | 9.2.12 带有回转轴 (B 轴) 的加工例 | 334        |
| 9.1.8 NAS 验收用零件程序(五坐标用) | 321        | 9.2.13 照相机五棱镜套的模具       | 335        |
| 9.1.9 叶轮的程序例            | 322        | 9.2.14 车床的切削例           | 336        |
| 9.1.10 立体凸轮             | 326        | <b>第十章 数控术语</b>         | <b>337</b> |
| 9.1.11 筒形凸轮             | 327        |                         |            |

# 第一章 编制程序所需要的数控基础知识

## 1.1 数控的发展简史

1963年,美国商业部在“纽约时报”载文称:“数字控制是过去十年技术发展中最优秀的一种”。在日本,近几年来数控机床也得到了迅速的发展,甚至与电子计算机无关的机床操作者中间也传播着硬件、软件和程序编制等术语。本书的目的是尽可能具体而通俗地介绍人们过去所不太熟悉的软件,特别是数控的软件。

为了使读者便于理解,本章首先叙述数控的基础知识,对于已了解数控的读者,可以从第二、第三章开始阅读。

### 1.1.1 数控硬件的历史

数控起源于美国。由于美、苏在发展洲际弹道导弹上的竞争,使数控获得迅速的发展。可以说,数控是军备竞赛的产物。下面首先简单回顾一下硬件的发展历史。

1947年:美国密执安州特拉弗斯城帕森公司的帕森(John C. Parson),为了精确地制作直升飞机叶片的样板,设想了用电子来控制坐标镗床的方案。

1949年:美国空军后勤司令部为了在短时间内能造出经常变更设计的火箭零件与帕森公司合作,并选择麻省理工学院伺服机构研究所为协作单位。

1951年:麻省理工学院完成了这项研究工作,于1952年3月公布了最早的数控机床,并由麻省理工学院命名为“数字控制”(numerical control)。1953年发表了这项研究工作的论文。

1955年:IBM●公司的恩迪科特工厂实现了将数控应用于凸轮的实际切削中。这个系统上所使用的铣床的控制和校验法于1963年7月30日成为美国的专利。

同年夏天,吉丁-路易斯公司制成蒙皮铣床“NUMERICORD”。1957年9月由洛克希德公司购入其1号机。

9月,本迪克斯公司举行了三维凸轮切削的展出。

1956年:IBM公司恩迪科特工厂安装了带有自动换刀装置的坐标镗床,1959年9月摩根(Morgan)等人对这一自动换刀装置获得专利权。

同年,由斯特龙伯格·卡森宣布“DIGIMATIC”已实用化,1958年5月6日列为美国专利。

1958年:1月14日,由帕森和麻省理工学院发明的机床用电机控制的方案,在美国成了帕森的专利。

11月5日,卡尼·特雷克公司制成了称为“MILWAUKEE-MATIC”的加工中心,揭

---

● IBM——美国国际商用机器公司。



开了加工中心时代的序幕。1962年9月4日,机械式的自动换刀成为美国的专利。

1961年:普拉特-惠特尼公司发表了价格低廉的“TAPE-O-MATIC”式钻床。

1962年:本迪克斯公司受美国空军的委托,开始研究最佳控制。

如上所述,硬件的研制,早期几乎都是由美国进行的,到1964年初为止,已有3500台数控机床在使用中。在日本,由注意到美国数控发展动向的东京工业大学,于1955年开始了数控的研究工作,随后,机械试验所(现在的机械技术研究所)和富士通公司也很快地进行了研制。其后,1965年冲电气工业公司和本迪克斯公司进行技术合作,开始生产高技术水平的、同时多坐标轮廓控制的数控装置,从而使日本也进入了数控真正实用化的时期,群控等新的系统也不断地研制出来。

### 1.1.2 数控软件的历史

利用电子计算机,能在短时间内简单的、廉价地获得用于数控装置的机床指令带,这是数控软件的主要目的。作为数控用的计算机语言,现在世界上广泛使用APT(automatically programmed tools)语言。关于APT语言,将在第三章“APT(MINIAPT)”中作详细说明。除了APT语言之外,到目前为止,世界各国的各种企业和团体研制了种类繁多的数控语言。在这里,回顾一下数控软件的发展历程。

1953年:麻省理工学院用手工制成数控带。

1954年:IBM公司的恩迪科特工厂研制了用于IBM650电子计算机的,凸轮铣削用的,将卡片转换为数控带的程序。

1955年:麻省理工学院的鲁尼恩(J. H. Runyon)为了制作铣床用的控制带,制造了“旋风”(Whirlwind)1号电子计算机。

1956年:麻省理工学院的西格尔(A. Siegel)使用“旋风”电子计算机最先编出了数控编译程序。由于取得这一成绩,美国空军在对硬件技术合作的同时,就轮廓控制用软件的研究也和麻省理工学院签订了合同。由于罗斯(D. T. Ross)认识到APT语言的必要性,1957年在航空空间工业协会(AIA)的资助下,使用IBM704型电子计算机开始了APT语言的研究工作。

1957年:以IBM公司的马特萨(S. M. Matsu)为主,与美国空军的其他部门一起,对AUTOPROMT(机床自动编制程序)开始研究。

1959年:APT语言在AIA(航空空间工业协会)会员公司中间开始用于实际生产。

1960~1961年:研制了AUTOMAP(机床自动编制程序)、SPLIT(内部翻译处理语言)及SYMPAC(自动控制用符号程序)等许多特殊用途的数控语言。

1961年:6月,美国电子协会制定了RS244数控编码标准。

同年夏天,APT系统的管理工作移交给伊利诺斯理工学院(IIT),在圣地亚哥的肯比阿公司开始对APT的改革工作。

同年秋天,IBM公司完成了AUTOPROMT(机床自动编制程序)的研制工作。

此外,在同年,IBM公司和普拉特-惠特尼公司发表了AUTOPROPS(点位系统用自动编制程序)。

1962年:发表了以IBM公司的保罗(W. R. Paul)为主的AUTOSPOT(点位刀具用

自动系统)。

1962~1963年：发表了西屋电器公司和IBM公司的CAMP（机器自动编程用编译程序）、通用电气公司的PRONTO（数控机床用程序）、布朗-夏普公司的SNAP（简化数控自动编程序）等许多点位专用的语言。

1964年：6月，IBM公司按照和美国空军签订的合同，研制了ADAPT（空间发展APT或改进的APT）。

同年，在欧洲，阿亨工业大学的奥匹兹(H. Opitz)教授、柏林大学的西蒙(W. Simon)教授和25个企业在一起开始研制EXAPT。

1965年：日本冲电气工业公司研制了日本的第一个用于IBM7090的APT的后置处理程序。

1966年：完成了点位用EXAPT-I，并于1967年的汉诺威博览会上发表，已提高了功能。

同年在欧洲成立了APT欧洲分部。

1967年：在日本的机械振兴协会内成立了JADE（日本APT联络部）。

1968年：冲电气工业公司和日本UNIVAC在第四次国际机床展览上展出了采用远距离终端的APT综合系统（图1.1）。

1969年：春季，冲电气工业公司和安田工业公司共同完成了同时控制5坐标的后置处理程序，它作为日本最早的5坐标后置处理程序，受到人们的重视。

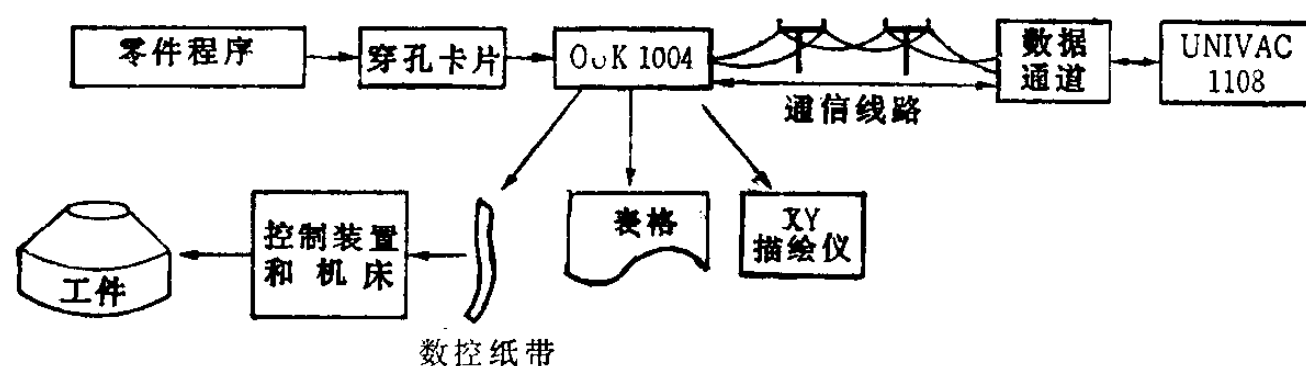


图1.1 APT综合系统(1968年由冲电气工业公司和日本UNIVAC发表)

在美国，开始研究UNIAPT等使用小型电子计算机的数控语言。

在欧洲，德国完成了车床用的EXAPT-II，英国的2CL、荷兰的MITURN、法国的IFAPT以及德国的MINIAPT等相继地研制出来。

1970年：冲电气工业公司研制出用于小型电子计算机的OKISPOT（“冲”简单点位系统）。

同年，总部设在美国IIT的APT长远规划组织，将该组织变更为CAMI（计算机辅助制造国际组织）。

1971年：冲电气工业公司与西德霍恩公司合作研制了用于OKITAC小型电子计算机的MINIAPT。

## 1.2 数控的原理

### 1.2.1 前言

“什么叫数控?”，对这个问题的最简单的解释是：“主要是用纸带上穿孔的数字信息对机床进行控制”。

读者一定会考虑“怎样来控制机床?”。在这一章里阐述用什么样的方法使数控机床工作，以及为了便于理解数控软件所必需的数控基础知识。

操作者在普通机床上要将工作台移动到所指定的位置上时，其动作大体可以分解为：

- (1) 操作者首先从图纸上看清楚要定位的位置尺寸，并记住它；
- (2) 将工作台的现在位置与上述记住的尺寸相比较；
- (3) 一边比较一边旋转手柄，使工作台移动；
- (4) 移动工作台一直到与所记住的尺寸相一致的位置上，停止旋转手柄。

上述的动作，用数控机床也是可以实现的，所不同的是，操作者的工作是由数控装置来完成的。

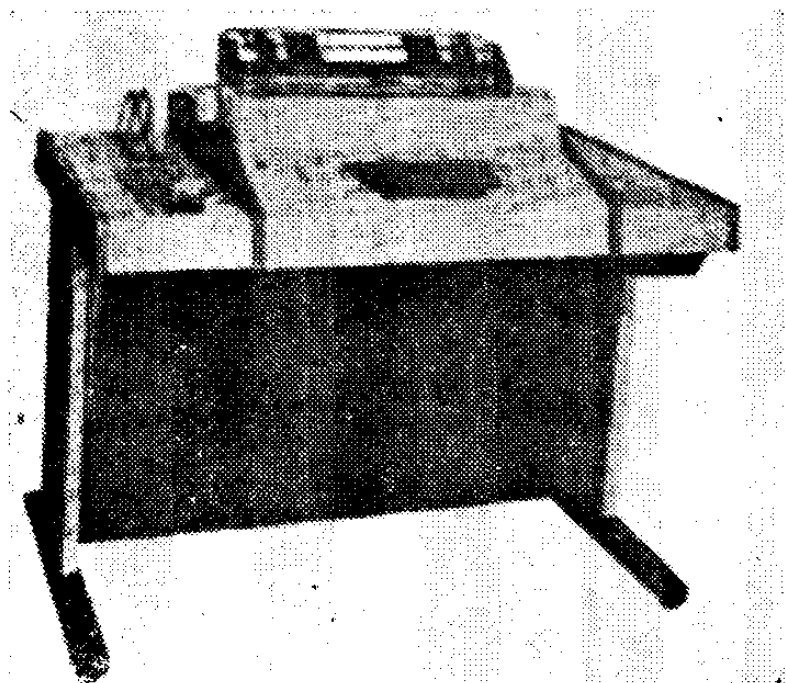
### 1.2.2 数控机床的开动

用数控机床加工时，设计图上的零件形状和尺寸要变换为数控装置能接受的符号，再变换为机床刀具实际移动量的数值。

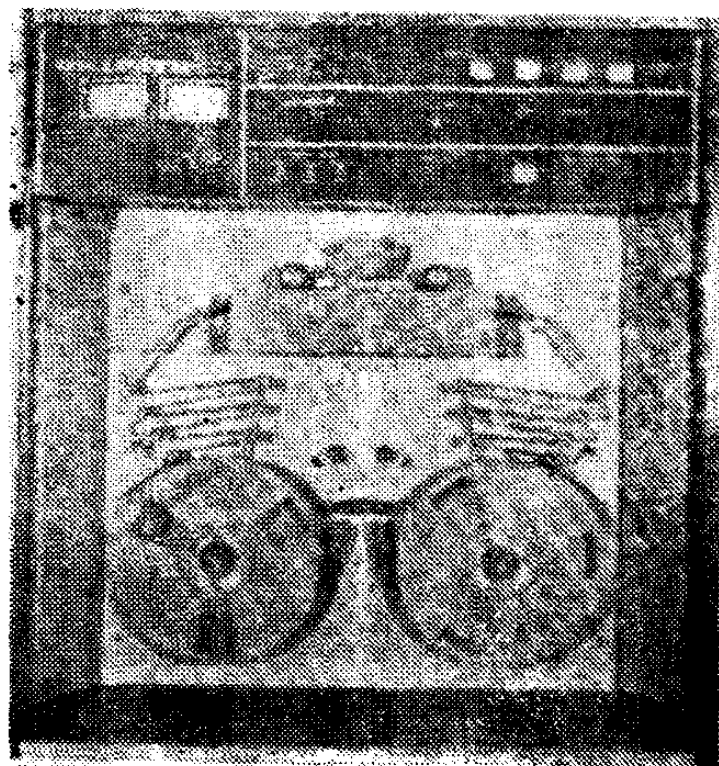
穿孔纸带是将全部数字信息传送给数控装置的一种手段。穿孔纸带上穿有移动刀具用的数字信息和规定的符号或文字。

纸带穿孔是采用如同照片 1.1 所示的 OKITYPERS 打字机或类似的设备。这种打字机的操作方法与普通打字机几乎相同。它与普通打字机所不同的是由于纸带阅读部件和纸带穿孔部件，操作者按下键盘的数字、文字或符号键时，穿孔部件将它们变换为数控装置能接受的代码并穿孔。像这种能控制数控机床所制备的穿有数字信息的穿孔纸带称为数控纸带。

已完成的数控纸带由数控装置的纸带阅读部件来阅读（照片 1.2）。照片 1.2 所示的纸



照片 1.1 制备数控纸带用的OKITYPERS



照片 1.2 数控装置的纸带阅读部件



带阅读部件称为光电纸带输入机，它是采用光源灯和光敏元件（太阳电池）而构成的阅读装置。如图 1.2 所示，纸带从光源灯下面通过时，有孔的部分可以通过光线而射向光敏元件，使它产生电流而将穿孔的代码传送到数控装置内部电路中去。

如图 1.3 所示，纸带输入机阅读的信息由叫做译码器逻辑电路来译码。在数控带上穿孔的信息包含有字母、数字和符号。译码器电路对字母进行译码，跟随在其后面的数字则存入到称为缓冲存储器的记忆装置中。

数字信息中包含有：表示刀架移动距离的数字、主轴旋转或停止等指令，它们分别存放在指定的地方。纸带输入机在读到判断各程序段结束的代码（EOB）之前，它继续进行阅读、译码和存储的动作。

在缓冲存储器电路中，设有指令值寄存器用它来存放控制纸带所指定的移动量。指令值寄存器是按照机床的坐标轴分别对应设置的。数字是以二进制数存放在指令值寄存器中。通常，我们所使用的数是十进制数，它采用 0 到 9 的数，又以个位、十位和百位等来表示。在数控装置内部，采用“0”和“1”这两个数（状态）表示，使计算方便。

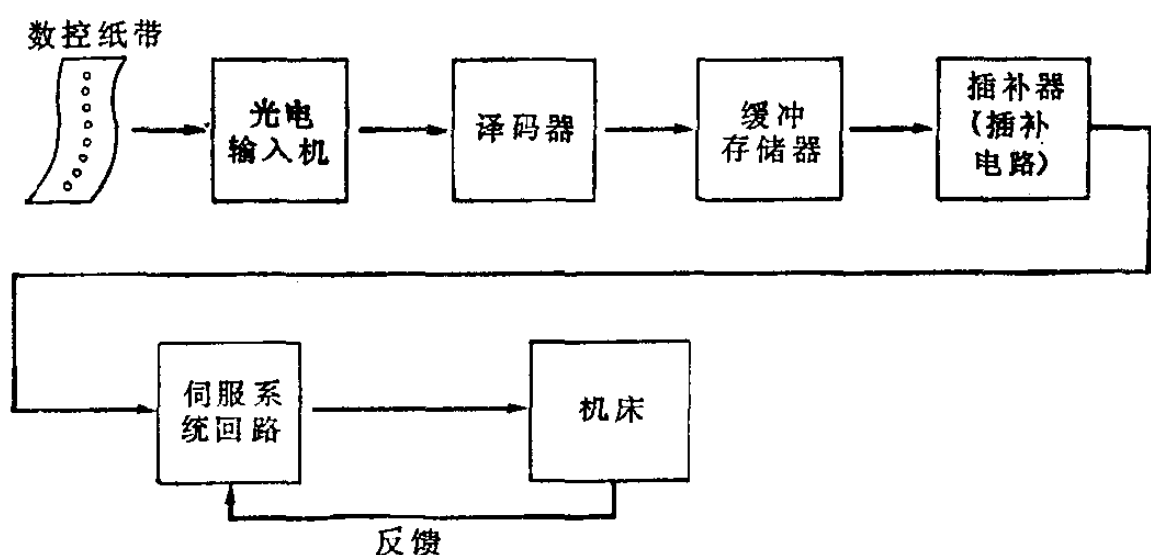


图 1.3 信息的流程

这样，每当一个程序段的信息存放在数控装置的缓冲存储器时，称为插补器（插补电路）的电路，即产生相当于工作台移动量的脉冲（参照图 1.4）。例如，设定一个脉冲相当于工作台移动 0.002 毫米，当移动量为 150 毫米时，则插补器算出为 75000 个脉冲。如图 1.4 所示，单位时间内的脉冲数表示工作台的移动速度（进给速度），而全部脉冲则表示工作台的移动量。因此，如果控制各个坐标轴的脉冲比例，就能描绘出所期望的轨迹，并进行切削；如果控制单位时间内的脉冲数，就能以预期的进给速度控制工作台。

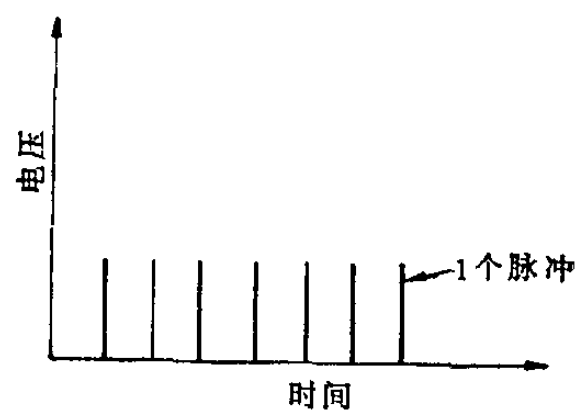
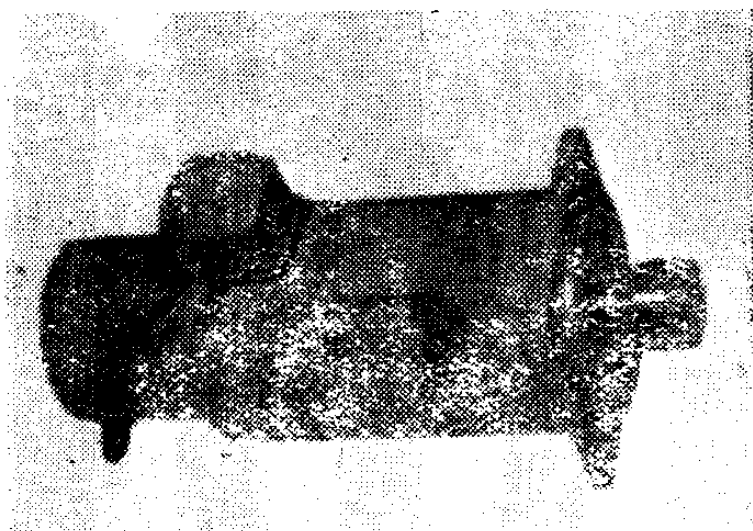


图 1.4

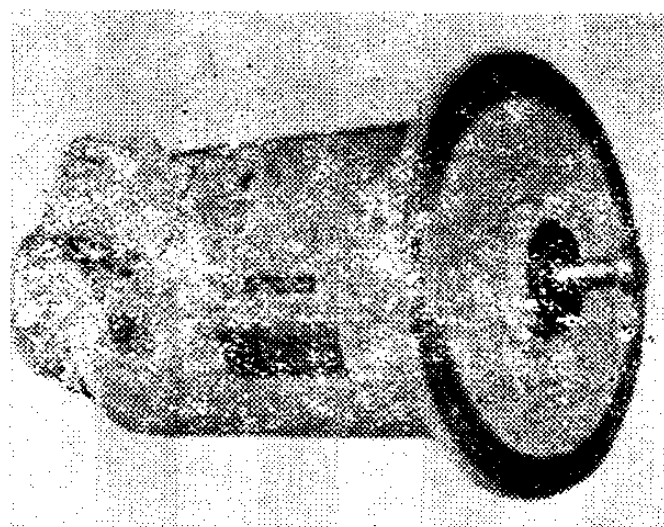
当插补器算出的脉冲数和指令值存储器的内容相一致时，也就是计算出了控制带上所指定的移动量。

插补器算出的脉冲序列输送到伺服系统回路再换成驱动电机的量。这种变换称为数模转换（D-A）。众所周知，用直接电机拖动时（照片 1.3），必须控制电压；而对于液压马达来说，为了控制液压阀（照片 1.4），就必须控制电流。这样，当马达旋转时，连结在马达轴上的齿轮系随着旋转，工作台即移动。工作台上装有检测移动量用的标尺和检测器

(照片 1.5、1.6)，将工作台的实际移动量反馈给数控装置。由伺服系统来控制工作台的移动，使它在反馈信息和控制带的指令信息相一致时才停止移动。这样，数控装置能将机床的工作台，按照所期望的轨迹和进给速度移动，并移动到所期望的位置上。

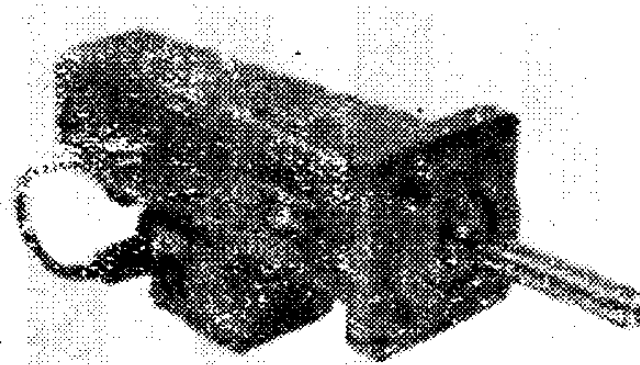


(a)

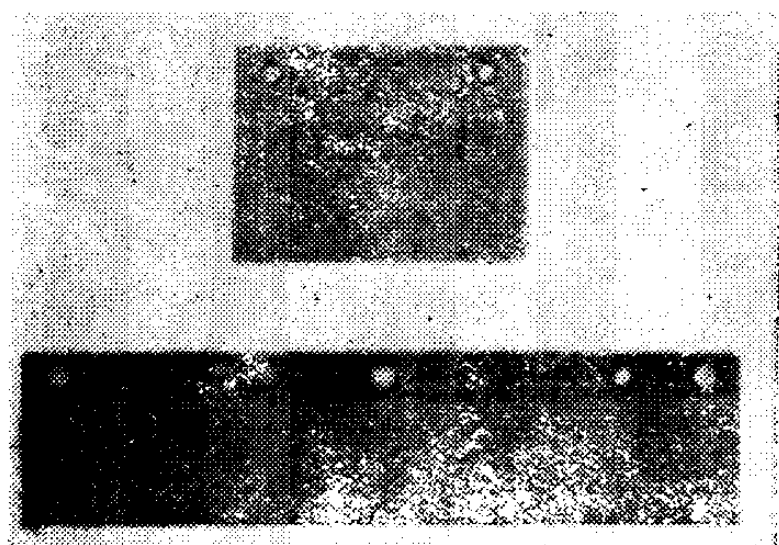


(b)

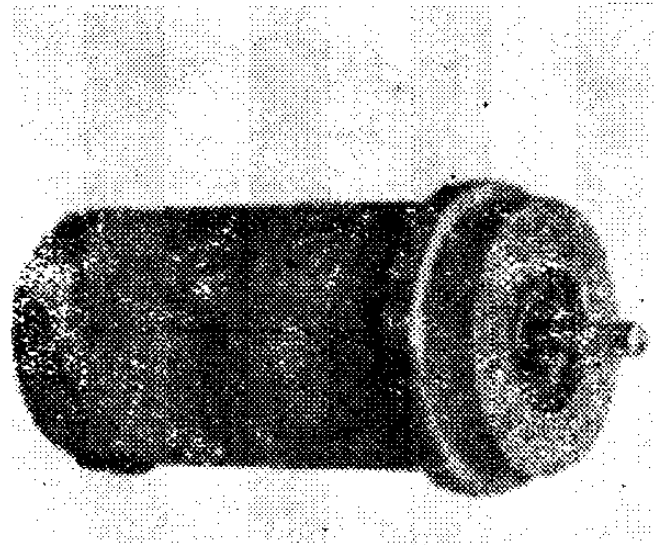
照片1.3 用于数控机的直流电机



照片1.4 液压阀和液压马达



照片1.5 标尺和检测器(感应同步器)



照片1.6 旋转变压器

### 1.2.3 数控的控制方式

数控的控制方式大体上可分为闭环方式和开环方式两种。下面阐述一下这两种方式。

#### (1) 闭环方式

操作者旋转手柄，移动工作台，使工作台移到头脑中所记忆的尺寸的位置上，这就是闭环方式。

同样，采用某种手段将机床工作台的现在位置传送给数控装置，使工作台移动到与数控装置所存储的位置相一致的方式称为闭环方式。如图 1.5 所示，为了要知道工作台的现在位置（与起始位置的距离），在工作台上装有标尺。当工作台移动时，标尺也跟着移动，

由检测器测出移动距离，把结果传送给数控装置。数控装置记忆需要移动的位置，与检测装置反馈来的位置相比较，如果两个位置相一致，则断电，使移动停止。反复进行这种动作，使工作台移动到纸带所规定的位置为止。

采用这种方式，数控装置能够知道工作台的实际移动情况，而与齿轮侧隙和进给丝杠的节距误差无关，可以实现高精度的控制。

固定在工作台上的感应同步器（图 1.6、照片 1.5）以及连结在进给丝杠上的旋转变压器（图 1.7、照片 1.6）作为检测装置，得到广泛的使用。以旋转变压器作为检测装置的方式，也可称为半闭环方式。

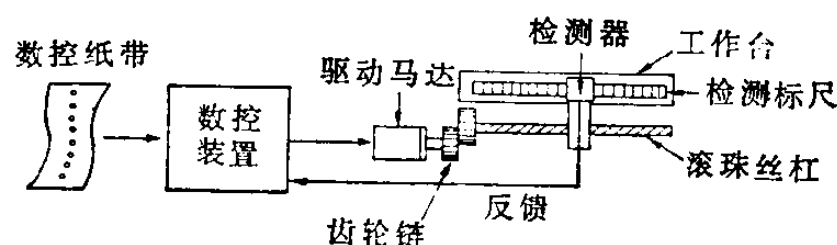


图1.5 闭环方式

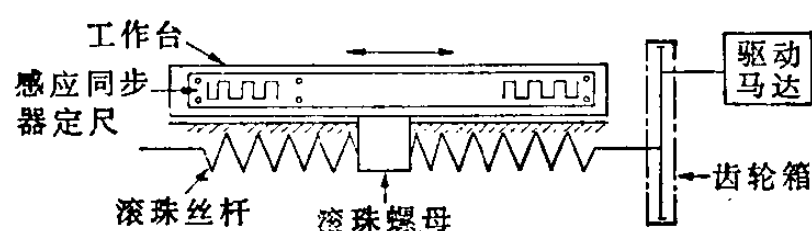


图1.6 感应同步器和工作台

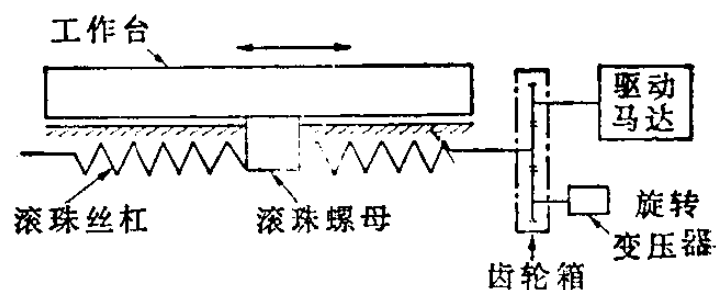


图1.7 旋转变压器

## （2）开环方式

与闭环方式相反，只从数控装置给出移动量来控制机床的方式称为开环方式。如图 1.8 所示，机床完全不向数控装置传送工作台的当前位置。因此，它不能保证动作的正确性。在开环方式中，数控装置将相当于移动量的脉冲序列传给驱动装置，驱动装置每接受一个脉冲，即使马达旋转一定角度，这样就使工作作一定距离的移动。

在这样的驱动装置中采用步进电机。步进电机在接受数控装置送来的一个脉冲时，即旋转一定的角度。采用开环方式时，机械部分的间隙会直接影响工件的精度。

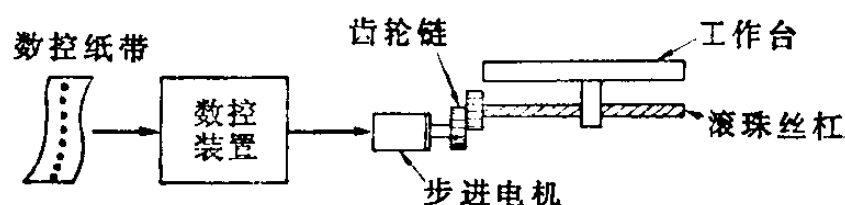


图1.8 开环方式

### 1.2.4 点位控制和轮廓控制

数控机械就其功能来说，一般可分为点位控制和轮廓控制这两种。

#### （1）点位控制

点位控制（positioning control），又称点到点控制（point to point control）。

刀具从某一位置向另一位置移动时，不管中间的移动轨迹如何，只要刀具最后能正确到达目标位置的控制方式称为点位控制。这种方式多应用于如图 1.9 所示的钻孔工作中。

如图 1.10 所示，从当前位置向目标位置移动刀具时，可采用①或者②、③、④、⑤中

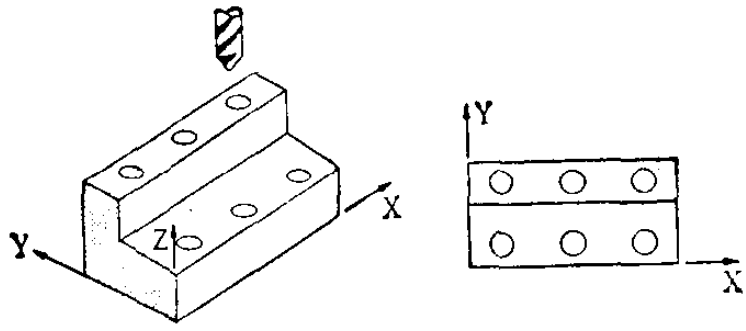


图1.9 点位数控加工的工件举例

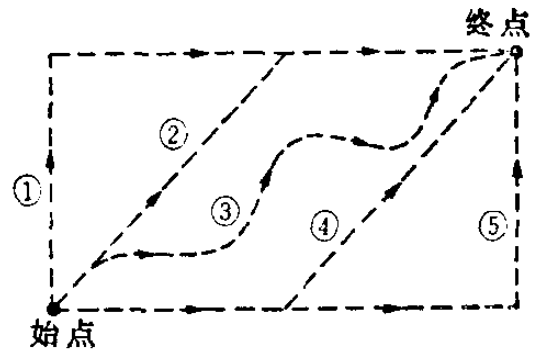
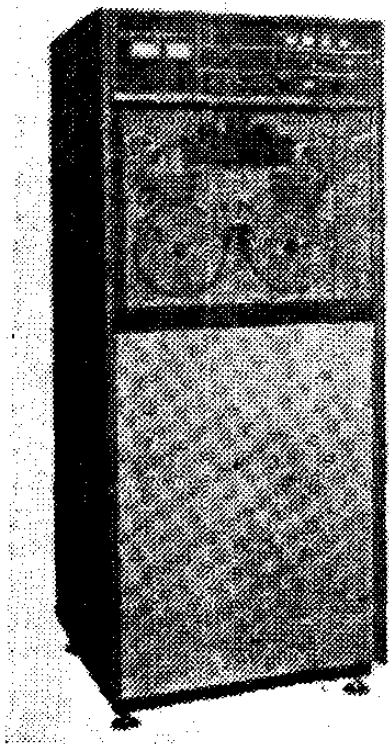


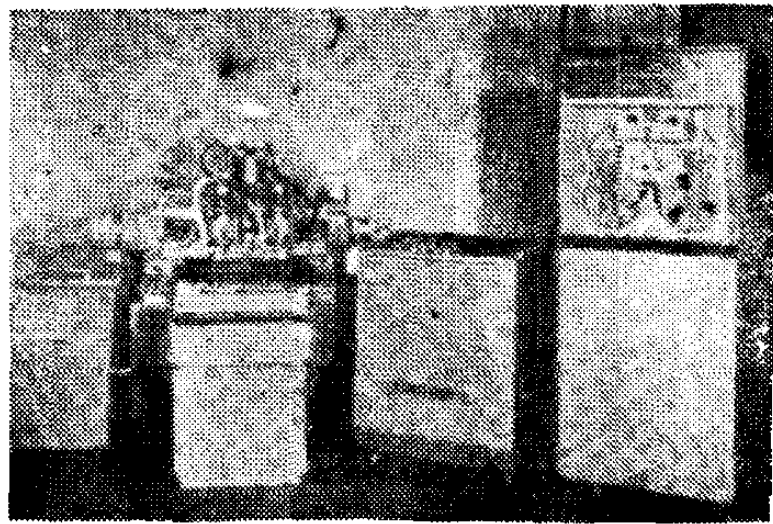
图1.10 点位运动

的任意一种轨迹。这样，即使移动中的速度和轨迹不同，只要正确地移动到最终目标上即可。适应这种目的，可以采用点位控制方式。

这种方式绝大多数用在孔加工的钻镗床和冲床。控制装置称为“点位数控装置”，OKIPOINT-32型（照片1.7）即属于这种装置。照片1.8是OKIPOINT-32控制的钻床对电子计算机印刷电路板钻孔的情况。



照片1.7 OKIPOINT-32数控装置



照片1.8 OKIPOINT-32控制的钻床

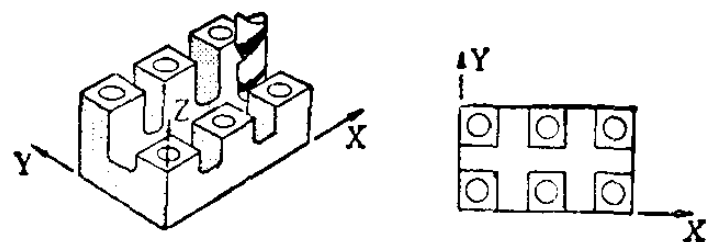


图1.11 点位加直线(轴平行)切削控制的数控装置加工的零件举例

## （2）点位加直线切削控制

直线切削控制 (straight cut control)，亦称平行切削控制 (parallel cut control)。直线切削（平行切削）是由数控装置所控制的各个坐标当中，只能对其中一个坐标的进给速度进行控制。因此，应用于铣床，能加工方形工件；应用于车床，能加工不带锥度工件。在点位功能上增加直线切削或长方形的功能，则能加工如图1.11所示的零件。

OKIPATH-200型就是按这一目的研制的数控装置，它广泛地应用在铣床和车床上(照片1.9)。

另外，直线切削或平行切削控制也可以称为同时控制一个坐标。也就是说，虽然数控装置控制的坐标数为2个坐标，但在切削状态下同时控制的坐标，只是其中的1个坐标时，则称为“2坐标控制的同时控制1个坐标”。OKIPATH-200型数

照片1.9 OKIPATH-200  
数控装置



控装置的标准型在点位状态下是“3个坐标控制的同时控制3个坐标”，在切削状态下是“3个坐标控制的同时控制1个坐标”。坐标的命名法将在1.4节的“数控和控制坐标名”中详细说明。

### (3) 轮廓控制

轮廓控制 (contouring control), 又称连续轨迹控制 (continuous path control)。

如图1.12所示, 刀具位于始点①的位置, 按图中所示的轨迹移动, 到达最终目标位置②, 切削时需要控制每个位置的XY坐标的切削方向和切削速度。这种控制移动轨迹和速度的方法称之为轮廓控制或者连续轨迹控制。利用这种功能可以进行曲线或曲面的切削。

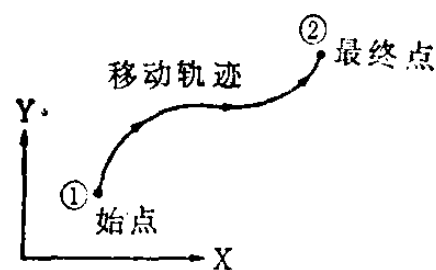


图1.12 轮廓控制(连续轨迹控制)

#### (a) 同时控制2个坐标的轮廓控制

X、Y、Z 3个坐标中同时控制XY 2个坐标时, 可以进行图1.13所示的曲线形状的加工。同时控制XZ坐标和YZ坐标时, 可以加工图1.14所示形状的零件。

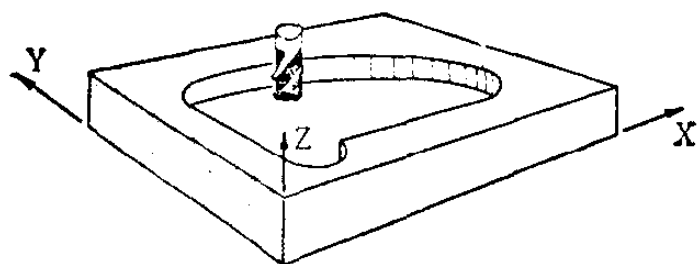


图1.13 同时控制2个坐标的轮廓控制(1)

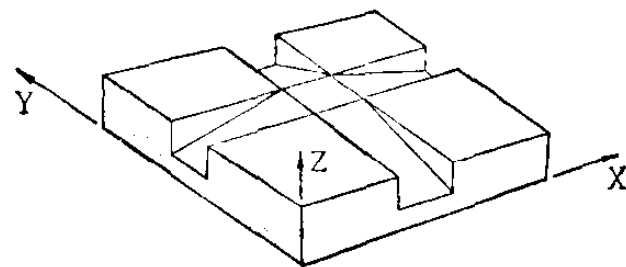


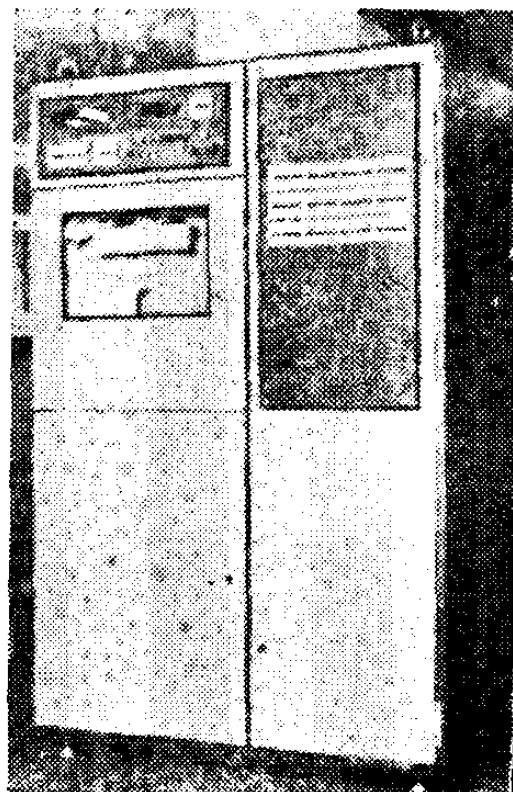
图1.14 同时控制2个坐标的轮廓控制(2)

OKIPATH-400 型数控装置 (照片1.10), 是按同时控制2个坐标的轮廓控制研制的。OKIPATH-400 的标准型, 可以进行包括旋转坐标在内的4个坐标的同时控制2个坐标的轮廓控制, 它广泛地用于铣床或加工中心。

此外, 用同时控制2个坐标的轮廓控制的数控装置来控制车床时, 它需要有车床专用的特殊功能。OKIPATH-800 型数控装置 (照片1.11) 就是专为车床控制用而研制的。



照片1.10 OKIPATH-400数控装置



照片1.11 OKIPATH-800数控装置

### (b) 同时控制 3 个坐标的轮廓控制

同时控制  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  3 个坐标时，可以加工图 1.15 或照片 1.12 所示的形状。在  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  3 个坐标内可以同时移动时，即刀具在空间内的任意方向都可移动，因而能够进行三维的立体加工。适应于这一目的的数控装置为 OKIPATH-23（照片 1.13）或 OKIPATH-1000 系列（照片 1.14）。

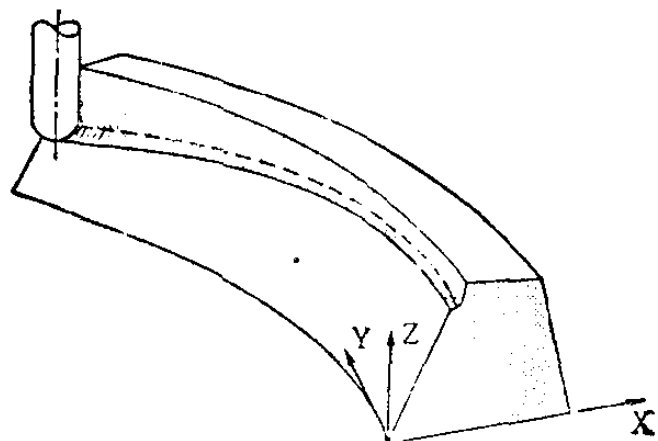
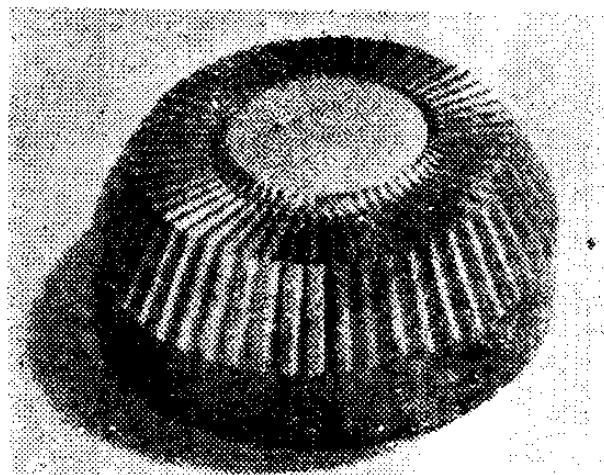
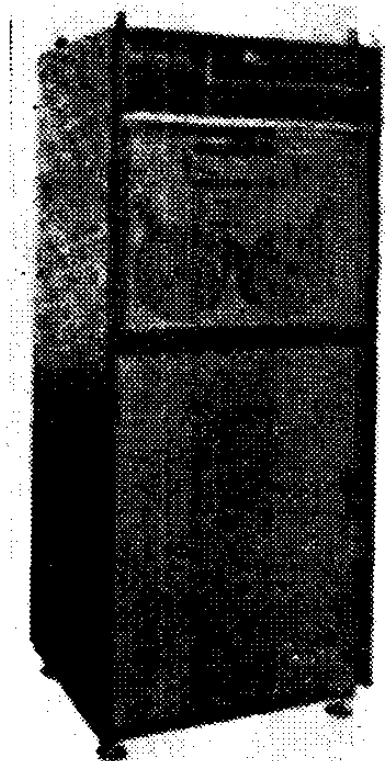


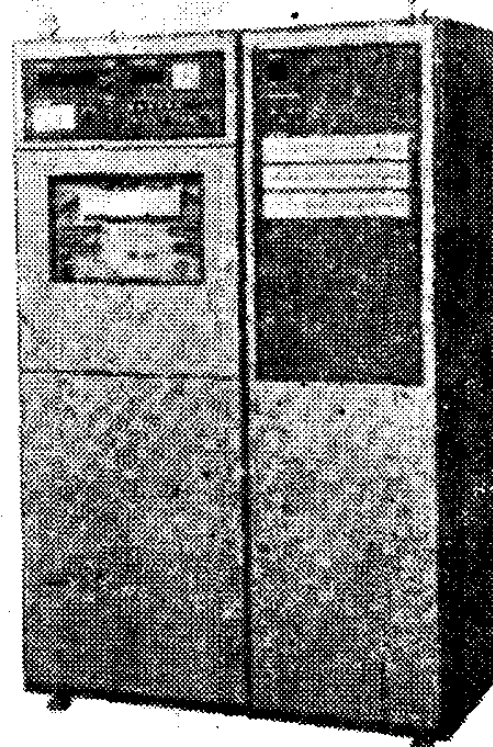
图1.15 同时控制 3 个坐标的控制装置进行的切削



照片1.12 同时控制 3 个坐标的切削例（OKIPATH-23加工的）



照片1.13 OKIPATH-23数控装置



照片1.14 OKIPATH-1000数控装置

### (c) 同时控制 4 个坐标的轮廓控制

所谓 4 个坐标，例如  $X$ 、 $Y$  和  $Z$  3 个坐标之外，再加上一个旋转坐标。如图 1.16 同时控制这样 4 个坐标时加工的工件，见照片 1.15 所示的叶轮或照片 1.16 的圆柱凸轮。为此

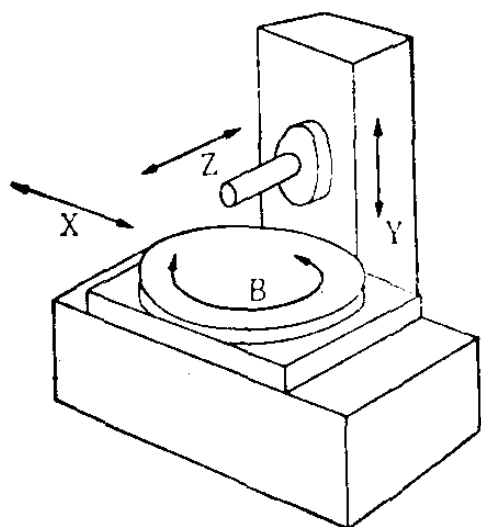
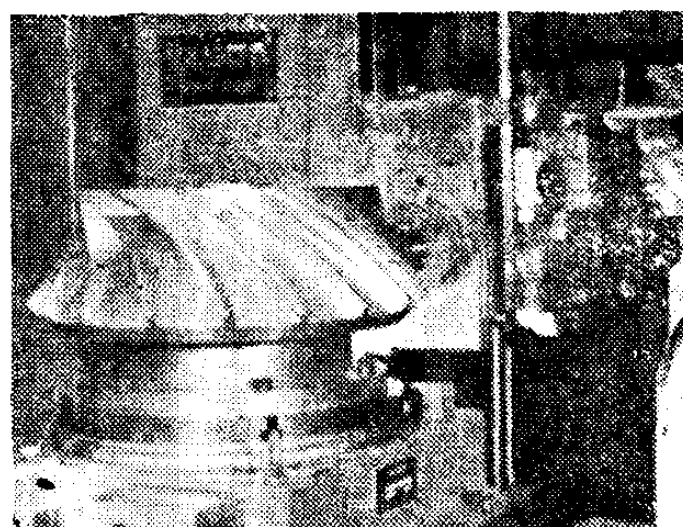


图1.16 同时控制 4 个坐标的数控机床



照片1.15 利用同时控制 4 个坐标切削叶轮（用OKIPATH-24加工）