机床数控系统设计基础

唐泳洪 编著

机械工业出版社

机床数控系统设计基础

唐 泳 洪 编著

机 械 工 业 出 版 社

本书较为深入系统地阐述了与机床数字控制、生产过程自动化以及计算机应用等方面有关的数学基础和技术基础，着重讨论了如何应用这些基础知识设计机床数控系统和软件，分析、研究、处理数控领域里的数制选择；逻辑设计；机、电系统的数学模型和过渡过程；插补算法和插补器结构；数控系统的逻辑结构；数字闭环系统的动、静态精度；竞争冒险的发现和消除；数控装置的可靠性和利用系数以及提高它们的途径和方法；数字线路故障诊断；数控加工程序设计、计算机辅助编程、APT 语言等方面的有关技术问题。书中每章在内容安排上都考虑了由浅入深，循序渐进，并有较多的工程实例和例题。

本书可供从事数控、自动化、计算机应用等方面的技术人员和科研人员参考，也可供大专院校有关专业的师生及研究生阅读。

机床数控系统设计基础

唐泳洪　编著

*

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）

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 787×1092 1/32·印张 17 1/2·字数 385 千字

1984 年 12 月北京第一版·1984 年 12 月北京第一次印刷

印数　00,001—10,300·定价 2.75 元

*

统一书号：15033·5630

前　言

数字控制（NC）技术在近代工程和科学的发展过程中起着极其重要的作用，几乎已渗透到科学的各个领域和国民经济的各个部门、特别是成了现代机器制造业和飞机制造业（如数控机床、加工中心、计算机数控系统CNC、DNC和DFC）中不可缺少的组成部分。

随着我国工农业生产和科学技术的迅速发展，数控技术的应用范围日益扩大，从事这方面工作的工程技术人员也愈来愈多，他们都迫切希望能较为深入系统地从基本理论以及数学基础方面学习、掌握和运用这门新技术。

二十多年来，我们陆续参加了国内几个数控（NC）和计算机数控（CNC）系统的设计及研制工作，并取得了一些成绩。本书试图将我们在研究工作中积累的点滴材料以及学习中记录的一些心得、体会作一粗浅的概括和总结，以供学习数控技术和从事这方面设计、研究工作的同志参考。

机床数控系统是一个综合性系统，其中不但有大量的数字线路，而且也包含着相当多的线性环节和线性电路，所涉及的理论基础和数学知识非常广泛，因此，在一本书里是不可能一一详尽地加以阐述的，只能择要讨论。

考虑到理论联系实际，所以书中每章都通过具体的工程实例或例题，来阐述基本理论和分析问题、解决问题的方法，在内容安排上，注意到了由浅入深，循序渐进。

第一章叙述了机床数控系统中数的表示及运算，为学

习、了解现有数控系统的数制和设计新系统时合理选择数制作理论准备。

第二章较详细地叙述了布尔代数和卡诺图的基本知识，并着重讨论了如何应用这些基本知识处理数控系统中逻辑线路的设计问题，以及逻辑线路中竞争冒险的发现和消除问题。

第三章叙述了拉普拉斯变换的基本原理及其在数控系统中的应用，如典型脉冲波形的变换、电系统运算阻抗和运算导纳的推导、机械系统运算刚度的推导、应用运算阻抗和运算导纳建立电系统的数学模型、应用运算刚度建立机械系统的数学模型、分析研究机、电系统的过渡过程。

第四章介绍了设计硬件插补器、软件插补器以及加工程序编制所需要的数学基础知识——插补算法。

第五章讨论了各种硬件插补器的逻辑结构和刀具半径偏移计算的几种方法，其中特别详细地叙述了逐点比较法和 r^2 刀具半径偏移计算法以及它们的逻辑实现问题。最后对 r^2 法、系数法、角差法三种刀偏计算法作了评价。

第六章叙述了应用概率论分析研究数控装置的可靠性和利用系数问题的方法，并根据实践经验，从设计、制造、装配、调试、应用诸方面指出了提高数控装置可靠性及利用系数的途径和具体措施。

第七章主要从逻辑结构方面分析了各种类型的机床数控系统，如点位—直线控制、连续路径控制、开环控制、闭环控制、计算机控制、微处理机控制等系统的实现方案和发展趋向，其中比较深入地分析了数字闭环系统的静、动态精度问题；比较详细地介绍了用计算机 DJS-130 构成的 CNC 系统接口设计的两种方案。

第八章主要介绍了数字线路的故障诊断技术、测试码的

计算方法和故障字典的编制方法，并着重讨论了CNC系统中接口部件的故障诊断方法和诊断程序。

第九章介绍了数控加工程序设计的两种方法——手工编程法和计算机辅助编程法，系统地讲述了APT语言，并汇集了应用APT语言编制各种类型“零件程序”的实例。

本书在编写过程中，得到了有关同志的鼓励和支持，他们不但对拙稿进行了严肃认真的审阅、并为内容的修改提出了宝贵和中肯的意见，笔者在此表示衷心感谢。

为了克服书中的缺点和错误，敬希读者帮助指正。

目　录

第一章　机床数控系统中数的表示及运算

在近代的电子计算机、机床数字控制系统以及其他类型的数字线路或数字系统中，一般都采用二进位计数制，仅在较少的机器中采用八进位、十进位或二-十进位的计数制。由于所用进位制的不同，机器的结构和性能也就大有差别。对于设计一台机器来说，究竟应选择什么样的进位制，这要根据具体的需要和可能而定。

在电子线路中，一般都用电流电平或电压电平来表示该线路所传递的信息。如果用连续的电流电平或电压电平来表示某种被测的物理量或计算所用的数值，则对线路传递信息的精确度、稳定性和可靠性都将提出很高的要求，以致使线路难以满足和实现这些要求。然而，如果用某种信号的两种区别很大的状态（如电压的高和低，电流的有和无、绕组的通电和断电等）来表示某些被测的物理量或计算数值，则对线路传递信号精确度的要求就无须那么高，这样的线路比较容易实现，且能确保其稳定可靠地工作。因此，凡是计算精确度和工作可靠性要求较高的数字装置，一般都采用具有两种稳定工作状态的器件（如触发器、门电路、继电器等）所组成的线路——数字逻辑线路（有时亦称之为开关线路）。

由于二进位计数制只使用了两个不同的数字符号（0和1），所以任何具有两种不同稳定工作状态的器件，都可用来表示二进位制数。如可用继电器触头的吸合和释放，电子管、晶体管的导通和截止，磁芯存储器的写入和读出等，来

表示二进位制数的 1 和 0 。而制造以上具有两种稳定工作状态的器件，又要经济和容易得多。因此，在近代数字线路中，之所以多采用二进位制而很少采用或根本不采用十进位制，这也是一个重要原因。

二进位制运算操作方便。十进位制共有 0 到 9 十个数字符号，人们在作十进位制的算术运算时，需要用到远比二进位制繁难得多的四则运算规则。二进位制只有 0 和 1 两个数字符号，在作二进位制运算时，基本上只需运用加法运算规则，其余运算规则一律都可转化为加法规则来进行运算。这样，实现二进位制运算的线路，较之实现十进位制运算的线路，就要简单得多。

采用二进位制运算，可使存储设备大为节省。我们假定，存储一个数，它所需要的设备量 y 正比于该数的位数 n 和所采用的进位制的基数 R，即正比于 nR，可近似地写成：

$$y = nR$$

现令位数为 n 的数所表示的最大信息量为 N，则：

$$N = R^n \tag{1.1}$$

现在来看，当信息量 N 一定时，采用什么样的进位制（即进位制基数 R 等于什么数时），其设备量 y 为最少。实际上，由于 n 和 R 都是整数，因此，当所选用的进位制基数 R 不同时，N 不可能保持为一个恒值。但这里并不是要严格证明在不同的 R 情况下式(1.1)为恒等式，而是要证明 R 等于什么数时设备量 y 为最少。所以，粗略地认为在不同的 R 时，N 不变是允许的。这样，可以对式(1.1) 两边同时取对数，得下式：

$$\log N = n\log R = K \tag{1.2}$$

式(1.2)中的 K 为常数，因此，两边同乘以 n 并经整理后可写成：

$$y = nR = \frac{KR}{\log R} \tag{1.3}$$

现在对式(1.3)求导数，并令其等于零，则可得：

$$y' = \frac{\log R - \log e}{\log^2 R}$$

$$\log R - \log e = 0$$

亦即

$$\log R = \log e \tag{1.4}$$

所以求得：

$$R = e = 2.718 \tag{1.5}$$

这就是说，只有进位制基数 $R = 2.718$ 时，设备量 y 有极小值。但是 R 不能取小数。所以，当进位制基数 R 取接近于 e 的值，即取 2 或 3 时，设备量 y 为最少。从式(1.5) 中可以看出，3 比 2 更接近于 e。但正如前述那样，在目前，两种稳定工作状态的器件，比稳定工作状态多于 2 的器件，要容易制造和稳定可靠得多，因此取 $R = 2$ 较为合理。

二进位制、布尔代数、逻辑线路虽然是三种不相同的概念，但它们都是与 2 有联系或是以 2 为基础的。因此，在设计二进位制的逻辑线路时，可以应用布尔代数这一数学工具来对所需设计之逻辑线路进行分析和综合。这将在第二章中作详细讨论。

当然，在机床数控系统中，除了采用二进位计数制外，也有采用二-十进位和十进位计数制的。这将在本章的后面逐一加以介绍。

一、二进位制数

二进位制数与十进位制数的区别，在于它不是用 10 而

是用 2 作为基数 R。十进位制数中采用了 0、1、2 … 9 十个数字符号表示任何数，而在二进位制数中，只允许用 0 和 1 两个数字符号表示任何数。当采用十进位制计数时，任何一位数，当它计满了十时，必须向左（高一位）进一位。类似地，当用二进位制计数时，任何一位数，当它计满了二时，也必须向左（高一位）进一位。它们的对应关系，可从表1.1和表1.2中清楚地看出。

从表 1.1 和表 1.2 中还可以看出，二进位制数每向左移

表 1.1

2 的乘幂	二进制数	等值十进制数
	0 0 0 0	0 0 0
0	0 0 0 1	0 0 1
1	0 0 1 0	0 0 2
	0 0 1 1	0 0 3
2	0 1 0 0	0 0 4
	0 1 0 1	0 0 5
	0 1 1 0	0 0 6
	0 1 1 1	0 0 7
3	1 0 0 0	0 0 8
	1 0 0 1	0 0 9
	1 0 1 0	0 1 0
	1 0 1 1	0 1 1
	1 1 0 0	0 1 2
	1 1 0 1	0 1 3
	1 1 1 0	0 1 4
	1 1 1 1	0 1 5
4	1 0 0 0 0	0 1 6
	⋮	⋮
5	1 0 0 0 0 0	0 3 2
	⋮	⋮
6	1 0 0 0 0 0 0	0 6 4
	⋮	⋮
7	1 0 0 0 0 0 0 0	1 2 8
	⋮	⋮
8	1 0 0 0 0 0 0 0 0	2 5 6
	⋮	⋮
9	1 0 0 0 0 0 0 0 0 0	5 1 2

表 1.2

2 的乘幂	2 进制数	等值十进制数
	0.00000	0.00000
	0.00001	0.03125
-4	0.00010	0.06250
	0.00011	0.09375
-3	0.00100	0.12500
	0.00101	0.15625
	0.00110	0.18750
	0.00111	0.21875
-2	0.01000	0.25000
	0.01001	0.28125
	0.01010	0.31250
	0.01011	0.34375
	0.01100	0.37500
	0.01101	0.40625
	0.01110	0.43750
	0.01111	0.46875
-1	0.10000	0.50000
	⋮	⋮
	0.11000	0.75000
	⋮	⋮
	0.11111	0.96875
	⋮	⋮
	1.00000	1.00000

一位时，该数就增大一倍，相当于乘 2 。向右移一位时，该数就减小$\frac{1}{2}$，相当于除 2 。这些数都是由某些数与按照一定规则排列的“权”相乘的多项式组成的。各个“权”就是基数 R 的乘幂。例如十进位制数 5402.609 就是由下列多项式所组成的：

$$5402.609 = 5\times10^3 + 4\times10^2 + 0\times10^1 + 2\times10^0 + 6\times10^{-1} + 0\times10^{-2} + 9\times10^{-3}$$

而二进位制数 1011.101 则是由下列多项式所组成：

$$1011.101 = 1\times2^3 + 0\times2^2 + 1\times2^1 + 1\times2^0 + 1\times2^{-1} + 0\times2^{-2} + 1\times2^{-3}$$

从上述多项式可知：小数点左边的“权”是基数R的正整数次乘幂，幂次是递增的，始于0次幂；小数点右边的“权”是基数R的负整数次乘幂，幂次的绝对值也是递增的，始于负一次幂。这样，任意一个数N都可表示为：

$$N = \pm[K_nR^n + K_{n-1}R^{n-1} + \cdots + K_1R^1 + K_0R^0 + K_{-1}R^{-1} + \cdots + K_{-m}R^{-m}] \tag{1.6}$$

式中 n和m都是正整数，K则可以是0、1、2…($R-1$)中的任何一个数。如果$R=10$，则为十进位制数；如果$R=2$，则为二进位制数。在二进位制数中，K只能为0或1。所以，一个二进位制的数$N_{(二)}$可以表示为：

$$N_{(二)} = \pm[K_n2^n + K_{n-1}2^{n-1} + \cdots + K_12^1 + K_02^0 + K_{-1}2^{-1} + \cdots + K_{-m}2^{-m}] \tag{1.7}$$

二、二-十进位制数的转换

一般技术文件资料（如零件加工图纸或数据表格）上的尺寸或数字都是十进位制的，而机床数控系统或电子计算机中大多采用二进位制数进行运算，这样，就需要将十进位制数转换成二进位制数。为便于了解上述两种进位制数的转换规则，让我们先看下面几个具体实例。

【例1】 将十进位制数215用二进位制数表示。按照(1.7)式，则：

$$(215)_{(十)} = K_n2^n + K_{n-1}2^{n-1} + \cdots + K_12^1 + K_02^0$$

$$= 2(K_n2^{n-1} + K_{n-1}2^{n-2} + \cdots + K_1) + K_0$$

将上式两边同除以2，则得：

$$107 + \frac{1}{2}\times 1 = (K_n2^{n-1} + K_{n-1}2^{n-2} + \cdots + K_1) + \frac{1}{2}K_0$$

如所周知，如果有两个数相等，则其整数与整数部分，小数

与小数部分都必然分别相等。所以，通过上式可求得：

$$K_0 = 1$$

两边再同除以 2，则得：

$$53 + \frac{1}{2} \times 1 = (K_n 2^{n-2} + \cdots + K_3 2^1 + K_2) + \frac{1}{2} K_1$$

所以求得：

$$K_1 = 1$$

用同样的方法继续做下去，就可得到 K_2、$K_3 \cdots K_n$ 的各个值，其步骤如表 1.3 所示。

表 1.3

除数 2	被除数	余数	系数 K
2	215	1	K_0
2	107	1	K_1
2	53	1	K_2
2	26	0	K_3
2	13	1	K_4
2	6	0	K_5
2	3	1	K_6
2	1	1	K_7

因此：

$$\begin{aligned}(215)_{(十)} &= K_7 K_6 K_5 K_4 K_3 K_2 K_1 K_0 \\ &= (11010111)_{(二)}\end{aligned}$$

【例 2】 将十进位制数 0.34375 用二进位制数的形式表示。

根据(1.7)式，则：

$$(0.34375)_{(十)} = K_{-1} 2^{-1} + K_{-2} 2^{-2} + \cdots + K_{-m} 2^{-m}$$

将上式等号两边同乘以 2，则得：

$$0.68750 = K_{-1} + (K_{-2} 2^{-1} + K_{-3} 2^{-2} + \cdots + K_{-m} 2^{-m+1})$$

根据两个相等的数其整数部分必然与整数部分相等以及小数部分必然与小数部分相等的道理，可知上式中

$$K_{-1}=0$$

同样，上式等号的两边再同乘以 2，则得：

$$1.37500=K_{-2}+(K_{-3}2^{-1}+\cdots+K_{-m}2^{-m+2})$$

由此可得：

$$K_{-2}=1$$

按照同样的方法继续做下去，则可得到K_{-3}、K_{-4}、K_{-5}…等各值，其转换步骤如下：

$$
\begin{array}{rrl}
 & 0.34375 & \\
\times) & 2 & \\
\hline
 & 0.68750 & \text{整数部分}=0\cdots K_{-1} \\
\times) & 2 & \\
\hline
 & 1.37500 & \text{整数部分}=1\cdots K_{-2} \\
 & 0.37500 & \\
\times) & 2 & \\
\hline
 & 0.75000 & \text{整数部分}=0\cdots K_{-3} \\
\times) & 2 & \\
\hline
 & 1.50000 & \text{整数部分}=1\cdots K_{-4} \\
 & 0.50000 & \\
\times) & 2 & \\
\hline
 & 1.00000 & \text{整数部分}=1\cdots K_{-5}
\end{array}
$$

所以得：

$$
\begin{aligned}
(0.34375)_{(\text{十})}&=(0.K_{-1}K_{-2}K_{-3}K_{-4}K_{-5})_{(\text{二})}\\
&=(0.01011)_{(\text{二})}
\end{aligned}
$$

以上两例，说明了十进位制整数和十进位制小数转换成二进位制整数和二进位制小数的方法。依此类推，任何一个十进位制数，都可按同样的方法将其转换成二进位制数。如果一个数N既有整数部分，又有小数部分，则可用上述两种方法将其整数部分和小数部分都分别转换成各自的二进位制形式，然后再相加即可。