

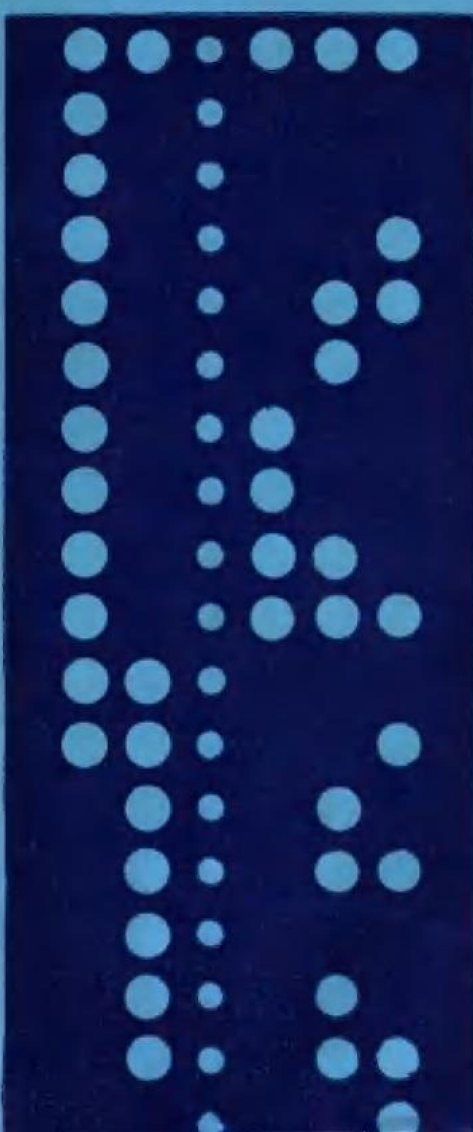


CNC

计算机数控(CNC)系统

彭 炎 午 主 编

西北工业大学出版社



计算机数控 (CNC) 系统

彭炎午 主编

*

西北工业大学出版社出版

(西安市友谊西路127号)

陕西省新华书店发行

徐州新华印刷厂排版 〇一二基地印刷厂印装

*

开本767×1092毫米 1/16 21.25印张 4插页 480千字

1988年5月第1版 1988年5月第1次印刷

印数: 1—4,000册

ISBN 7-5612-0053-6/TP·15 (课) 定价: 3.95元

前 言

现在来谈数控机床的控制系统从NC发展为CNC(计算机数控)似乎迟了,因为,目前国际市场上的数控设备都是用小型计算机或微型计算机控制的。但是,要比较深入地了解CNC,还需要一个过程。国外厂商出售CNC设备时,供应的资料主要是使用说明书、维修说明书、计算机硬件及接口的逻辑图、备件清单等;用PROM存储应用软件的数控设备制造厂商,不提供任何软件资料;用RAM或磁芯存储应用软件的厂商,也只提供软件程序带,不提供软件文本和较详细的说明书。当询问到应用软件时,他们都讳莫如深,避而不谈。可以看出,CNC系统的关键是应用软件。只有把应用软件了解清楚,才能掌握它的特点,作为我国自行设计试制数控设备的借鉴;同时,也才有可能对已购入的数控设备进行正确的维护。

1977年笔者接触到美国伊顿—列昂纳德公司出产的VECTOR 1管形测量机,对它的应用软件深感兴趣。该公司提供了两盘软件程序带,但没有软件文本。我们经过努力把它的应用软件了解清楚。1982年我国某研究所研制出导管测量机,在软件设计方面,曾经参考过该应用软件的数学模型和编制方法。陈达秀对意大利DEA公司的SIGMA三坐标测量机的应用软件进行了分析,弄清了它的设计原理及数学模型。笔者的研究生吴武贤、李诚人、宋维森分析了美国阿伦—布来德雷公司的7360系统的软件程序带,基本掌握了该软件的内容。同时,余名珩等对FANUC 7M系统作了全面分析研究,并在此基础上发展了三坐标三联动的数控系统。

这样,把掌握的四个CNC系统的内容介绍出来,供国内从事数控技术的科学技术人员参考,对我国的现代化建设有所裨益,因此着手编写本书。

书中分章介绍了这四个CNC系统,还编写了数控系统的发展一章,把NC和CNC系统作了初步对比。为了便于读者了解7360系统的软件,编写了7360系统的硬件一章。同时,根据七十年代末期出现的微型计算机在CNC系统中的应用情况,编写了两章,简要地介绍了分布式微型计算机数控系统及用微处理器进行直线控制的万能镗铣床。除了数控系统本身之外,还编写了数控机床的驱动系统一章,介绍当前数控机床的主轴驱动和进给驱动。一共编写了十章。

本书某些章节,在国内外的同类书刊中没有这样详细的内容。例如,第三章的刀具补偿原理;第三章和第五章中的插补原理;第五章和第八章的可编程机床接口;第六章中的二进制浮点数运算和质量控制诊断程序;第七章的三坐标测量机的应用软件设计的基本原理等。

本书第一、五、六章由笔者编写;第二、三章由余名珩、苏崇德、汤季安、王志方、林琪超、周鸿刚编写,并经孔宪豪校阅;第四章由谭益智编写;第七章由陈达秀编写;第八章由陈德元编写;第九章由骆简文、戴先乐编写;第十章由苏仲飞编写。本书的插图由张庆霞

统一描绘。

参加本书编写的人数较多，各人的文字风格不一，研究对象类型和出处不相同，使用的符号和术语各异；笔者由于水平有限，仅对文字适当修改，内容略加删节。因此，恳切希望读者对书中错漏之处予以指正。

本书可供从事数控技术的科学技术人员及研究数控技术的研究生参考，希望读者在阅读本书之前能掌握普通数控（NC）系统的原理和小型、微型计算机的应用知识。

西安红旗机械厂的领导和同志们对我们的研究工作给予多方面支持和援助，在此表示深切的谢意。

彭炎午

1984年8月

目 录

第一章 数控系统的发展

- § 1 普通数控 (NC) 的特点 (1)
- § 2 计算机数控 (CNC) 系统的特点 (3)
- § 3 计算机数控系统的计算机 (6)
- § 4 数控加工的进展 (7)

第二章 7M系统的性能与特点

- § 1 7M系统的性能 (11)
- § 2 7M系统的硬件 (14)
- § 3 微处理器 (27)
- § 4 7M系统的软件 (35)

第三章 7M系统的控制原理

- § 1 7M系统数控指令的输入处理 (49)
- § 2 7M系统的刀具补偿 (C刀补) 原理 (55)
- § 3 7M系统的插补原理 (70)
- § 4 7M系统的位置控制原理 (81)

第四章 7360系统的硬件

- § 1 7360系统的控制面板 (92)
- § 2 7360系统的接口 (96)
- § 3 工业处理机 (98)
- § 4 7360系统的位置控制装置 (107)

第五章 7360系统的软件

- § 1 系统程序的划分 (128)
- § 2 背景程序 (131)
- § 3 实时时钟中断服务程序 (150)

第六章 VECTOR 1管形测量机

§ 1 VECTOR 1管形测量机的原理	(180)
§ 2 VECTOR 1所用的小型计算机	(186)
§ 3 VECTOR 1的操作	(188)
§ 4 二进制浮点数运算	(190)
§ 5 输入、输出子程序及主程序中的几种操作程序	(204)
§ 6 质量控制诊断 (QCD) 程序	(230)
§ 7 VECTOR 1软件的特点	(238)

第七章 SIGMA三坐标测量机的应用软件

§ 1 三坐标体系中零件几何形体的表达式及数据处理	(240)
§ 2 三坐标测量机数据处理的数据类型	(241)
§ 3 应用软件设计的基本原理	(243)
§ 4 解释程序 (INTERPRETER)	(252)
§ 5 定位和测量运动程序 (MOVI)	(264)
§ 6 实时执行软件 (GRMON)	(268)
§ 7 扫描程序 (SCAN)	(277)

第八章 Actrion II分布式微型计算机数控系统

§ 1 Actrion II分布式微机数控系统的特点及功能	(281)
§ 2 Actrion II分布式微机数控系统的结构安排	(283)
§ 3 Actrion II系统中的可编程机床接口 (PMI)	(294)

第九章 FP3A计算机数控万能镗铣床

§ 1 机床简介	(297)
§ 2 控制及驱动系统	(298)
§ 3 CNC2101 直线控制台	(303)

第十章 数控机床的驱动系统

§ 1 可控硅整流器——直流电动机调速系统 (SCR—D) 系统	(306)
§ 2 脉冲宽度调制器——直流电动机调速系统 (PWM—D) 系统	(319)

参考文献	(334)
------------	---------

第一章 数控系统的发展

自从1952年美国麻省理工学院伺服机构实验室研制出第一台三坐标数控铣床以来，数控设备在制造业，特别是航空、航天工业中被广泛地应用。数控技术无论在硬件或软件方面，进展速度很快。目前，在市场上已见不到普通的数控（NC）机床，取而代之的是计算机数控（CNC）机床。CNC是NC的发展。为了了解CNC的特点，首先要了解NC的特点。

§1 普通数控（NC）的特点

数控是自动地控制机床、设备的一种技术。所谓数控，就是操纵机床的指令以数字的形式送到机床或其它设备。这些指令的组合（我们称之为零件程序）用适当的方式编码，然后以孔的形式存储在纸带上（称为穿孔带或数控带）。当将这些指令输入到数控机床的控制柜时，机床便按照规定的程序自动地工作。每一台数控机床的控制柜都有一台纸带阅读机，以便把零件程序输送到数控系统中去。

从控制刀具相对于零件的运动、控制加工步骤的角度来看，数控的零件程序和纸带阅读机相当于自动机床中的凸轮、靠模、限位开关、挡块等。显而易见，编制零件程序比制造凸轮、靠模，调整限位开关简便得多，生产准备时间可以大大缩短，而且无需精密的夹具。

数控的另一特点是适应性好，零件程序较易于编制和更换（相对于凸轮、靠模的制造而言）。例如，对于飞机、宇宙飞船以及类似产品的零件，在研制过程中，产量小，品种多，要求生产周期短，数控机床的适应性就有无可比拟的价值。又如，在一般的机械加工中，总是先加工某一种零件，等这一批零件加工完毕，更换工夹具，重新调整机床，才能加工另一种零件。不可能先加工某一种零件，立即改为加工另一种零件，然后又回来加工第一种零件。但对于数控机床，只要更换穿孔带，就可以做到这一点，往往用不着更换工夹具。因此，机床的利用率可以大大提高。

数控系统是电子控制的系统，其中的元件是半导体和集成电路，各元件都有固定的功能，相互之间用导线永远连接在一起。采用什么元件，怎么连接，在设计具体的数控系统时就已经考虑好了。如果希望使某一具体的数控系统执行设计阶段没有考虑到的功能，必须对系统中的元件和接线加以改变，而这种改变费工费时，成本太高。这些元件和接线统称为硬件。用户购置了一台数控机床，只考虑如何充分利用它，而不在改变硬件上下功夫。

对于形状简单的零件来说，数控零件程序的编制（简称编程），可以由人利用普通的计算工具进行。但对三坐标到五坐标的连续轨迹的数控机床的编程，用上述方法很困难，有时甚至不可能。于是，人们利用电子计算机辅助编程（也叫自动编程）。从五十年代末开始，

已研制出了不少种类的数控语言（例如，APT语言）。程序员按照数控语言的格式对于要加工的零件形状写出程序指令，并且把它们送入计算机（一般是大、中型计算机）。在计算机中，已经存储了该种数控语言的编译程序（即数控软件）。数控软件大体上可分为两部分，一部分是主处理程序，用于计算刀具中心相对于零件运动的轨迹；另一部分叫后置处理程序，针对具体的数控机床编出零件程序。然后，计算机通过与它连接的纸带穿孔机，自动制出控制该数控机床的穿孔带。

总之，数控的生产准备时间短，所制成的零件重复精度高，对改变零件设计的适应性强，工夹具成本低，加工复杂形状的零件时准确可靠。因此，它适用于：小批生产、模型或样机的研制、用数学方法确定的零件轮廓表面的加工、以及由于零件品种的混杂需要频繁地调整机床等。

随着数控机床的大量使用，人们积累了不少经验，也发现了它们的不足之处。电子技术的发展，大规模及超大规模集成电路的应用，使数控系统的进一步更新成为可能。数控机床的问题大致有以下几方面：

1. 数控机床的价格问题 数控机床刚开始用于生产时，元件很贵，每一元件的功能很少，因此数控机床的价格昂贵。数控系统的功能即使不太复杂，控制柜的体积却很庞大，控制柜的价格占整个数控机床价格的一半。随着集成电路元件的出现，集成度愈来愈增大，价格愈来愈便宜。因此，在数控机床的价格中，控制柜的价格所占比例愈来愈小，小到 $\frac{1}{4}$ 到 $\frac{1}{5}$ 。数控柜的体积也变小了，对简单的数控系统来说，小到可以把具有数控功能的部分装在机床的控制盒里。大规模及超大规模集成电路的问世，还使得大批量生产的通用小型和微型计算机的价格低于小批量生产的专用数控柜的价格，为数控从NC过渡到CNC创造了条件。

2. 零件程序的修改和纸带阅读机的故障问题 用数控机床加工新产品的零件时，若对零件的某些尺寸和形状加以修改，需要修改零件程序，重新制备穿孔带。这不很方便。能否就在数控机床旁边对零件程序加以修改，而不必再由程序员回去计算，重新制备穿孔带呢？NC是做不到这一点的。另一个问题，用纸带阅读机输入零件程序时，往往容易出故障。有人统计，数控机床的故障中，纸带阅读机输入的故障约占40%。能否在每次加工零件时，避开纸带阅读机的输入呢？NC也做不到这一点。

3. 数控系统的故障诊断问题 数控柜中元件极多，线路非常复杂，而且容易出故障。要找出故障在哪里，是很不容易的事。即使是对电子技术有丰富知识和维修经验的人，也要花大力气才能找出故障来。某些厂家在所出产的数控系统的印刷电路板上，设置了许多测试点，用以帮助维修人员寻找故障。也有一些厂家在数控系统的设计时，专门设计了故障监测电路。只要某种故障出现，相应的故障信号灯亮。能否用更加简便的方法查找故障之所在，NC还很难做到。

4. 计算机辅助编程问题 计算机辅助编程确实比手工编程大大前进了一步。但是，随着企业中数控机床数量的剧增，而计算机辅助编程要靠大、中型的计算机来实现。人们考虑，为了提高数控机床的利用率，能否在数控机床旁编程？一般的NC不能做到。

5. 自适应控制的问题 以前提到数控机床的适应性比一般机床好得多。但是当零件的材料性质、加工的条件等发生了变化，并且这种变化超出了编程时估计的范围时，一般的NC的控制不能随之而改变。也就是说，不是自适应的。

上述问题在计算机数控系统中可以部分地得到解决。

§2 计算机数控(CNC)系统的特点

计算机数控将通用的小型或微型计算机装入数控机床的控制柜,再适当增加接口电路及输入、输出装置(如电传打字机、荧光屏显示器等),用以代替数控系统控制柜中的专用电子计算装置。计算机数控系统不仅比原来的数控系统使用范围广、功能全,而且还有相当大的通用性,改善了对机床操作的控制。计算机数控系统大致有以下一些特点:

一、用存储的软件实行控制

一般计算机是用存储的软件进行操作的。计算机数控系统也是用存储的软件进行操作,代替普通数控的硬件控制。软件的存储因存储器而异,例如,在使用磁芯存储器时,由于断电后其内容不改变,因而软件可以保存较长时期。CNC的制造厂家向用户提供一条软件程序带,当由于某种原因使磁芯存储器的内容丢失时,可以将软件程序带装入纸带阅读机并且运转,重新把软件存入磁芯存储器。本书叙述的VECTOR 1型管形测量机就是这种情况。有的CNC系统使用半导体随机存取存储器(RAM)。这种存储器在断电后将丢失其内容,因此,CNC软件存储在穿孔带上,每天开始工作前,通过纸带阅读机将软件输入。为了防止在工作时断电而丢失软件内容,这种系统总是带有备用的蓄电池。当CNC系统正常工作时,它被充电;当电源断开时,它放电以保存RAM中的内容,直到电源重新接通时为止。7360CNC系统用的就是RAM。还有的CNC系统使用半导体只读存储器(ROM)来存储软件。ROM只要用特殊的方法把软件内容存入以后,就长期保存不变,但只能从ROM读出所存的内容,所以叫只读存储器。这种存储器不需要备用的软件程序带,也不需要备用的蓄电池。7M系统用ROM存储软件。

有的CNC系统还把专用的微程序以及机床的特殊参数存储在ROM中,以备控制机床操作时使用。

二、有存储零件程序及修改零件程序的功能

一般在CNC系统的存储器中划出一部分可读可写的存储器(可以是磁芯或半导体)来存零件程序,有的CNC系统甚至有专门的区域存储用户编的子程序。CNC系统软件都有编辑功能,程序员可以利用CNC系统的显示装置(数字显示、荧光屏显示或电传打字机)和软件的编辑功能来修改零件程序。

CNC系统一般仍然有纸带阅读机,用来输入零件程序,作用已不同于NC系统。在NC系统中,每加工一个零件,就需要使穿孔带在纸带阅读机中运行一次。在车间的环境中,穿孔带使用一定时期以后,容易变脏和磨损,这是产生输入故障的原因之一。在CNC系统中,零件程序可以一次全部输入,存入规定的存储器区域。程序员可以把某一零件程序调出到显示装置中显示,核对一下,看输入的是否有错。如果发现错误,将它改正以后,再送回存储器。每当加工某一零件时,便从存储器中调出该零件程序进行加工。这样,就避免了纸带阅读机的输入故障。

一般CNC系统都有手动数据输入（MDI）按键，用来输入零件程序。有的CNC系统还设置了串行数据传输接口，以便接收外来的零件程序。这两种情况都避免了纸带阅读机的输入故障。

三、有诊断故障的功能

有的CNC系统具备了用软件查找故障的功能，计算机本身和外围设备的故障能很快地找出位置（即故障是在哪一块印刷电路板）。像AktrionⅢ系统，只要在机床开始工作前，扳动几个开关，看看几个信号灯的情况，便可判断出有无故障及故障的位置。VECTOR1型管形测量机专门有质量控制诊断软件，把它输到系统中以后，便连续不断地进行诊断，每循环诊断一次，便打印出诊断报告，说明诊断的情况，诊断的时间由操作人员决定。这种诊断，破坏了存储器中原有的内容，诊断后，必须重新输入系统软件。

四、可用软件取代机床的继电器控制

普通数控系统的M、S、T代码是通过继电器实现控制的。继电器电路的缺点是速度低（继电器触点的动作约需几十毫秒）、可靠性差，而且电路制成后改变起来很困难。七十年代出现了微处理器，并且出现了以微处理器为基础的可编程的逻辑控制（PLC）。可编程的逻辑控制指可编程的控制，即控制的顺序可通过编程来改变，但改变的是“与”、“或”、“非”等逻辑功能，而不是继电器系统的电路。PLC是用软件代替继电器电路的硬件。继电器的触点只有“开”和“闭”两种状态，二进制数的逻辑运算只有“1”和“0”两种状态。假定继电器触点断开为逻辑1，则闭合为逻辑0，两继电器并联为逻辑“或”，串联为逻辑“与”，触点闭合为断开的逻辑“非”，断开也是闭合的逻辑“非”。这样一来，继电器系统的“梯形图”可用布尔代数的方程式来表示，“梯形图”的每一横档就是一个布尔方程式。计算机存储器所存的数，每一位（bit）也只能是1或0。因此，把存储器的每一位代表继电器的一对触点，将微处理器的逻辑运算排好程序，使它相当于继电器系统的梯形图，就可以用微处理器对存储器相应的位的逻辑运算来代替梯形图了。不同的是，梯形图的各横档是同时通电工作的，而微处理器则只能串行地运算，一次只能处理一位（监视和控制它们的状态）。因此，微处理器的处理速度必须非常高。

把机床的各种开关控制作为软件控制，并把这一软件和软件程序一样存储到存储器的某一区域中，由CNC系统的计算机来处理，使机床的全部动作，包括坐标轴运动、主轴的运动的控制、冷却液的开关、刀补数据的输入、限位开关的状态等全都由软件加以控制和监视。7360系统的可编程的应用逻辑（PAL）、AktrionⅢ系统的可编程的机床接口（PMI）的基本功能都是如此。

五、可以提高编程的效率

1974年，洛克威尔公司（Rockwell International）打算用新的CNC控制系统来代替原有的31台轮廓加工机床的NC系统。这31台机床的伺服坐标轴是从3坐标到10坐标。NC系统有4种类型，平均年龄为9岁，共使用了13种不同的数据格式，需要23种不同的APT后置处理程序。革新的目的是，用一种CNC系统、一种数据格式和一种通用的后置处理程序

来代替上述复杂的状况,并且用软盘提供各机床的输入。此外,还要具备附加自适应控制与直接数控(DNC)通讯的能力。

所有各系统的零件程序都在编程的计算机上用APT语言编出刀具中心轨迹、进给速度、主轴转速等,存储在磁盘中名叫CL文件的区域(CL是英文刀具位置的缩写),这一区域中的数据与具体的机床没有关系。编制了CL转换程序来代替APT计算机中的后置处理程序。CL转换程序的功能是把APT的CL文件中的数据转换为标准化的32位二进制数据格式,这种格式与APT计算机的CL格式以及机床的特性都没有关系。

后置处理程序设置在每一台机床的控制柜中,在机床运行时开始工作。因此,CNC的计算机既要经过转换的CL数据进行后置处理,又同时要控制机床。在APT计算机与各台CNC机床之间,有一磁盘驱动系统,带有一台小型计算机和存储器、软盘驱动器。通过这一系统,把经过转换的CL数据写入软盘。一个软盘能存储242,944字节的数据,相当于2000呎的穿孔带。如果存储的是CL转换程序的格式,则同一软盘可以保存相当于3000呎穿孔带的数据。存入软盘的数据经过软盘阅读系统,分别送到有关机床的控制柜,以便进行后置处理和控制机床的动作。

六、有保护零件的能力

在航空工业中,有许多零件价值昂贵,必须保证加工时不产生废品。CNC系统具备这种能力。

保护零件必须考虑三个方面:(1)必须保证零件程序数据的正确性;(2)必须监视这些数据在机床上的执行情况,以保证机床服从程序命令;(3)在检测到出现错误时,必须在零件变为废品之前采取措施。当然,先决条件是控制系统的硬件必须十分可靠。有时还需要多余的硬件子系统,即使硬件出了故障,还可用后备的硬件来工作。

1. 输入数据的正确性 CNC系统检查零件程序的正确性的特点:

(1)纸带奇偶性和导孔的校验,和普通的NC系统一样,但CNC的能力更强,能多次重读纸带来肯定一个真正的奇偶性错误。而且,CNC系统还可对纸带上每一程序段进行纵向的奇偶性校验(即所谓“检查和”)。

(2)纸带缓冲存储器。CNC系统的纸带缓冲存储器容量达1000字符或更多。计算机对缓冲存储器中的零件程序预先进行奇偶性校验。如果在若干正确的程序段之后发现某一程序段有错,则在尚未执行该错误程序段之前立即退刀,保证不致由于机床停车而使刀具损坏零件。这一点,对加工钛合金特别重要。

(3)输入数据格式的校验。CNC系统可对输入的每一字母后的字符实行计数。如某一字母后的字符数超过规定值,则不执行包含该字母的程序段,并将出错的信息在荧光屏上显示。这是在执行零件程序之前的预先处理,所以能够保护零件。

(4)输入数据值的校验。在试运转机床时测试实际的命令值,看它是否与该机床及控制系统的要求相符。例如,某一类机床的M功能和G功能的数值都列表存储于存储器中。零件程序中的M或G功能输入后,即同M和G功能表的数值比较,如不相符,则将错误显示,并停止执行该程序段。具体地说,倘若对点位控制机床输入了G02代码(顺圆插补),此时将把错误显示出来,并在上一程序段结束时,机床停止运动。

(5) 用软盘存储零件程序。用软盘存储零件程序时,可进行极其精确的传输校验,叫循环冗余校验,可以在读数据时发现读错了。

2. 对机床监视方面 CNC的计算机一直在控制着机床,因此,所有必要的机床数据都可以立即得到,并且易实现对机床全面监视。

(1) 伺服参数的显示。由于CNC软件掌握了现行坐标轴的跟随误差及命令的进给速度,因此,可以算出伺服参数,如伺服增益(以IPM/0.001"计)等。这些计算结果可以在屏幕上显示出来,供操作人员看。如果计算结果在规定的范围内,则表明零件没有超差的危险。

(2) 机床状况的监视。可以监视的机床状况有:液压油的温度和压力,润滑情况,电动机的负载等。出现故障时便直接向计算机报告,以便在机床停车之前将刀具退离零件。

(3) 跟随误差的监视。CNC计算机把实际的跟随误差的向量同零件程序预先规定的向量相比较,也就是把实际的切削路径同程序规定的路径相比较。如果两者有差别,则计算出差值,并同规定极限相比。后者是用户按照零件的公差设定的。

§3 计算机数控系统的计算机

出现在市场的计算机数控系统品种很多,但不外乎小型计算机和微型计算机两种。计算机的字长大多数为16位,少数的也有12位(GE公司的1050T系统)和8位(Cincinnati Milacron用的是M6800微处理机)。这是因为,在七十年代,小型计算机为16位字长。而在CNC系统的工作中,除了少数运算需要双字长(32位)以外,大多数用16位的字长已经够用了。至于8位字长的计算机,主要用于数据的调度和管理,也用于简单的计算。复杂的运算则采用其它方法。

就所用的计算机来说,有的公司购买现成的裸机(如Sigma三坐标测量机的PDP11, VECTOR1管形测量机的LSI-2),也有的数控系统公司自己制造。如7360系统的计算机,又如7M系统的计算机是用位片式2900系列的微处理器搭起来的。这些计算机,都是TTL集成电路,运算速度可以做得比较快(7M系统的主时钟频率为5.7MHZ,7360系统也是这一数量级)。

要求CNC系统计算机运算速度比较快的原因是控制机床的需要。假定沿一坐标轴的每一脉冲相当于位移0.0001吋(0.0025毫米),若沿该坐标轴的进给速度为60吋/分(1524毫米/分),则每秒钟应发出10000个脉冲,典型的最大进给速度为300吋/分(7620毫米/分),相当于每秒50000个脉冲。在普通的NC系统中,使用数字微分积分器(DDI,也叫数字微分分析器DDA)进行积分,每一坐标轴有一套DDI硬件,这一套硬件本身作并行运算,因此,可以达到这样高的进给脉冲频率。但是,在CNC系统中,尽可能合理地用软件代替硬件,而软件程序指令是串行地执行,一次只能执行一条指令。当系统中只有一台计算机时,它必须为几个坐标轴服务,保证每一坐标轴的相应的位移量。因此,要求CNC系统的计算机具有较高的运算速度。

另一方面,DDA的算法在硬件中执行时,重复地将某一增量数据加到累加器中,累加器的溢出就是所要求的输出脉冲,这个脉冲使一个计数器加1(或使该计数器减1)。从位置

反馈装置来的脉冲则相反,使计数器减1(或使该计数器加1)。任何时候,计数器的存数决定着驱动一个坐标轴的运动方向和大小。DDA算法一次只能从累加器最高位输出一个脉冲,而输出脉冲的频率只受累加频率的影响。用计算机模仿这种算法是很容易的,问题在于速度。例如,要进行两坐标的插补和进给速度的处理,必须用计算机模拟三个DDA(两个用于坐标轴,一个用于进给速度)。如果这种模拟要达到普通NC的速度和分辨率,则每6微秒就应向每一个DDA服务一次。一般的小型计算机是难以做到的,特别在要求多倍精度运算时,更是如此。字长为8位的微处理器就更无法解决了。

显而易见,这里需要一种新的技术。解决问题的方法之一是扩展的DDA概念。DDA是从累加器的最高位产生溢出,如果监视累加器的若干位,则DDA的输出就是数字而不是脉冲。这就是软件插补的基本概念。对于伺服反馈,则以一定的频率取样。计算机对命令数据和反馈数据求代数和,从而形成位置伺服闭环。累加器中存的差值就是跟随误差。

对于8位的微处理器,由于字长太短,需要更多次的多倍精度运算,从而影响了运算速度;另一方面,它是MOS电路,主时钟频率不可能太高(M6800只有1MHZ)。因此,象Cincinnati Milacron的CNC铣床是用专门插补的集成电路来完成插补任务的。

现在,16位的微处理器已经越来越多,而且价格愈来愈便宜。目前CNC系统中,用多台微处理器代替过去的一台小型计算机。Aktrion II 就是这样的系统,把CNC系统的基本功能划分为输入/输出、插补计算和定时、以及伺服控制三部分,分别用三台16位的微型计算机加以控制。三台计算机之间采取适当的连接方法。如果要增加系统的功能,则相应增加微型计算机。

评价计算机能力的关键因素,除了数据字长和速度之外,还有指令系统。从几台CNC系统的软件看来,采用购置的裸机的CNC系统软件,并没有充分运用计算机的指令系统和寻址能力。例如,VECTOR 1型管形测量机的计算机LSI-2有相当强大的数据组处理的能力,可是软件中没有使用;它有堆栈处理的能力,也未被使用。采用自制计算机的CNC系统,指令的功能不象购置的计算机那样强,但正合软件之用。如7360系统的小型计算机,其基本指令为76条,寻址方式也比较简单,只有直接、间接、本页和零页四种方式。

§4 数控加工的进展

随着电子技术的发展,数控技术不断地前进,出现了计算机辅助制造(CAM)的概念,包括NC, CNC, DNC及工厂数据管理。NC及CNC前面曾经叙述过。DNC过去的意义是直接数控,用一台大计算机直接控制若干台机床。但是,过去计算机笨重、速度慢、价钱贵,而编程技术刚开始发展,计算机一旦出故障,往往影响到它所控制的全部机床。在一段时期内,直接数控处于停顿状态。随着技术的演变,硬件的性能增加了十倍,而成本降低的比例也是这一数量级,软件已经能够处理复杂系统的要求。因而,DNC显得生机勃勃。

DNC已从直接数控演变为分配式数控(Distributed NC),也称为分配式直接数控(Distributed Direct NC)。这种系统的特点是,DNC所控制的全部机床在投入生产时都能够单独操作,就象穿孔带控制的NC机床那样。每台机床的控制都采用CNC系统,最好是标准化了的CNC系统。这样,可使电子维修的工作量及备件减到最小。对于CNC系统,可不

用穿孔带输入，而用软盘输入刀具位置数据。在加工过程中，CNC系统对刀具位置数据进行后置处理。此外，对CNC系统还设置了RS-232-C通讯接口及相应的软件。当需要从DNC计算机取出加工数据时，CNC控制器起着终端的作用，数据通过RS-232-C通讯接口被送到软盘。CNC系统便和DNC计算机断开，并从软盘读取数据，作为单独的数控机床而操作。这时的DNC计算机已经不是大计算机了，而是小型计算机，它除了对所属的CNC系统分配数据之外，还可以在以下几方面作为以后扩展之用：

- (1) 生产控制和调度；
- (2) 实时的成本分析；
- (3) 监视所属的数控系统；
- (4) APT或其它语言程序的数据处理。

这种DNC系统已在国外应用了。

目前，国际市场上的数控机床全用了CNC系统，但是大多数CNC机床的设计和制造都趋向于大型的、价钱高的品种，很少花功夫使CNC系统适合广大的用户。例如，使CNC系统适用于5马力以下的机床。这主要因为，CNC系统的价格很高，把它用到小机床在经济上不合算。微处理器的出现解决了这一问题，因为微处理器的价格十分便宜，它和PROM、RAM再加上手动数据输入（MDI）的装置及小型的荧光屏显示，还有相应的软件，形成了价格比较低的CNC系统（由于用的是微处理器，有人把它叫做MNC系统）。这种系统有以下一些特点：

- (1) 从点动返回。机床操作工人可采用点动的方法，使某一坐标轴的滑板移动，离开某一位置。然后按某一按钮，该坐标轴的滑板即返回原位。
- (2) 存储能力。信息可用MDI的方法输入，存储在RAM中。
- (3) 编辑能力。可以修改零件程序。
- (4) 可把程序循环中的循环存储起来。
- (5) 可简化编程。例如不用首零和尾零。
- (6) 系统显示。

目前已经出现了这种小机床的CNC系统。

在编程方面，第一台数控机床总是用手工编程的。等到零件变得很复杂，或者机床的工作负荷和数量增加时，开始采用计算机辅助编程（也叫自动编程）。通常，在大计算机上分时进行，所需的计算机辅助编程系统的能力将依零件和机床的复杂程度而定。大多数系统能处理2和3坐标的工作，如果零件与机床更复杂，则需要APT或从APT发展的语言。

使用分时的编程系统时，只要有一台终端和一只电话耦合器就可以工作了，最好再有一台XY描绘仪，以便在编程之后描绘出刀具的轨迹。这样，可以及时改正编程中的错误。

当一个工厂（或车间）的数控机床很多的时候，由于计算机的负荷增加，采用分时编程系统使编程的周转时间增加。编程的效率降低了。为了解决这一问题，出现了本单位单独使用的数控编程系统。这种系统的最基本的部分包括一台小型计算机及存储器（例如PDP-11/34及48K字的存储器），硬磁盘驱动器，纸带穿孔机和阅读机，程序员终端以及相应的软件。美国Abex公司航天分部使用这种系统，取得了如下的结果：

- (1) 纸带穿孔出错的情况几乎没有，而且系统十分可靠。

(2) 程序员的效率大大提高。

(3) 系统的硬盘为处理程序及零件程序库提供了存储场所。如果使用DNC系统,最少需要两个磁盘驱动器。系统可以扩充到8个磁盘驱动器,容纳116000呎纸带的零件程序。

(4) 未用本系统以前,纸带和程序表的周转时间平均为1~2小时,采用本系统后,每一零件程序平均只需要20分钟。

对于高生产率的CNC机床,其滑板运动应由高性能的伺服系统来驱动。计算机的应用,使伺服系统发生变化。在普通NC机床上,伺服系统主要是用模拟信号或较高频率的脉冲列的连续操作。而在CNC机床,则是以约100HZ的频率进行采样操作,并且用数字进行控制。CNC的位置控制回路是在小型或微型计算机内闭合的。大约每隔10毫秒,计算一次所要求的坐标轴的新位置,并同时对该坐标轴的实际位置采样,将计算的位置减去实际位置,得出数字的误差信号。此信号被送到数模(D/A)转换器,在该处产生和数字的误差信号成比例的模拟的位置误差信号。在下次采样取得新的数字误差信号之前,此模拟信号保持不变。

D/A转换器的作用很重要。一个12位的转换器可以处理多达 $\pm 2^{11}$ (即 ± 2048)单位的信号。如果最低位的1相当于0.001毫米,则 $\pm 2^{11}$ 相当于 ± 2 毫米的位置误差。如果采样周期为10毫秒,相当于204.8毫米/秒或12.3米/分的速度。重要的是,数字的误差不能超过D/A转换器的能力,否则将使模拟输出变号,并导致不稳定。D/A转换器的信号用来控制放大器,后者的输出则用于控制坐标轴进给电动机。

目前,数控机床常用的放大器有可控硅型的和晶体管放大器两种。后者适用于脉宽调制(PWM)。电动机则除了少数例外的情况,都是用永磁式直流电动机(例外所指的是步进电机)。这种电动机一般都附装了测速发电机,和伺服电机构成一体。

可控硅放大器有单相半波、单相全波、三相半波等几种,最常用的是三相半波电路。它的优点是价格最便宜(但从单相增到三相,从半波变为全波,成本也随之增加,而且单相半波对伺服驱动不适用)。提供功率的能力不受限制,不连接直流电,并能吸收再生的功率(即电动机可当作制动器来使用)。单相半波型的响应频率为100HZ,三相半波和全波型的响应频率分别为150HZ和300HZ。

可控硅的缺点是波形因数(它是送往电枢的电流的均方根及其平均值之比)比较大。可控硅型与脉宽调制型的波形因数如下:

类 型	波形因数
SCR单相半波	1.8到2
SCR单相全波	1.4到1.6
SCR三相半波	1.2到1.5
脉宽调制	1.005到1.1

由于电枢电流的均方根值大,表示其交流分量比较大,交流分量将导致电动机的电枢发热而不作功。因此,应尽可能使交流分量接近1。使用可控硅放大器时,必须降低它所控制电动机的额定功率,以免电动机过热。

可控硅型放大器的另一问题是传递延迟(Transportation Lag)。这是从控制装置要求机床的滑板运动起到产生正确极性的转矩脉冲所需的时间。对于工作于60HZ的单相半波可控硅放大器,传递延迟高达16毫秒;对于三相的可控硅放大器,也有5.5毫秒之多。这种

延迟使伺服回路产生额外的非线性情况，从而限制了它的增益。

脉宽调制所用的晶体管放大器的优点是，波形因数最小，因而使用电动机时降低额定功率最小。放大器的频带宽度高达2KHZ，传递延迟小于1毫秒。

PWM放大器比SCR型的贵。功率受到晶体管工艺的限制。例如，某制造厂家的放大器要用7个晶体管才能提供0.5秒40安的峰值电流（电压为140伏），或提供连续的25安的电流。如果不使用昂贵的硬件，就不能吸收再生功率。通常，用电容器来吸收功率，但这时会产生过电压的问题，除非在必要时能使电容器放电。

脉宽调制型的放大器比可控硅放大器优越，因此经常用于高性能的CNC机床。本书介绍了可控硅及脉宽调制的直流电动机调速系统。

第二章 7M系统的性能与特点

§1 7M系统的性能

7 M系统是一种带固定软件的高精度、高性能的闭环计算机数控系统 (CNC)，由日本富士通FANUC公司和西德西门子公司联合设计，1976年研制成功，主要用于控制铣床和加工中心机床。其基本系统是一个具有三坐标两联动（任意两轴的直线插补和圆弧插补）机能的数控系统，可扩展为三坐标三联动（三轴直线插补和螺旋线插补）或四坐标四联动数控系统。在四联动中，第四轴为X、Y、Z中任一轴的平行轴或环绕X、Y、Z轴中任一轴（或平行轴）旋转的旋转轴。

一、系统的特点

7 M系统硬件以双极型位片式高速微处理器（字长16位）为核心，采用半导体存储器，控制程序固化在ROM中。

1. 特点 在实际加工过程中，7 M的最高切削速度和最高快速进给速度均由用户根据机床性能和加工需要自行设定。系统允许在最小指令增量为0.001毫米（或0.0001吋）时，两者的最大值为15米/分（或750吋/分）。

由于系统具有软件“自动升降速”和“段间速度转接”功能，又设有“数控程序段缓冲存储器（BS）”、“工作存储器（AS）”、“C刀补缓冲存储器（CS）”等多个缓冲存储器，因此，各加工段间的转接平滑，零件的表面光洁度好。

伺服系统用大惯量直流伺服电动机作为驱动电动机。电动机由三相全波可控硅无环流电路驱动，采用旋转变压器或感应同步器作为位置检测器件，由测速发电机构成速度反馈。进给传动链的反向间隙补偿和滚珠丝杠的螺距误差补偿均由软件实现。补偿的最低增量是0.001毫米（或0.0001吋）。

2. 编程 7M系统选用CMOS RAM 作为“零件程序存储器”。停机时，用蓄电池对CMOS供电。从而使数控纸带可以由纸带阅读机一次读入机内，实现“无纸带加工”操作。

7 M具有“编辑”功能，零件程序的修改很方便。

7 M具有“数控子程序”功能，把计算机中的“子程序”概念运用到数控编程上。当零件程序中有一部分固定加工路径或重复加工路径时，不管路径多复杂，都可以编为一个“数控子程序”，存入机内“数控子程序区（SP）”中，这种子程序可以被调用。系统允许用