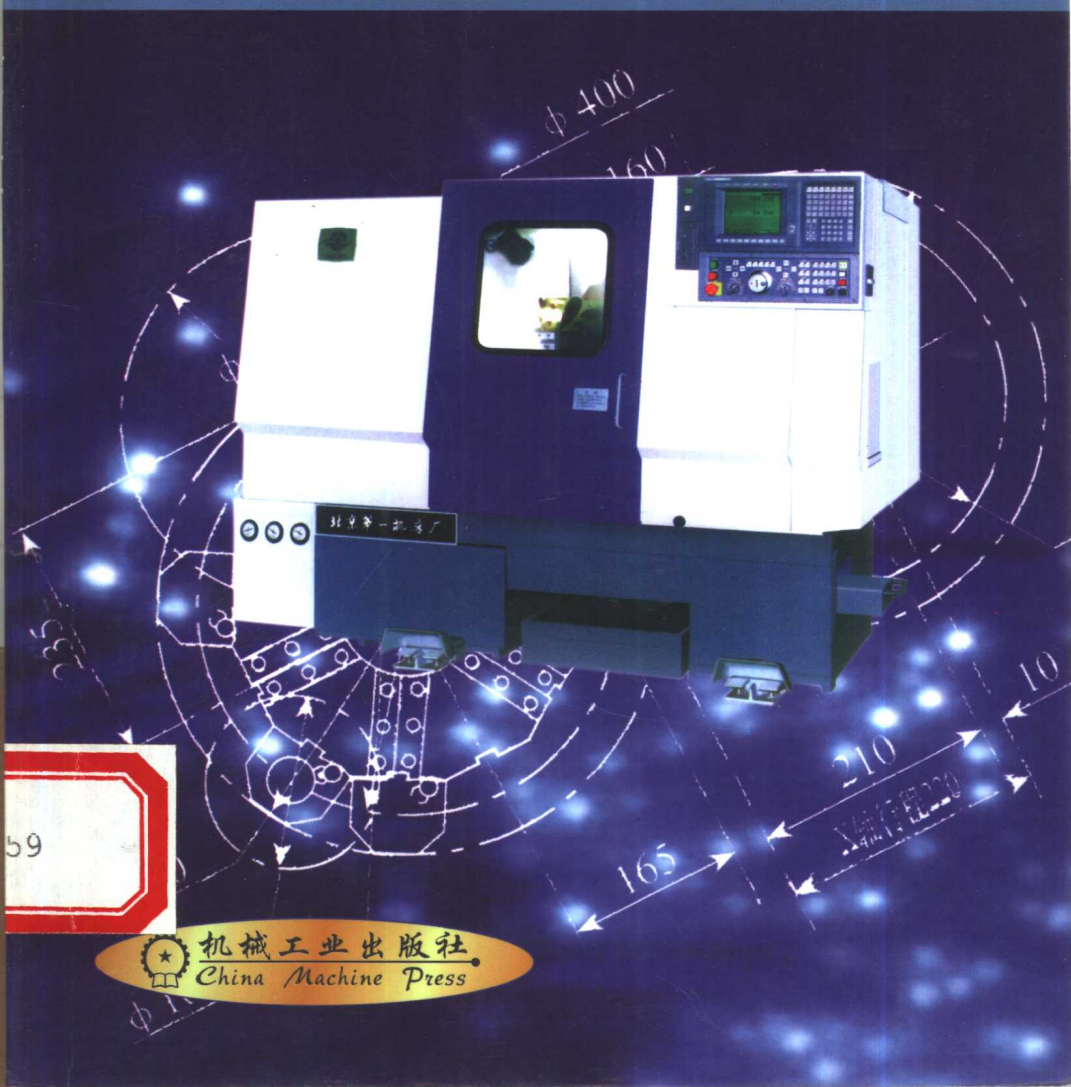


数控机床编程与应用

郭培全 王红岩 编著



机械工业出版社
China Machine Press

本书以培养数控加工技术人员的编程能力为目的,从基本概念入手,结合数控机床的发展状况和我国数控机床应用的实际情况,着重介绍了数控机床加工程序的编制步骤和注意事项。

全书共分9章,主要内容包括:数控机床简介,数控系统,换刀装置及刀具库,数控编程基础知识,插补原理,车削加工编程,钻削、铣削加工编程及计算机辅助编程。最后介绍了几种数控机床的加工编程实例。

本书内容精练,注重实用,语言通俗易懂,便于学习。本书可作为从事数控加工的工程技术人员和数控机床的操作人员的实用技术书,也可作为高等工科院校机制专业本专科学生的教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床编程与应用/郭培全,王红岩编著. —北京:机械工业出版社,2000.9

ISBN 7-111-08150-1

I. 数... II. ①郭... ②王... III. 数控机床—程序设计
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 63841 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:季顺利 版式设计:张世琴 责任校对:罗凤书

封面设计:方 芬 责任印制:路 琳

中国建筑工业出版社密云印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2000 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

850mm×1168mm¹/₃₂·7.75 印张·206 千字

0 001—4 000 册

定价:15.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68993821、68326677-2527

前 言

从第一台数控机床，到现在的计算机数控机床和现代加工中心，经历了半个世纪的发展过程。数控机床的应用也从开始的飞机制造业，逐渐渗透到了整个制造业。我国数控机床的研究、制造和应用，虽然起步较晚，但发展速度很快。特别是改革开放以来，数控技术的应用日趋广泛。目前，不仅大中型企业使用数控机床，乡镇企业、私营企业也使用数控机床；数控机床不仅应用于飞机、汽车、模具等产品的制造，还用于普通产品的开发试制。数控机床应用的范围迅速拓展及数控机床拥有量的急剧增加，使数控加工编程人员短缺的矛盾日益突出。同时，目前讲述数控加工编程的书籍和参考资料匮乏，国内学者虽撰写了不少与数控技术、数控机床相关的著作，但多数是讲原理多，讲实际应用少。为了解决上述矛盾，尽快满足数控加工编程人员学习的需要，我们经过几年的努力，编写了本书。

本书编写的指导思想是：讲原理，更重应用；内容精练，解说简明；语言严谨，通俗易懂；选材注重实用性和代表性。读者通过本书的学习后，可以详细的了解数控编程的基本知识、基本原理，能够了解数控加工的换刀装置和刀具库设置，能够学会数控车削加工、钻削加工和铣削加工的编程。

本书在编写过程中，得到了济南大学机制教研室和机械实验室的大力支持，并承蒙济南大学钟康民教授对文字和插图进行了认真审校，在此一并表示衷心的感谢。

由于编写人员水平和时间所限，书中会有错误和疏漏，恳请读者给予批评指正。

编 者

2000年5月

目 录

第 1 章 数控机床简介	1
1.1 NC 机床的发展过程	1
1.2 CNC 机床	3
1.3 NC 程序的存储介质	7
1.4 数控机床的优缺点	8
小结	9
第 2 章 数控系统	10
2.1 控制系统的分类	11
2.2 伺服装置与环路系统	13
2.2.1 伺服装置	13
2.2.2 环路系统	13
2.3 数控机床的坐标系	15
2.3.1 坐标系	15
2.3.2 位置确定方式	18
小结	19
第 3 章 换刀装置与刀具库	20
3.1 手动换刀装置	21
3.2 自动换刀装置	24
3.2.1 刀具在主轴中的定位	24
3.2.2 自动换刀装置	26
3.2.3 刀具库设置	32
小结	33
第 4 章 数控编程基础知识	35
4.1 编码	35

4.2 数控程序的基本格式	37
4.2.1 程序段格式	37
4.2.2 程序段的组成	37
4.2.3 程序结构	38
4.2.4 程序的分类	38
4.3 数控系统的功能简介	41
4.3.1 准备功能 (G 功能)	41
4.3.2 辅助功能 (M 功能)	53
4.3.3 数控编程的数值计算	57
小结	65
第 5 章 插补原理	66
5.1 概述	66
5.2 逐点比较法	67
5.2.1 逐点比较法直线插补	67
5.2.2 逐点比较法圆弧插补	72
5.2.3 坐标变换与终点判别问题	75
5.3 数字积分法	79
5.3.1 数字积分法 (DDA) 的基本原理	79
5.3.2 DDA 直线插补	80
5.3.3 DDA 圆弧插补	83
5.4 时间分割法	84
5.4.1 直线插补	85
5.4.2 圆弧插补	86
小结	88
第 6 章 数控车削加工编程	89
6.1 概述	89
6.2 车削加工编程	93
6.2.1 车外圆和车端面	94
6.2.2 车锥面	102
6.2.3 车球面	106
6.2.4 车螺纹	111
小结	118

第7章 钻削和铣削加工编程	119
7.1 钻削加工编程	119
7.2 二坐标铣削加工编程	125
7.3 三坐标加工编程	140
第8章 计算机辅助编程	159
8.1 概述	159
8.2 刀具轨迹的生成	160
8.2.1 基本概念	160
8.2.2 刀具轨迹的生成	167
8.3 刀具轨迹的编辑仿真	195
8.3.1 刀位裁剪	195
8.3.2 刀位反向	197
8.3.3 插入刀位与删除刀位	198
8.3.4 轨迹打断与轨迹连接	200
8.3.5 轨迹仿真	200
8.4 后置处理	201
8.4.1 后置设置	201
8.4.2 后置处理设置	204
8.4.3 生成G代码	206
8.4.4 校核G代码	208
第9章 数控加工编程实例	210
9.1 手工编程实例	210
9.1.1 车削加工实例1	210
9.1.2 车削加工实例2	220
9.1.3 铣削加工实例1	225
9.1.4 铣削加工实例2	229
9.2 计算机辅助编程实例	232
参考文献	240

第 1 章 数控机床简介

欢迎步入数控世界。涉足数控技术，标志着您对该学科有了浓厚的兴趣，对该学科的应用和发展前景有了深刻的认识。这一明智之举，将对您今后的工作和学习乃至一生的学习、研究和工
作，起到积极的影响。

数控（NC—Numerical Control）技术之所以在工厂和企业中广泛应用，数控机床之所以广泛应用于制造业，是因为它能解决制造系统的柔性问题。什么是数控机床？用简单的术语讲，数控机床就是能按照代码编制的程序路径自动确定位置的机床。这里的关键词是“编制的程序”和“代码”。在数控机床动作前，人们必须决定机床所要进行的加工，并将信息记录为 NC 控制装置能识别的代码形式。换句话讲，人们必须预先给机床编制程序。

给机床编程可用手工编程，也可用计算机辅助编程。手工编程记为 MDI（Manual Data Input），由计算机进行的程序编制记为 CAP（Computer Aided Programming）。

微电子技术和微计算机技术的发展，使得计算机作为现代数控机床的控制系统成为现实。计算机取代了早期 NC 机床的纸带阅读机，或者说取代了阅读和执行穿孔带上的程序，而由计算机自身调用和执行程序。这种机床叫做计算机数控机床，即 CNC（Computer Numerical Control）机床。目前，CNC 机床最为流行。因此，本书将着重介绍 CNC 机床的编程。

1.1 NC 机床的发展过程

1947 年，美国 Parsons 公司的 John Parsons 开始探讨用三坐标曲线数据来控制机床的运动，并进行实验，加工飞机零件。1949 年，Parsons 与美国空军（U. S. Air Force）签定了制造第一台数

控机床的合同。1951 年，美国麻省理工学院 MIT (Massachusetts Institute of Technology) 承担了这一项目。1952 年，MIT 用实验室制造的控制装置和新新那提 (Cincinnati Hydrotel) 公司的立式铣床成功地实现了三轴联动数控运动。随着不断的改进与完善，1955 年 NC 机床开始用于工业生产。

早期的 NC 机床使用穿孔卡和穿孔带，穿孔带使用的更为普遍。后来引入计算机辅助编程。计算机的引入有两种形式，一种形式是计算机辅助编程语言；另一种形式是直接数控 DNC (Direct Numerical Control)。计算机辅助编程语言能使程序员用通用的“格式化英语”指令开发 NC 程序，计算机将这些英语指令翻译成 NC 代码，并在穿孔带上打好孔。DNC 的引入则是用计算机作为一台或多台 NC 机床的部分或全部控制装置，如图 1-1 所示。尽管一些公司成功地实现了 DNC，但由于价格等原因，除大公司外，从经济方面来讲 DNC 是不合算的。

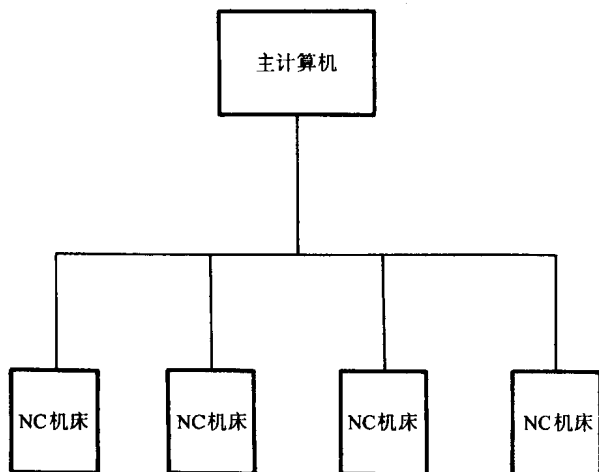


图 1-1 直接数控系统

目前已开发出了图 1-2 所示的新型 DNC (Distributive Numerical Control) ——分布式数控 (群控) 系统。一个计算机网络控制若干台 CNC 机床，甚至协调整个工厂。群控较好地解决了直

接数控系统存在的经济性方面的问题。

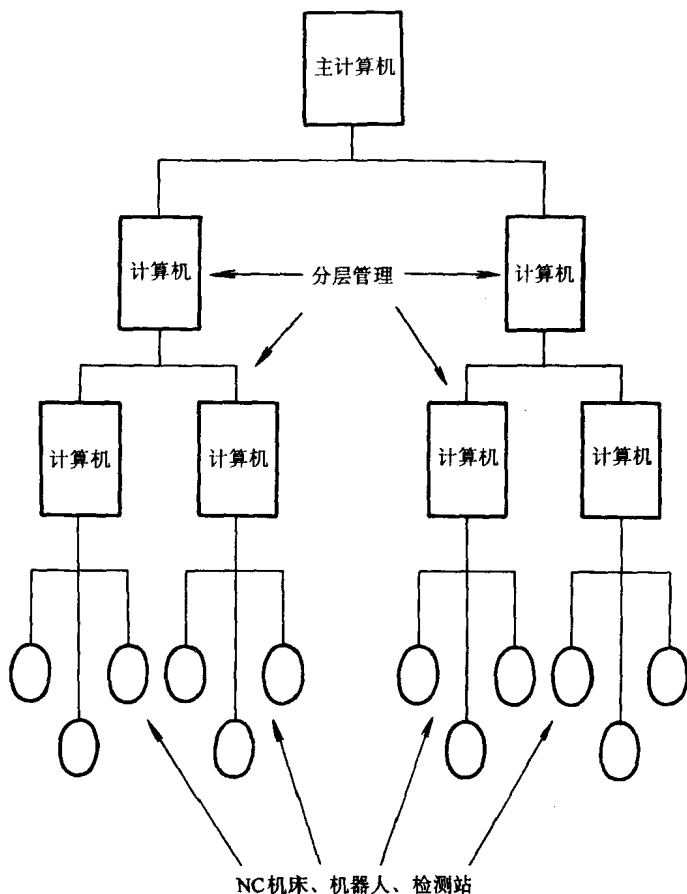


图 1-2 分布式数控（群控）系统

1.2 CNC 机床

图 1-3 ~ 图 1-7 所示均为现代 CNC 机床。CNC 机床具有比老式穿孔带 NC 机床更强的程序功能，可单台独立使用，也可形成网络。CNC 机床的编程更容易，因为大多数 CNC 机床都具有两种或两种以上编程方式。

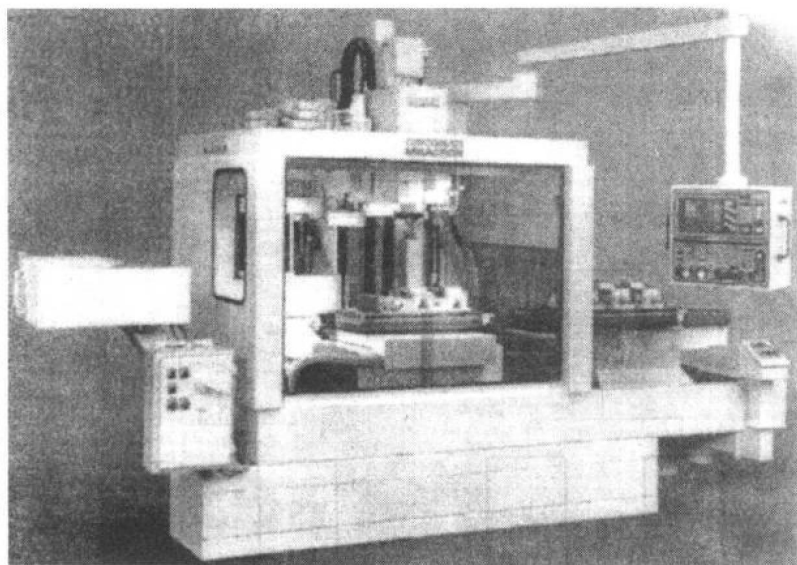


图 1-3 立式加工中心

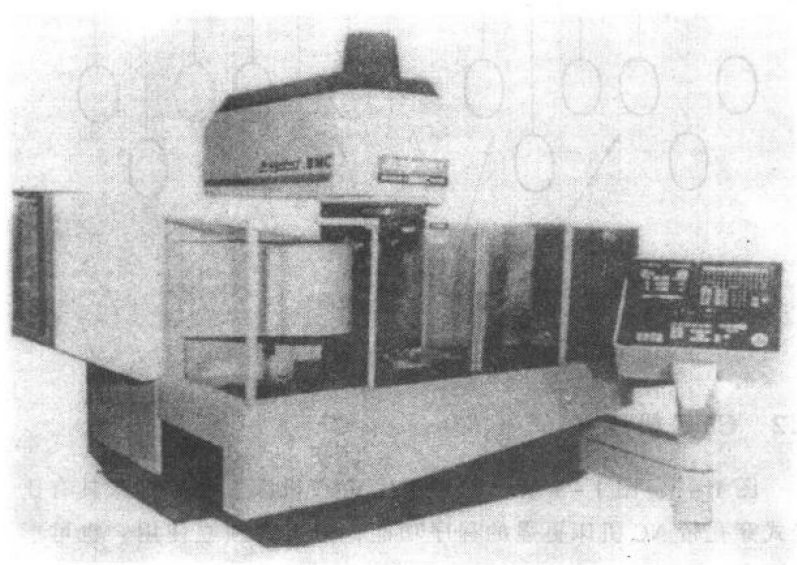


图 1-4 立式加工中心

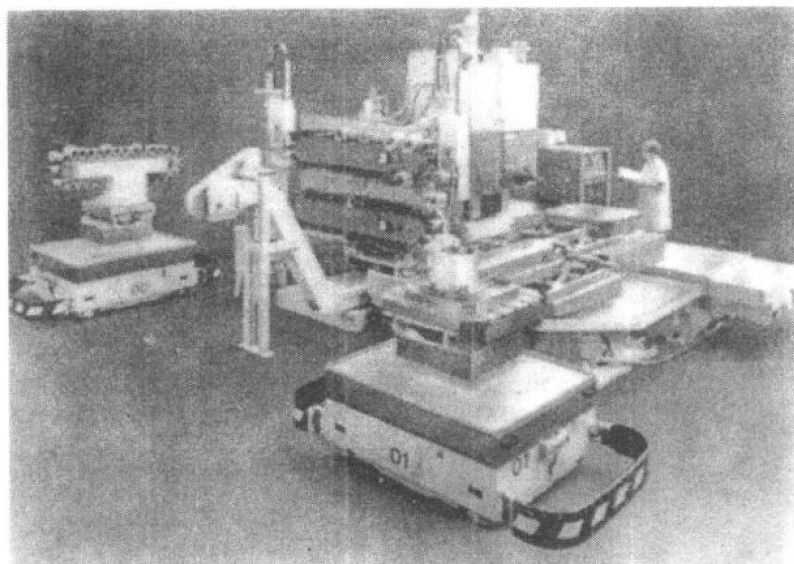


图 1-5 双矩阵式刀具库卧式加工中心

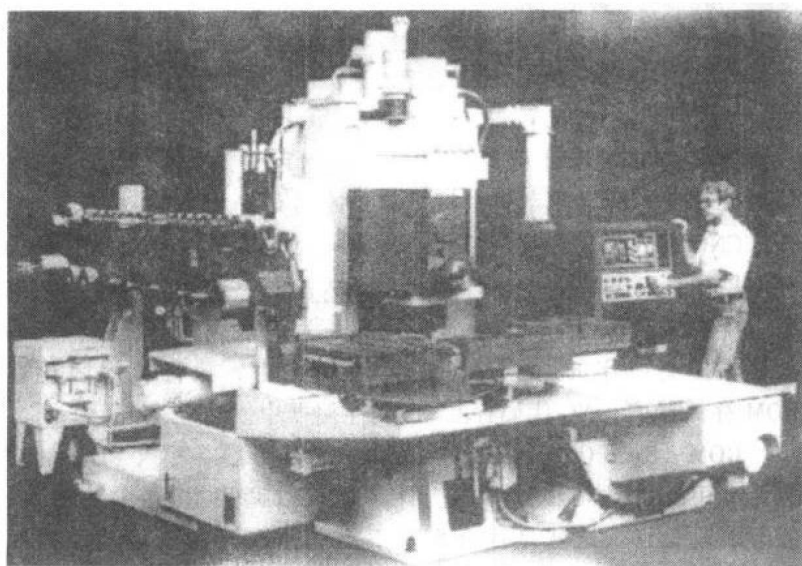


图 1-6 卧式加工中心

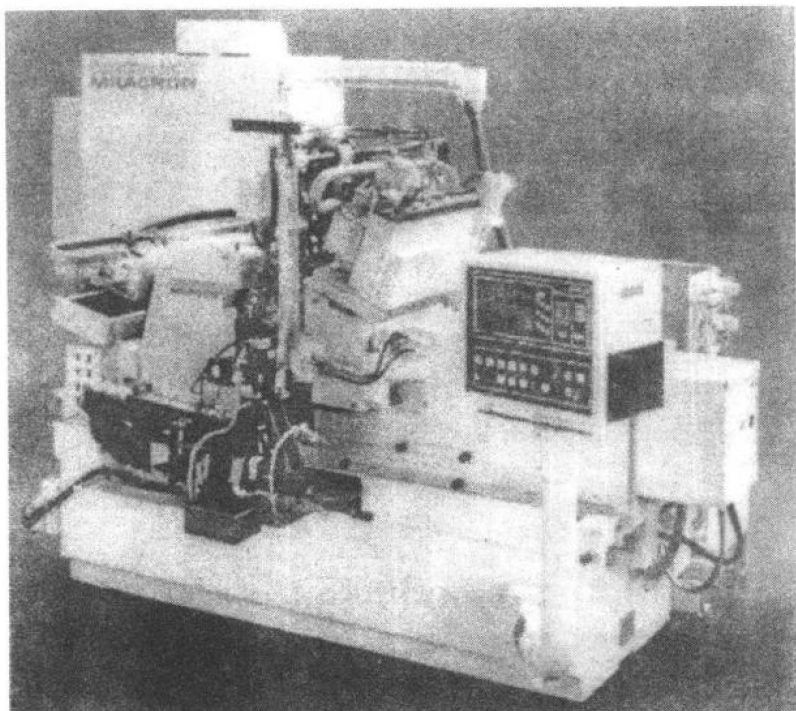


图 1-7 CNC 磨床

所有 CNC 机床都可用计算机键盘编程。此外，还可以通过软盘驱动器、光盘驱动器等读取存储在其他介质上的程序。

CNC 机床为软件控制系统，也就是 NC 程序存储在计算机的存储器中，不需要其他硬件将代码传入控制系统。软件控制系统有一个叫做执行程序（Executive Program）的永久驻留程序将代码处理成控制机床的电脉冲。在 CNC 机床中，执行程序固化在 ROM 存储器内，NC 代码存在 RAM 存储器中。

ROM（Read Only Memory）表示只读存储器。写入 ROM 的信息无专用设备是无法抹掉的。计算机可以调用 ROM 中的信息，但不能改变它。这就是执行程序不能抹掉和开机就能调用的原因。

RAM（Random Access Memory）表示读写存储器。计算机可

以调用和改写 RAM 中的信息。NC 代码可用键盘或其他外围设备写入 RAM。控制系统断电后，RAM 内的信息随即丢失。许多 CNC 控制系统配有备用电源，以便停电时能够延长足够的通电时间，将程序存入存储介质。有些 CNC 控制系统使用了一种叫做 CMOS 的特殊 RAM，在计算机断电后，信息仍保存在 RAM 中。

1.3 NC 程序的存储介质

存储介质（有时也称为控制介质）用来存储 NC 程序，以备使用。机床调用程序时，只是从存储介质中读取。NC 机床只能从穿孔带或从直接数控系统中读取程序，CNC 机床则有多种程序输入方式。

一度盛行的程序存储介质是用纸或聚酯塑料制成的穿孔带，由于聚酯塑料的强度高、不易撕裂，所以聚酯塑料是最常用一种材料。它是用穿孔机穿制出一系列表示 NC 代码的孔纸带，从而将 NC 程序信息载于穿孔带之上。纸带阅读机用电、光及机械装置感应穿孔带上的孔，并将代码信息输入机床数控系统。

纸带穿孔机可以配上电传打印机或其他快速印刷装置，当代码字符打印在纸张上时，表示代码字符的孔也穿在纸带上。后来，穿孔机配微机的情况逐渐普及。程序编辑完后，NC 代码可输入 CAM（Computer Aided Manufacturing）系统或者成为字符形式的程序并穿制出穿孔带。

磁带是另一种一度流行的程序存储介质。早期用磁带存储程序的实验并不十分成功，原因是车间的环境不利于早期的脆弱磁带的使用。当今的高质量磁带，只需妥善保管，能够经受车间环境的考验。最常用的是 1/4in 计算机用盒式带。盒式带有很好的防护，体积小、便于保存。美国电子工业协会 EIA（Electronics Industries Association）制订了磁带格式及录制标准。

目前最流行的程序存储介质是硬盘和 3.5in 软盘，也有用光盘（CD）存储大型 NC 加工程序的。随着计算机技术和现代制造技术的发展，NC 加工程序的传输越来越多的在网络上进行，

NC 加工程序主要存储在服务器或工作站的硬盘上，存储介质逐渐单一化。

1.4 数控机床的优缺点

在根据不同的目的决定使用数控机床之前，应对照使用数控机床的优、缺点，权衡必要性和经济性。这种评价对决定数控机床是否适用于具体加工很有必要。

使用数控机床的优点：

- (1) 提高生产率。
- (2) 完成没有 NC 机床就不能或部分不能进行的加工。
- (3) 降低刀具、夹具的库存量及费用。
- (4) 调整时间短。
- (5) 减少零件库存。
- (6) 精度高。
- (7) 减少零件的搬运。
- (8) 重复加工零件的一致性高。
- (9) 质量容易控制。
- (10) 制造过程的控制易于改进。

使用数控机床的缺点：

- (1) 电器维护难度大。
- (2) 一次性投资大。
- (3) 每小时的运行费用高。
- (4) 现有人员的培训。

尽管上述还没有列出数控机床的所有优、缺点，但已能够给出 NC 机床适用加工种类的大体思路。

NC 机床的研制始用于飞机制造业，后来广泛应用于制造业。随着 CNC 机床的应用不断增加，目前在大多数金属加工和制造业中，都能看到 CNC 机床。航天、国防、汽车、电子、仪表及工具制造业都在使用 NC 机床。特别是在制造刀具、模具和模型的工厂中，不使用 CNC 机床的厂家已不多见。随着设备价

格的降低，许多工厂将 CNC 机床用于产品开发和样品的试制，甚至小批量生产中。

尽管数控设备的传统概念指金属切削机床，但随着 NC 技术的普及，也出现了数控弯曲、锻压及检验设备。由于本书主要针对机械制造专业的学生和技术人员，所以仅讨论 CNC 机床。

小结

本章所涉及的主要内容有：

- NC 机床是按照代码指令编制的程序轨迹（路径）自动确定位置的机床。
- 直接数控系统是由一台计算机作为一台或多台 NC 机床的部分或全部控制系统。分布数控（群控）系统是计算机网络控制和协调 NC 机床来完成某项加工任务的。
- 在决定将 CNC 机床用于具体加工之前，应依据 NC 机床的优缺点来权衡利弊。

第2章 数控系统

CNC 机床主要由两大部分组成，即机床与控制系统（控制板上的计算机）。这两部分可以是同一厂商制造的，也可以由不同公司制造。General Numeric、Fanuc、General Electric、Bendix、G&L Electronics、南京四开公司都是为机床制造商生产 CNC 机床控制系统的厂家。图 2-1 所示为一典型控制系统。每种控制系统均带有一套标准内置代码，其他代码由机床制造商增设。不同机床所用的代码有所不同。因此，在学习和使用时，应加以注意。

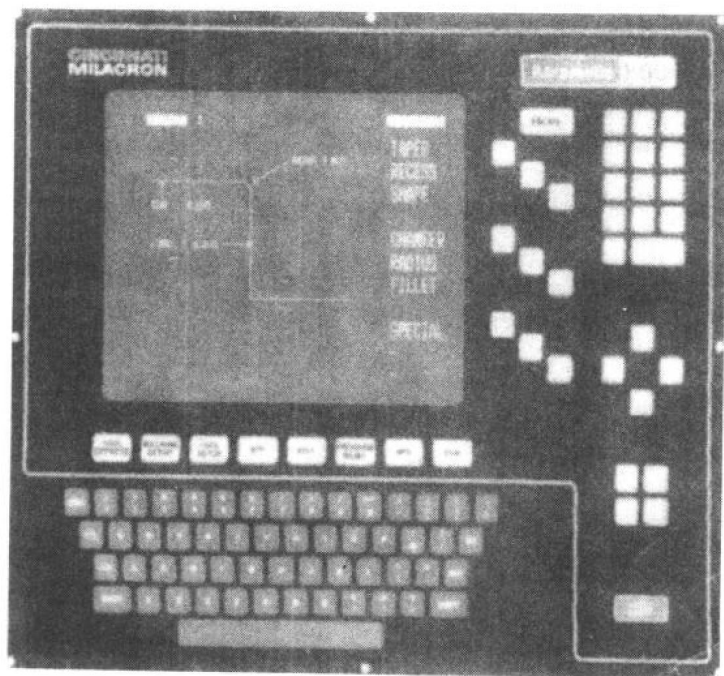


图 2-1 CNC 控制装置

2.1 控制系统的分类

NC 机床使用的数控系统可分为两大类，既点位（point - to - point）控制系统和连续（continuous - path）控制系统。

点位控制的机床只能直线运动，局限于孔加工（钻孔、铰孔、镗孔等）和与机床坐标轴平行或成 45° 的直线铣削加工。沿某方向运动时，所涉及的电动机均以相同的速度运转。当一个轴上的电动机转过指定的量时就停止，但是，其余的电动机继续运转至程序指定位置才停止，这就使得切削加工只能沿 45° 斜线进行，而不能加工圆弧和非 45° 的斜线。如图 2-2 所示，斜线和圆

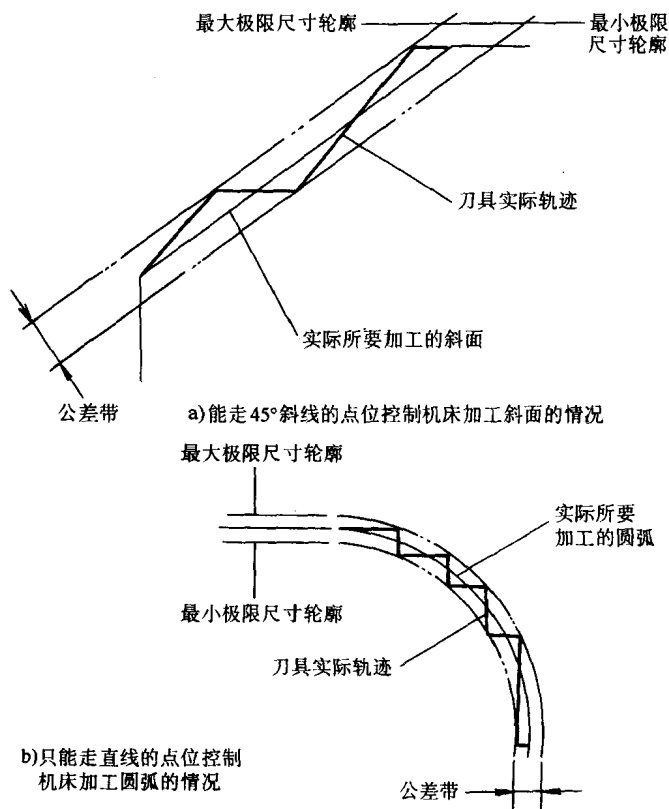


图 2-2 点位控制机床加工斜面和圆弧的情况