

机 床 数 控 技 术

«机床数控技术»翻译组 译

NC ハンドブック

NC ハンドブック 編集委員会編

日刊工業新聞社

*

机 床 数 控 技 术

《机床数控技术》翻译组 译

*

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)

民族印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32·印张 29 1/2·字数 776 千字
1978 年 12 月北京第一版·1978 年 12 月北京第一次印刷

印数 00,001--40,000·定价 2.80 元

*

统一书号: 15033·4367

目 录

第一章 基础	1
第一节 什么是数控	1
第二节 数控的术语	16
第三节 数控标准	37
第二章 软件(程序系统)	75
第一节 概论	75
第二节 手工编程	78
第三节 自动编程	88
第四节 APT 主要词汇	315
第三章 数控机械	321
第一节 数控机床的种类和用途	321
第二节 数控机床的特点	325
第三节 采用数控机床的有关事项	327
第四节 数控机床的操作方法	330
第五节 数控机床的精度	341
第六节 数控机床的刚性	348
第七节 数控车床	352
第八节 加工中心机床	380
第九节 数控铣床	394
第十节 数控钻床	420
第十一节 数控磨床	440
第十二节 数控镗床	464
第十三节 数控特殊机床	480
第十四节 数控气割机	507

第十五节 数控绘图机	515
第十六节 数控插装机及其他	521
第四章 数控装置	529
第一节 概论	529
第二节 输入线路	531
第三节 运算线路	541
第四节 伺服线路	562
第五节 其他功能	573
第五章 元件	589
第一节 驱动机构	589
第二节 位置检测元件	636
第六章 系统	657
第一节 数控系统概论	657
第二节 计算机辅助生产系统	662
第三节 数控操作系统	726
第四节 工具配备系统	738
第五节 最佳化系统	773
第六节 数据库	806
第七节 成组工艺	818
第八节 数控系统的评价	832
附 录	867
英、日、中文数控词汇对照表	904

第一章 基 础

第一节 什么是数控

数字控制简称数控(根据英文 Numerical Control 缩写为 NC),是指用数字指令来控制一台或一台以上机械的动作。它所控制的一般是位置、角度等机械量,但也有温度、压力、流量、颜色等物理量,这些量的大小是用数字表示的,而且是可测的。

数控是与机床的控制密切结合而发展起来的。因此,数控一词,一般是在“机床数控”这一狭义上使用的。当然,广义的数控也有用在例如造纸以及石油精炼等一类的流程工艺方面的,但这是另外一种类型的数控,其叫法也大多是采用别的名称。

代表性的数控机械是数控铣床或数控车床。在这些机床上加工工件时,刀具移动轨迹的信息是用代码化的数字穿孔在卡片或纸带上,或者记录在磁带上,该信息送入数控装置,经过译码后,控制机床的刀具与工件的相对运动,切出需要的零件。

数控的信息,是用以“0”和“1”或“是”和“否”等可做二元处理的量为最小单位的“二进制”数表示的,并记录在纸带上。该纸带通过数控装置译码,按照用“0”和“1”表示最小单位的数字输入而动作的数字伺服机构(也称数控伺服机构)来操作机械。

上述数控技术的开发,当初是想获得在机床上加工精密零件的一种工艺手段,并研制出辅助机床操作者进行操作的控制装置,以后又随着数字信息处理技术和数控在机床控制上的应用的发展而得到发展。另一方面,由于计算机的引进,工厂中的省力化和生产率的提高正向无人管理方向发展,而且数控机床已经应用了计算机技术,从这一事实来看,用计算机直接控制机床也是可能的,所以,作为实现无人化车间的中心技术来说,数控技术的地位正一

天天地提高。

在此过程中,机床的数控化也从钻床、镗床、车床、铣床一类的切削机床,日益广泛地向磨床、压力机等塑性加工机械、绘图机、气割机以及电加工机床等特殊加工机床方面扩展。

1.1.1 数控的基本组成

数控的基本组成如图 1.1。先给出要加工的零件图,然后把加工所需要的一切信息,即刀具运动轨迹、切削用量等信息,用特定的方式(代码)在纸带上穿孔,做成控制带(穿孔带,指令带)。在此阶段,为进行给定零件的加工,需要把机床的主轴电机及润滑用电机的起动、所要求的机床工作台的运动、主轴旋转速度、机床工作台进给速度等加工所必需的动作编成程序,以便把它穿孔在纸带上。这部分称为数控的软件(程序系统)。利用计算机的自动编程序方法就是应用在这个过程上。

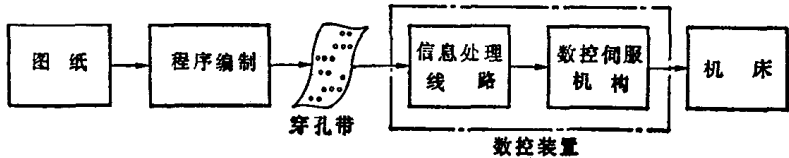


图 1.1 数控的基本组成

控制带加到数控装置上以后,信息处理线路便对已代码化的信息进行译码,同时分配与给出:主轴电机的“通”或“断”指令,到主轴转速控制装置去的转速指令,到数控伺服机构去的使机床工作台等部分动作的指令。

根据分配与给出的指令信号,数控伺服机构就控制机床,实现与控制带上的信息相对应的动作,进行工件的加工。这种数控装置称为硬件部分。

1.1.2 数控的基本构思

在数控中,位置的信息是作为数值,亦即数字量来处理的。例如 10.20 毫米这个数值,就是根据它有多少个最小单位量(此时为 0.01 毫米)来表示的。数控机床也是这样,把刀具与工件的运

动座标分割成某一最小单位量，并按照使座标移动多少个分割点来给出刀具与工件的相对运动。例如在二座标的运动情况下，将座标分割成棋盘格子状；并使之寻走格点，给出的仅是给定数字指令的格点移动量。

一般情况下，最小移动量在工件允差内，并尽可能取得小些，如 10 微米，5 微米、1 微米等。

现在考虑从位于图 1·2(a) 上的任一点 P 把刀具移到另一点 Q 时的情况。刀具中心从 P 点向 Q 点移动时，可以设想有如下的两种情况。

(1) 点位控制(Positioning 或 Point to Point Control)

第一种情况是如何使刀具中心从 P 点移到 Q 点的问题。在钻削、镗削或攻丝等的孔加工中，是使刀具离开工件并移动相应的孔距以后再进行孔加工的，所以刀具的移动轨迹不是个问题。在此情况下，一般如图 1·2(a) 所示，可先使刀具在 X 座标上向 R 点移动，然后再使刀具沿 Y 座标从 R 点移动到 Q 点；或者也可以采用如图 1·2(b) 所示的方法，先使刀具沿着 Y 座标从 P 点向 R 点移动，接着再沿 X 座标使刀具从 R 点移动到 Q 点，这样的控制称为点位控制。

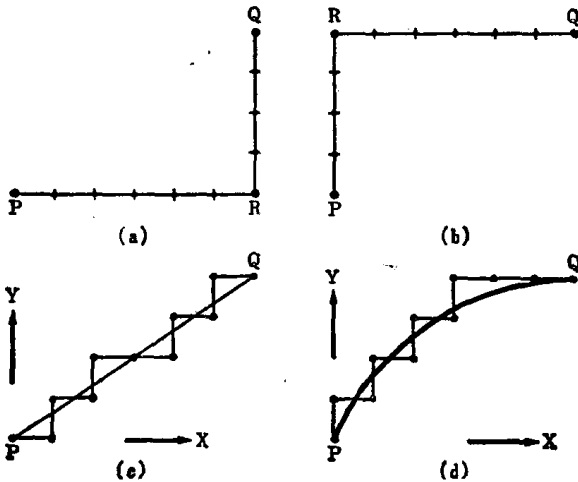


图 1·2 用单位运动来合成任意运动

(2) 轮廓控制或称连续轨迹控制(Contouring 或 Continuous Path Control)

第二种情况下的问题是当刀具中心从 P 点向 Q 点移动时, 指定刀具的移动轨迹是沿着象图 1.2(c) 那样的平滑直线移动呢? 还是沿着象图 1.2(d) 那样的圆弧移动? 在车床和铣床上的很多加工中, 刀具移动轨迹是要加以控制的, 凸轮等零件的制造就是如此。象这样刀具沿着工件轮廓移动的数控就称为轮廓控制。

在轮廓控制中, 最后也仅是以寻走格点(即用最小单位量的单位运动的合成)来实现刀具移动的。所以不能毫不偏离地寻走平滑的直线或圆弧, 也就是在寻走平滑直线或圆弧时, 是通过如图 1.2(c) 或 (d) 那样非常接近于平滑直线或圆弧的格点的单位运动使其逼近于轮廓线的。如上所述, 在允差范围内, 用沿曲线的最小单位移动量合成的分段运动来代替任意的曲线运动, 以得出所需要的运动, 这是数控的基本构思之一。

数控就是应用数字计算机中的数控技术来实现这样的单位运动的合成。即依靠装有送进一个脉冲信号就进行一个单位运动的数控伺服机构和适当地分配到各座标去的脉冲而得到任意的运动。例如要实现象图 1.2(a) 那样的运动, 给 X 座标 6 个脉冲指令, 再给 Y 座标 4 个脉冲指令, 就能使刀具从 P 点移到 Q 点。如果象图 1.2(c) 和 (d) 那样使刀具沿着直线或圆弧移动时, 分配到 X 座标与 Y 座标去的指令脉冲序列必须适当, 即在图 1.2(c) 的情况下, 一定要按 X·Y·X·Y·X·X·Y·X·Y·X 的顺序给脉冲。

正确地产生分配到各座标去的脉冲序列的线路称插补线路, 沿平滑直线配列的叫直线插补, 沿圆弧配列的叫圆弧插补。在轮廓控制中, 这样的插补线路占信息处理线路的大部分。

1.1.3 数控的历史^①

1.1.4 控制带与程序编制

因为复杂曲线的插补线路制作困难, 所以数控是用近似的直线或圆弧来代替被加工曲线的。当加工如图 1.3 所示的板件轮廓

^① 此节内容删译——译者注。

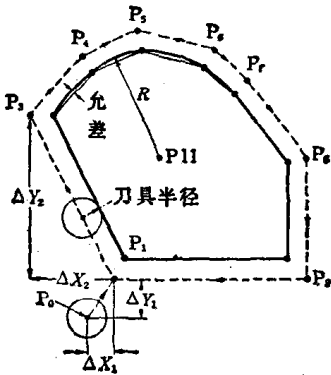


图 1.3 和被加工曲线近似的
刀具移动轨迹

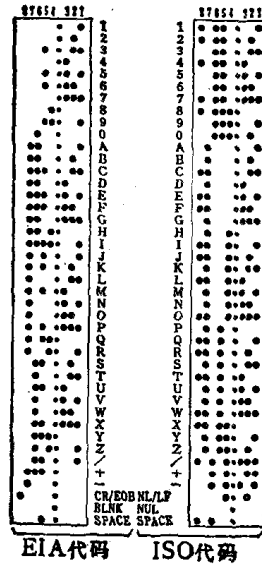


图 1.4 控制带的代码

时,使刀具在从加工面偏置了刀具半径的轨迹上移动,并把刀具移动轨迹转换为直线或圆弧的连接线。刀具移动的每一直线段或圆弧部分称为一个程序段,把每个程序段的信息在控制带上穿孔。被穿上信息孔的控制带通常用的是如图 1.4 的 8 孔带(纸带)。

把信息在控制带上穿孔时,穿孔的顺序和形式称为控制带格式(tape format)。在一个程序段上,按如下的顺序排列信息(图 1.4)。

- 1) EOB(End of Block): 程序段结束。表示程序段的开始与終了; •
- 2) 顺序号(N), 表示程序段的序号;
- 3) 准备功能(G), 表示圆弧插补或直线插补等控制动作方式的功能;
- 4) 数值字(尺寸字), 给出各座标尺寸的数值变化量;
- 5) 进给速度(F 功能), 指定刀具向工件进给的相对速度;
- 6) 主轴转速(S 功能), 指定主轴的转速;

- 7) 刀具选择功能(T 功能), 指定使用刀具的功能;
- 8) 辅助功能(M 功能), 指定上述以外的辅助性功能(多为任选功能);
- 9) EOB。

按如上的顺序在控制带上, 使程序段的信息代码化并进行穿孔。这些从加工图纸上的零件形状与加工顺序开始, 对信息进行整理与计算的的一系列工作, 称为零件程序编制。其编制方法有如下两种。

(1) 手工编制程序(或称手编程序): 是指人们利用台式计算机与数学用表等, 对加工图纸上的有关数字信息进行计算的工作。象点位或直线切削数控, 以及在轮廓控制中, 当被加工零件的形状比较简单时, 都能用手算方法作成控制带。

(2) 自动编制程序(或称机编程序): 当工件形状复杂, 特别是涉及三坐标的立体形状时, 刀具移动轨迹的计算, 不能用手算处理, 而要借助于计算机来进行, 这种方法称为自动编制程序。在自动编制程序时, 零件形状与加工顺序要用计算机能够理解的一种语言——自动程序编制语言——来表示。用自动程序编制语言表示的信息加给计算机后, 由计算机译码并变换成能加给数控装置的符号, 最后作成控制带。这时, 在计算机中要有把自动程序编制语言变换为控制带的所谓系统程序(也称信息处理程序)。

编制程序时, 按图 1.5 所示流程制作控制带(穿孔带)。作为

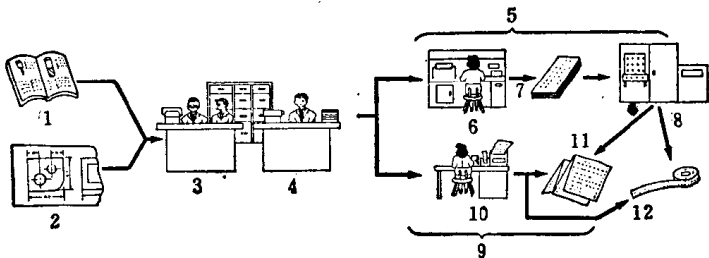


图 1.5 控制带(穿孔带)制作流程

- 1—刀具规格、加工条件 2—零件兰图 3—加工计划 4—零件程序编制员 5—自动编制程序 6—穿孔 7—计算机用卡 8—计算机 9—手动编制程序 10—控制带穿孔机 11—零件程序 12—控制带(穿孔带)

自动程序编制系统,代表性的是美国研制的 APT 系统,它是现有的自动程序编制系统中,规模大、功能丰富的系统。但 APT 只能进行刀具移动轨迹的计算,而刀具的选择与切削用量的确定等,还必须靠人来进行。五坐标控制或曲面创成等都是用 APT 编程序。

正在研制比 APT 自动化水平更高的自动程序编制系统。代表性的系统是西德研制的 EXAPT 它不但包括一般的程序编制,还包括自动选择刀具和自动确定切削用量。

自动程序编制系统,除提高自动化水平外,也向操作简便的方向发展。使用阴极射线管(CRT: Cathode Ray Tube)显示装置的联机 APT 已在研制中,它是不用程序单和穿孔卡的,而是拿着工件图纸坐在阴极射线管显示装置前面,用光笔、功能按键和键盘来作出工件的平面图。如果使规定的工具在荧光屏画面上沿着图纸移动,则计算机立即就能计算出刀具移动轨迹,并作成控制带。

1.1.5 数控装置

数控装置基本上可分为点位控制和轮廓控制用的两种。也有把直线切削用的数控装置加上而分成三种的。其他还有根据数控同时控制的座标数进行分类的,即单座标控制、两座标控制、三座标控制或五座标控制等等。

(1) 点位控制

点位控制有增量方式、绝对值方式以及这两者的组合方式。

(A) 增量方式

这种方式如图 1.6 所示,各点的位置指令是用从现在位置开始的座标增量给出的。图 1.7 是应用这种方式的闭环控制系统的一例,即把相当于要移动的座标的增量值的指令脉冲送入可逆计数器,由可逆计数器记下该指令脉冲数,并发出使工作台驱动系统动作的信号。

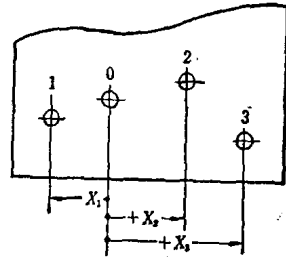


图 1.6 增量方式的指令

工作台被驱动后,则从脉冲发生器发出与工作台的运动相对应的

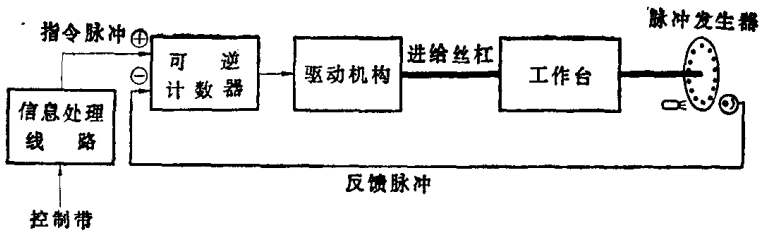


图 1.7 增量式的闭环控制系统

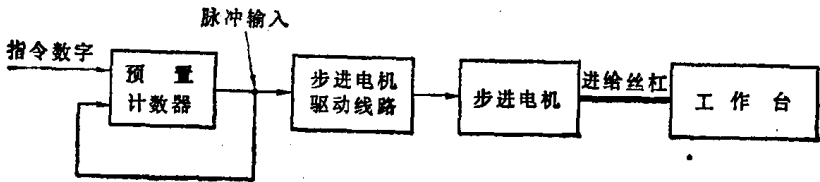


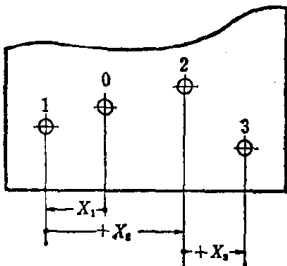
图 1.8 增量式开环控制系统

脉冲, 该脉冲又反馈到可逆计数器, 与已经记在计数器中的指令脉冲数相减, 当计数器内的脉冲数为零时, 工作台即停止运动, 这样就能得到与指令脉冲相对应的运动。在这种方式中, 也有用图 1.8 那样的控制系统的, 利用了每送入一个指令脉冲就相应地转动一定角度的步进电机; 因为它不带反馈回路, 所以称为开环方式。

增量方式中, 因为定位的差错积累后将形成误差, 所以需要考
虑采取能随时对照基准位置的措施, 当定位顺序被省略一部分时,
则指令需要特别处理, 因此它适用于定位顺序是固定的场合。

(B) 绝对值方式

这种方式如图 1.9 所示。各点的位置指令是用它们在既定座
标系中的绝对坐标值给出的。图 1.10
是该方式的一例。假设工作台在从 0 到
15 的 16 个位置上定位时, 用四位
的纯二进制数把指令数字输送给减
法器。指令数字进入减法器后就发
出使驱动机构动作的信号, 驱动机
构就驱动工作台运动。装在工作台
上的编码盘, 把工作台的即时位置
的绝对坐标值, 转换成二进

图 1.9 绝对值方式
的指令

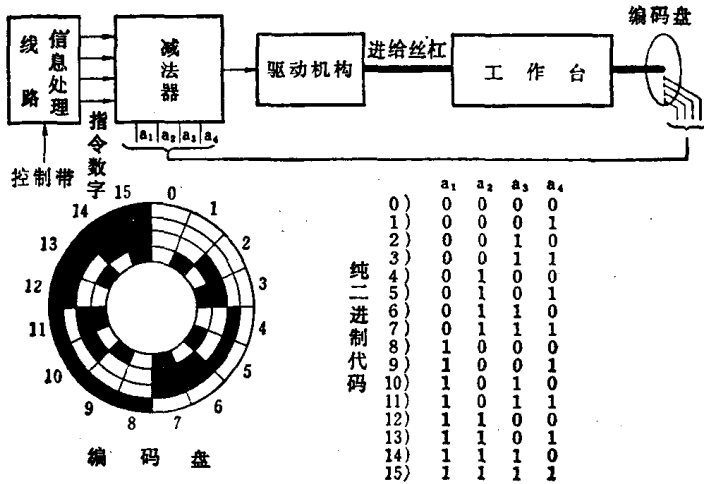


图 1.10 绝对值控制方式

制代码, 然后反馈到减法器。在减法器中, 由指令数字减去从编码盘反馈过来的工作台即时位置数字, 当差值为零时, 工作台就停止运动。这样, 工作台就被定位在指令数字的位置上。

这种方式, 因为检测的是各个位置的坐标值, 因此不会积累某一段中的误差, 另外定位顺序选择的自由度也高。

(C) 组合方式

由绝对值方式和增量方式组合起来的所谓组合方式, 它具有前者的顺序选择的自由度高与位置检测的精度较高的优点, 但检测器的分辨能力有一定的限度, 为弥补这一缺点, 在分辨能力限度范围内, 指令数字的高位部分的定位采用绝对值方式, 而其余的低位部分的控制采用增量方式, 因此这是一种高精度定位的方式。

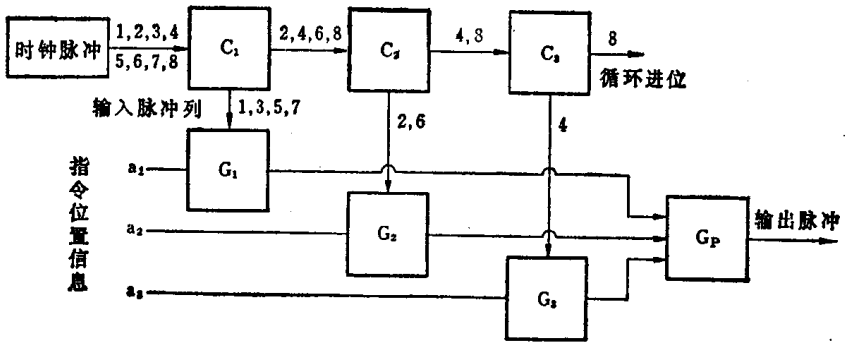
(2) 轮廓控制

在轮廓控制中, 因为是靠适当地分配到各坐标去的脉冲序列来决定刀具移动轨迹, 所以它的数控伺服机构的控制是采用在点位控制中已谈到的送入一个指令脉冲就进行一个单位运动的增量方式, 再加上使数控伺服机构能实现加工曲线而给出脉冲序列的插补线路, 就构成了轮廓控制。插补线路是对应于给定的曲线

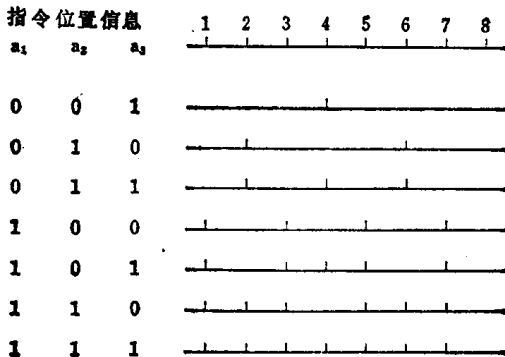
来产生指令脉冲序列的,但是这个曲线不能无限制地任意选取,否则,线路就会复杂。因此,编制程序时,在允许范围内大多是采用直线或圆弧来逼近给定的曲线。为此插补线路就有直线插补和圆弧插补两种线路。下面对几个代表性的插补方式进行说明。

(A) MIT 插补方式

这是美国麻省理工学院在研制数控时曾用过的一种方式,也叫二进乘法器 (BRM——Binary Rate Multiplier) 方式。所有的曲线都用直线来逼近,曲线分割的两端点采用直线插补。插补线路如图 1.11(a) 所示,是由二进计数器线路和门线路组成的简单形式。图中在 3 位的计数器中给了 8 个时钟脉冲。此时在二进计数器元件 C_1 中,时钟脉冲被分别分配到下侧与右侧,被分配到



(a) 二进乘法器的框图



(b) 被分配的脉冲

图 1.11 二进乘法器的原理

右侧去的脉冲,进一步在计数器元件 C_2 中又被分别分配到下侧与右侧,在 C_3 中也是这样。在各个计数器元件中,被分配到下侧去的脉冲,经与门 G_1 、 G_2 和 G_3 送到或门 G_P ,此时就根据与门 G_1 、 G_2 和 G_3 的门信号 a_1 、 a_2 和 a_3 ,从或门 G_P 产生如图 1.11(b) 所示的输出脉冲。

现在看一下,如图 1.12 那样要驱动数控伺服机构沿着连接 P 及 Q 点 (X 座标为 6 个单位、Y 座标为 4 个单位) 这一直线移动时的情况。此时,作为给到 X 座标去的脉冲的二进乘法器门信号,如果给到 X 座标去的是与 6 对应的二进制符号 (即 $a_1a_2a_3=110$) 的信号,给到 Y 座标去的是与 4 对应的二进制符号的是图示的脉冲序列,则其结果便得到如图 1.12 那样的近似于直线的运动。三座标时的情况也一样。

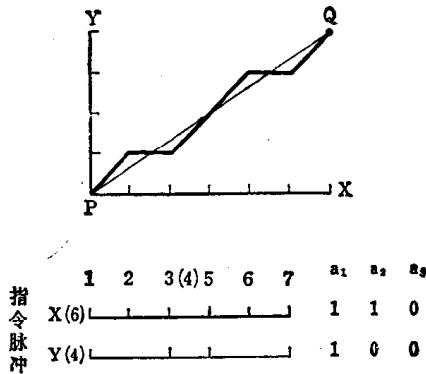


图 1.12 用二进乘法器的直线逼近

(B) DDA 插补方式

这是利用 DDA (Digital Differential Analyzer, 数字微分分析器, 也称数字积分器) 的一种插补方式, 在数控中应用得最广泛。图 1.13 是作为 DDA 基本运算单元的数字积分器的组成, 它有如图所示的两个寄存器 Y 与 R。被积分变量 Y 经数字化后记入寄存器 Y 内。设 ΔX 为积分变量经细分后的一个增量, 则积分值相应地增加 $Y \cdot \Delta X$ 。即 Y 寄存器的数字, 每当进来一个 ΔX 的信号脉冲, 就被转移到寄存器 R 内。而且随着进来的 ΔX 信号脉

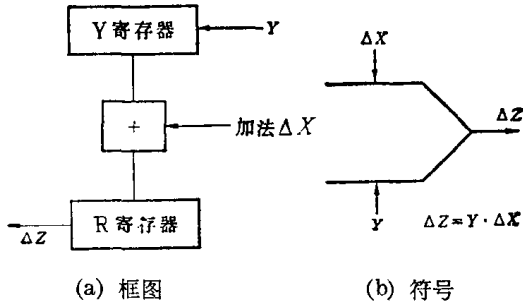


图 1.13 DDA(数字积分器)的组成

冲，Y寄存器的数字就被不断地加到R寄存器内。假定Y寄存器与R寄存器具有同样的容量，存储在R寄存器中的数字若超过其容量就溢出。以 ΔZ 表示溢出脉冲，如Y寄存器的数字取为二进制的小数，则 $\Delta Z = Y \cdot \Delta X$ 的关系就成立。

图 1.14 是应用 DDA 的脉冲分配的例子，对应于移动数字(011)产生三个脉冲序列。如组成与给定的微分方程式相应的 DDA 的基本线路的话，就能得到如图 1.15 或图 1.16 所示的直线插补或圆弧插补的线路。

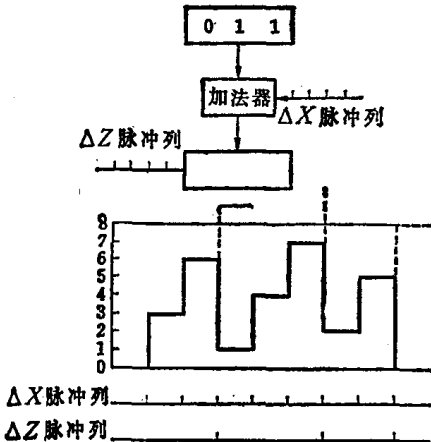


图 1.14 三个 DDA 的脉冲序列

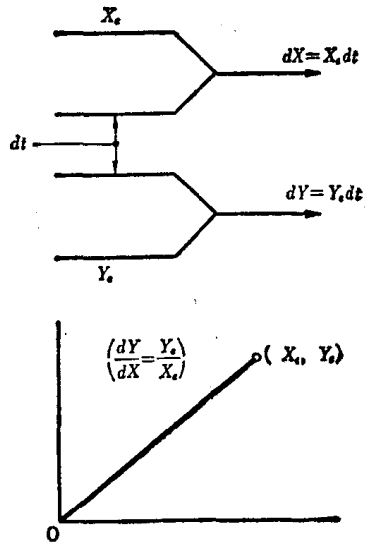


图 1.15 DDA 的直线插补

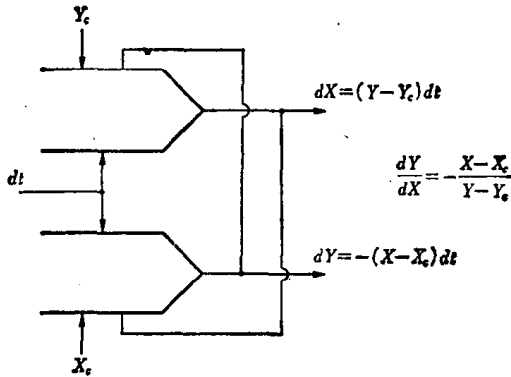


图 1.16 DDA 的圆弧插补

1.1.6 数控应用上的有关问题

为应用数控，一定要从各个角度进行充分的探讨。在本节中谈谈数控应用上的有关重要问题。

(1) 数控的适用范围

机床上应用数控的有利范围可用图 1.17 来表示。横座标为工件复杂性，纵座标为工件批量数，通用机床、专用机床、数控机床的适用范围分别如图所示。数控机床适于加工批量数较小而又形状复杂的零件。在这意义上，可以说数控机床适用于多品种小批量生产。

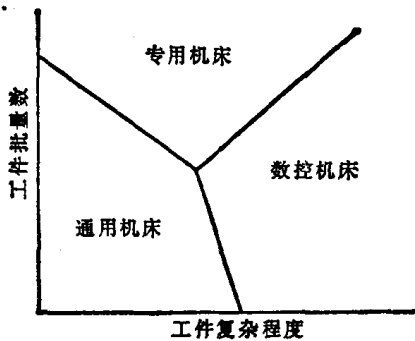


图 1.17 数控机床的适用范围

图 1.18 表示的是通用机床、专用机床、数控机床的工件加工批量数和工件总加工费用(生产成本)间的关系。当然，这种图由于