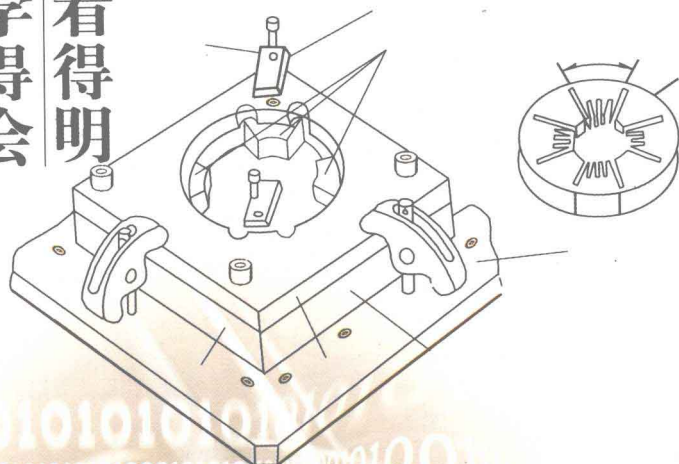


技工现场操作技能问答丛书

SHUKONGJIAGONG

Xianchang Caozuo Jineng Wenda

○ 看得明
○ 学得会
○ 弄得懂
○ 用得着



数控加工现场操作

技能问答

张能武 主编

广东省出版集团 广东科技出版社 (全国优秀出版社)

图书在版编目 (CIP) 数据

数控加工现场操作技能问答/张能武主编. —广州: 广东科技出版社, 2009. 6

(技工现场操作技能问答丛书)

ISBN 978-7-5359-4492-4

I. 数… II. 张… III. 数控机床—加工—问答
IV. TG659-44

中国版本图书馆CIP数据核字 (2008) 第118832号

责任编辑: 谢志远 陈毅华

封面设计: 陈维德

责任校对: 罗美玲

责任技编: LHZH

出版发行: 广东科技出版社

(广州市环市东路水荫路11号 邮码: 510075)

E-mail: gdkjzbb@21cn.com

<http://www.gdstp.com.cn>

经 销: 广东新华发行集团股份有限公司

排 版: 广东科电有限公司

印 刷: 广州市官侨彩印有限公司

(广州市番禺区石楼镇官桥村 邮码: 511447)

规 格: 787mm × 1 092mm 1/16 印张12.25 字数250千

版 次: 2009年6月第1版

2009年6月第1次印刷

印 数: 1 ~ 6 000册

定 价: 25.00元

如发现因印装质量问题影响阅读, 请与承印厂联系调换。

内 容 提 要

本书采用问答的形式系统地介绍了数控加工人员现场操作中必备的理论知识、基本技能、操作技巧和注意事项等。全书分为3个部分，分别介绍了数控加工操作基础知识、数控加工操作基本技能及数控加工综合实例。

本书深入浅出、图文并茂、直观易懂、针对性强，具有基础理论与实际操作技能相结合的特点，易于理解，使读者在阅读和查找某一问题时快捷方便、一目了然，适合数控加工人员在实际工作中自学以及在碰到实际问题时查阅。既适合广大数控加工技术爱好者自学，又可作为初、中级数控加工培训教材，还可供相关专业职业技术学校师生阅读与参考。

前 言

纵观改革开放30年，我国机床消费额大致和国民经济GDP增长值同步，平均每10年翻一番。20世纪80年代初，我国机床消费额为10亿美元，90年代初达20亿美元，2000年为37.88亿美元。当年世界机床最大消费国美国，消费额为68亿美元，原预计2010年中国将成为世界最大机床消费市场，令人意想不到的，2003年美国的一项调查统计报告称：全世界机床产值2002年约310亿美元，比上年减少14.2%，但中国却比上年增加20%，达56.96亿美元。我国首次成为世界第一机床消费大国和全球第一机床进口大国。

无论从数控机床的增长速度，还是从进口数量的膨胀，无论从数控化率的国际比较，还是从技术等级的水平，我们都能看到一个不争的事实：数控机床的广泛应用，急需大量的数控技术人才，急需在短期内培养出一大批高技能型人才。

为了满足数控加工初学人员在较短的时间学习实用技术的要求，我们根据实际工作经验，以新颖的形式，编写了这本《数控加工现场操作技能问答》，目的是给数控加工初学人员在实际工作中提供更切合实际的技术和技能上的帮助，以便使读者更好地将数控实用技术应用在工作中，并取得较好的效果。

本书采用问答的形式系统地介绍了数控加工人员现场操作中必备的理论知识、基本技能、操作技巧和注意事项等。全书分为3个部分，分别介绍了数控加工操作基础知识、数控加工操作基本技能及数控加工综合实例。本书深入浅出、图文并茂、直观易懂、针对性强，具有基础理论与实际操作技能相结合的特点，使读者在阅读和查找某一问题时方便快捷、一目了然，适合数控加工人员在实际工作中或自学时碰到实际问题时查阅。既适合于广大数控加工技术爱好者自学，又可作为初、中级数控加工培训教材，还可供相关专业职业技术学校师生阅读与参考。

本书由张能武主编，参加编写的有周斌兴、刘述芳、张道霞、许佩霞、陶荣伟、杨光明、唐亚民、任志俊、薛国祥等。本书编写过程中参考了相关图书出版物，并得到江南大学机械学院、江苏模具协会、苏州模具协会等单位的大力支持和帮助，在此表示感谢。

由于知识水平有限和时间仓促，在编写过程中难免有疏漏或不足之处，恳请广大读者和专家批评指正。

编著者

2009年元月

目 录

第一部分 数控加工操作基础知识

1. 数控机床的工作原理是什么?	(1)
2. 数控机床由哪几部分组成?	(1)
3. 伺服系统的典型结构有哪些?	(3)
4. 进给驱动系统的基本形式有哪些?	(5)
5. 数控机床有哪些分类?	(7)
6. 数控机床的加工对象有哪些?	(12)
7. 数控技术有哪些常用术语?	(13)
8. 数控机床有什么特点? 其应用范围是什么?	(15)
9. 数控车床主要加工对象有哪些?	(17)
10. 数控铣床的主传动系统及主轴部件有哪些?	(18)
11. 数控铣削加工工艺文件如何编制?	(21)
12. 数控加工程序编制的内容和步骤是什么?	(22)
13. 数控车床有哪些编程方法?	(23)
14. 数控编程有哪些特征点?	(26)
15. 数控加工中心有哪些编程特点?	(27)
16. 加工中心的自动换刀装置有哪些?	(28)
17. 加工中心有哪些辅助设备?	(33)
18. 电火花加工的特点和适用范围是什么?	(37)
19. 电火花加工机床有哪些组成部分?	(38)
20. 电火花加工工艺方法有哪些类别?	(40)
21. 数控线切割机床的加工原理是什么?	(42)
22. 电火花线切割加工有哪些工艺技巧?	(42)
23. 数控车床有哪些夹具?	(45)
24. 常用刀具的种类有哪些?	(49)
25. 什么是刀具的几何角度?	(49)

第二部分 数控加工操作基本技能

1. 数控加工工序如何设计?	(52)
2. 数控机床有哪些对刀方法?	(55)
3. 走刀路线如何确定?	(58)
4. 对刀点和换刀点如何确定?	(59)
5. 试切法对刀有哪些禁忌?	(60)
6. 刀具有哪些磨损形式?	(60)

7. 刀具的磨损有什么原因, 有哪些改善途径?	(61)
8. 切削所产生的表面有哪些?	(63)
9. 切削用量如何确定?	(63)
10. 影响切削力的因素有哪些?	(66)
11. 提高工件加工质量的措施有哪些?	(68)
12. 工件定位原理是什么?	(69)
13. 定位基准的选择原则是什么?	(71)
14. 工件在数控车床上如何定位?	(74)
15. 工件如何夹紧?	(76)
16. 夹具如何选择?	(77)
17. 数控机床如何安装调试?	(78)
18. 数控机床运行使用中有哪些禁忌?	(81)
19. 数控铣床如何操作?	(82)
20. 如何进行数控铣床的验收调试?	(86)
21. 数控铣床操作时有哪些禁忌?	(92)
22. 数控车床如何换刀?	(92)
23. 数控车床零件结构工艺性如何分析?	(94)
24. 数控车床的进给路线如何确定?	(97)
25. 如何在数控车床上进行孔的加工?	(100)
26. 螺纹车削有哪些禁忌?	(102)
27. 什么是数控车床的坐标轴及其运动方向?	(102)
28. 数控车床的工作坐标系如何设定?	(103)
29. 数控车床的准备功能代码是什么?	(105)
30. 数控车床的辅助功能代码是什么?	(106)
31. 上下异形面如何进行切割加工?	(109)
32. 电火花线切割机床的基本操作是什么?	(111)
33. 电火花线切割加工的加工精度有哪些影响因素?	(113)
34. 电火花线切割加工过程中有哪些禁忌?	(116)
35. 电极丝的选择技巧与禁忌有哪些?	(116)
36. 数控加工中尺寸系统如何编程?	(117)
37. 如何利用固定循环命令进行数控编程? 试举例说明。	(119)
38. 如何利用运动路径控制指令进行编程?	(120)
39. 数控加工有哪些操作技巧?	(124)
40. 数控编程中有哪些禁忌?	(129)
41. 数控机床如何维护与保养?	(133)
42. 数控机床机械故障如何诊断?	(135)
43. 数控机床故障如何诊断?	(137)
44. 数控装置常见故障如何分析?	(140)
45. 伺服系统故障如何诊断与排除?	(142)

46. 数控机床维修有哪些禁忌?	(149)
------------------------	---------

第三部分 数控加工综合实例

1. 数控车床的零件加工实例	(152)
2. 数控铣床的零件加工实例	(155)
3. 平面铣削的数控编程加工实例	(159)
4. 轴承座零件加工实例	(161)
5. 数控线切割零件加工实例	(164)
6. 综合编程加工实例	(165)
7. 利用阵列法加工实例	(168)
8. 车削加工实例	(174)
9. 加工中心加工实例一	(177)
10. 加工中心加工实例二	(180)

第一部分 数控加工操作基础知识

1. 数控机床的工作原理是什么？

数控机床是如何工作的呢？简而言之就是用数字信息来控制机床的运动。机床的所有运动包括主运动、进给运动及各种辅助运动等，都是通过输入数控装置的数字信号来控制的。

具体而言，数控机床的工作过程，即加工零件的过程，如图1-1所示。其主要步骤是：

1) 根据被加工零件图中所规定的零件的形状、尺寸、材料及技术要求等，制定工件加工的工艺过程、刀具相对工件的运动轨迹、切削参数以及辅助动作顺序等，进行零件加工的程序设计。

2) 用规定的代码和程序格式编写零件加工程序单。

3) 按照程序单上的代码制作穿孔带（控制介质）。

4) 通过输入装置（如光电阅读器）把孔带上的加工程序输入给数控装置。

5) 启动机床后，数控装置根据输入的信息进行一系列的运算和控制处理，将结果以脉冲形式送往机床的伺服机构（如步进电机、直流伺服电机及电液脉冲马达等）。

6) 伺服机构驱动机床的运动部件，使机床按程序预定的轨迹运动，从而加工出合格的零件。

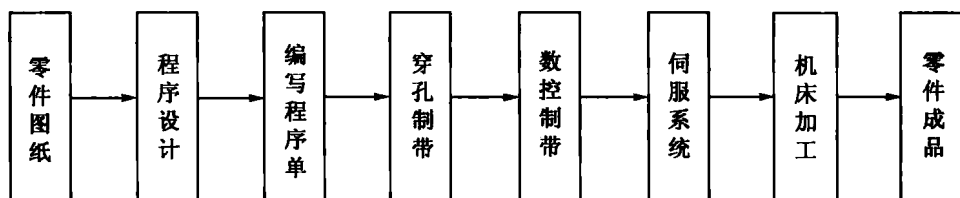


图1-1 数控机床加工工作过程

2. 数控机床由哪几部分组成？

根据上述工作原理，数控机床主要由控制介质、数控装置伺服系统和机床本体等部分组成，其组成框图如图1-2所示。

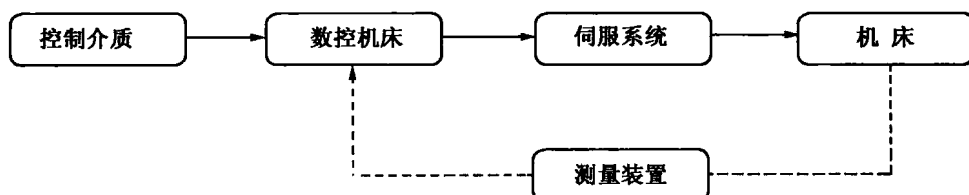


图1-2 数控机床的组成

(1) 控制介质

数控机床工作时，不需要人直接操纵机床，但机床又必须执行人的意图。这就需要在人与机床之间建立某种联系的中间媒介物称为控制介质。在控制介质上存储着加工零件所需要的全部操作信息和刀具相对工件的位移信息。因此，控制介质就是指将零件加工信息传送到数控装置上的信息载体。控制介质有多种形式，它随着数控装置类型的不同而不同，常用的有穿孔纸带、穿孔卡、磁带及磁盘等。控制介质上记载的加工点要经过输入装置传送给数控装置，常用的输入装置有光电纸带输入机、磁带录音机和磁盘驱动器等。

除了上述几种控制介质外，还有一部分数控机床采用数码拨盘、数码插销或利用键盘直接将程序及数据输入。另外，随着CAD/CAM技术的发展，有些数控设备利用CAD/CAM软件在其他计算机上编程，然后通过计算机与数控系统通信，将程序和数据直接传递给数控装置。

(2) 数控装置

数控装置是数控机床的中心环节，通常由输入装置、控制器、运算器和输出装置4个部分组成。如图1-3所示。图中虚线内包含部分为数控装置。

输入装置接受由穿孔带阅读机输出的代码，经过识别与译码之后分别输入到各相应的寄存器，这些指令与数据将作为控制与运算的原始依据，控制器接受输入装置的指令，根据指令控制运算器与输出装置，以实现机床的各种操作（例如控制工作台沿某一坐标轴的运动，主轴变速和冷却液的开关等）以及控制整机的工作循环（例如控制阅读机的启动、停止，控制运算器的运算，控制输出信号等）。

运算器接受控制器的指令，将输入装置送来的数据进行运算，并不断向输出装置送出运算结果，使伺服系统执行所要求的运动。对于加工复杂零件的轮廓控制系统，运算器的重要功能是进行插补运算，所谓插补就是将每程序段输入的工件轮廓上的某起始点和终点的坐标数据送入运算器，经过运算之后在起点和终点之间进行“数据密化”，并按控制器的指令向输出装置送出计算结果。

输出装置根据控制器的指令将运算器送来的计算结果输送到伺服系统，经过功率放大驱动相应的坐标轴，使机床完成刀具相对工件的运动。

目前均采用微型计算机作为数控装置。微型计算机的中央处理单元（CPU）又称为微处理器，是一种大规模集成电路，它将运算器、控制器集成在一块集成电路芯片中。在微型计算机中，输入与输出电路也采用大规模集成电路，即所谓的I/O接口。微型计算机拥有较大容量的寄存器，并采用高密度的存储介质，如半导体存储器和磁盘存储器等。存储器可分为只读存储器（ROM）和随机存取存储器（RAM）两种类型，前者用于存放系统的控制程序，后者存放系统运行时的工作参数或用户的零件加工程序。微型计算机数控装置的工作原理与上述硬件数控装置的工作原理基本相同，只是前者采用通用的硬件，不同的功能

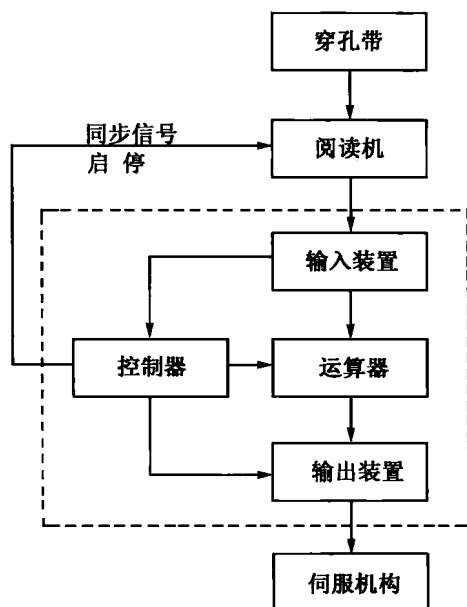


图1-3 数控装置

通过改变软件来实现,因此更为灵活与经济。

(3) 伺服系统

伺服系统由伺服驱动电动机和伺服驱动装置组成,它是数控系统的执行部分。伺服系统接受数控系统的指令信息,并按照指令信息的要求带动机床的移动部件运动或使执行部分动作,以加工出符合要求的零件。指令信息是以脉冲信息体现的,每一个脉冲使机床移动部件产生的位移量叫做脉冲当量。机械加工一般常用的脉冲当量为0.01 mm/脉冲、0.005 mm/脉冲、0.001 mm/脉冲。

伺服系统是数控机床的关键部件,它直接影响数控加工的速度、位置、精度等。

伺服机构中常用的驱动装置,随控制系统的不同而不同。开环系统的伺服机构常用步进电机和电液脉冲马达;闭环系统常用的有宽调速直流电机和电液伺服驱动装置等。

(4) 机床本体

机床本体是数控机床的主体,由机床的基础大件(如床身、底座)和各运动部件(如工作台、床鞍、主轴等)所组成。它是完成各种切削加工的机械部分,是在原普通机床的基础上改进而得到的,具有以下特点:

- 1) 数控机床采用了高性能的主轴及伺服传动系统,机械传动结构简化,传动链较短;
- 2) 数控机床机构结构具有较高的刚度、阻尼精度及耐磨性,热变形小;
- 3) 更多地采用高效传动部件,如滚珠丝杠副、直线滚动导轨等。

与传统的手动机床相比,数控机床的外部造型、整体布局、传动系统与刀具系统的部件结构及操作机构等方面都已发生了很大的变化。这种变化的目的是为了满足不同数控机床的要求和充分发挥数控机床的特点。因此,必须建立数控机床设计的新概念。

除上述4个主要部件外,数控机床还有一些辅助装置和附属设备,如电器、液压、气动系统与冷却、排屑、照明、储运等装置以及编程机、对刀仪等。

3. 伺服系统的典型结构有哪些?

在数控机床中,由计算机发出指令脉冲,让指定的驱动电动机拖着工作台动,而且这台电动机的运动速度、运动的距离,完全按照计算机的指令行事,非常准确无误地完成指令要求的任务。完成上述任务的就是伺服系统。

很显然,伺服系统所以能做到这一点也是非常不容易的。因为电动机拖着一个重量很重的工作台,而且摩擦力随着季节、新旧程度、润滑状态等因素而变化,控制了一个稳定速度、精确定位,可以想象其难度之大。

但是随着科学技术的进步,人们不断从生产实践中总结经验,一步一步找到了好的控制办法,这就是三环结构。三环结构如图1-4所示。

这3个环就是位置环、速度环、电流环。位置环也称为外环,其输入信号是计算机给出的指令和位置检测器反馈的位置信号。这个反馈是负反馈,也就是说与指令信号相位相反。指令信号是向位置环送去加数,而反馈信号是送去减数。

位置环的输出就是速度环的输入。

速度环也称为中环。这个环是一个非常重要的环,它的输入信号有两个:一个是位置环的输出,作为速度环的指令信号送给速度环;由电动机带动的测速发电机经反馈网络处理后的信息,作为负反馈送给速度环。速度环的两个输入信号也是反相的,一个是加,一

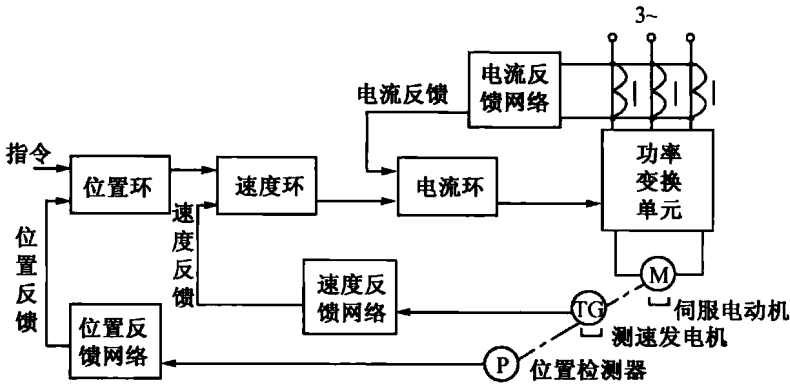


图1-4 三环结构

个是减。速度环的输出就是电流环的指令输入信号。

电流环也叫内环，电流环也有两个输入信号，一个是速度环输出的指令信号；另一个是经电流互感器，并经处理后得到的电流信号，它代表电动机电枢回路的电流，它送入电流环也是负反馈信号。电流环的输出是一个电压模拟信号，用它来控制PWM电路，产生相应的占空比信号去触发功率变换单元电路，使电动机获得一个与计算机指令相关的，并与电动机位置、速度、电流相关的运行状态。这个运行状态满足计算机指令的要求。

这3个环都是调节器，其中有时采用比例调节器，有时采用比例积分调节器，有时还要用比例积分微分调节器。

比例调节器称为P调节器，比例积分调节器称为PI调节器，比例积分微分调节器称为PID调节器。

之所以采用这种调节方式，主要是能充分利用设备的潜能，使整个机床能快速准确地响应计算机的指令要求。

在这三环系统中，应该明确两个问题。第一个问题是位置调节器的输出是速度调节器的输入；速度调节器的输出是电流调节器的输入；电流调节器的输出直接控制功率变换单元；也就是去控制PWM。第二个问题就是这3个环的反馈信号都是负反馈，这里没有正反馈问题，所以3个环都是反相放大器。

以上谈到的三环结构仅仅是一个原理的叙述。这3个环及其反馈信号在具体的机床中会有很大的变化。不管有什么变化，但基本的控制思想还是这样的。

关于位置反馈网络、速度反馈网络、电流反馈网络，在这里不做详细的叙述。可以说，有时是非常简单的一个电位器，或者是一个滤波电路，但有时确实是一个复杂的逻辑关系。

位置检测器可以是光电编码器、旋转变压器，也可能是光栅尺、感应同步器或磁栅尺等。但是，它的作用就是检测位置的，有时可能是直接检测位置，但有时也是间接检测位置。

测速发电机在很多机床中是没有的，可以通过光电编码器的脉冲频率获得速度的信息。

目前，已有很多公司生产出全数字的数控系统，也就是全部数字化，没有模拟量的控制了。这就意味着一个比例积分微分调节器变成了一个PID的算法，这个PID调节器的硬

件，由一个PID的程序来代替。这样位置环、速度环，甚至电流环，把反馈信号送入计算机中去，计算机把这3个环的调节变成一个程序，通过对反馈信号的处理以及指令信号与反馈信号进行PID运算，获得最终的控制信号（数字量）。

4. 进给驱动系统的基本形式有哪些？

进给伺服系统按其控制方式不同可分为开环系统和闭环系统。闭环控制方式通常是具有位置反馈的伺服系统。根据位置检测装置所在位置的不同，闭环系统又分为半闭环系统和全闭环系统。

半闭环系统有位置检测装置装在丝杠端头和装在电动机轴端两种，前者把丝杠包括在位置环内，后者则完全置机械传动部件于位置环之外。全闭环系统的位置检测装置安装在工作台上，机械传动部件整个被包括在位置环之内。

（1）开环数控系统

无位置反馈装置的控制方式就称为开环控制，采用开环控制作为进给驱动系统，则称开环数控系统。一般使用步进驱动系统（包括电液脉冲马达）作为伺服执行元件。所以也称步进驱动系统。在开环控制系统中，数控装置输出的脉冲，经过步进驱动器的环形分配器或脉冲分配软件的处理，在驱动电路中进行功率放大后控制步进电动机，最终控制步进电动机的角位移。步进电动机再经过减速装置（一般为同步带，或直接连接）带动丝杠旋转，通过丝杠将角位移转换为移动部件的直线位移。因此，控制步进电动机的转角与转速，就可以间接控制移动部件的移动，俗称位移量。图1-5为开环控制进给伺服驱动系统的结构框图。

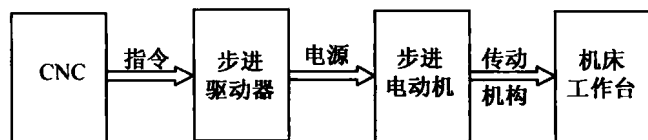


图1-5 开环控制的进给伺服驱动系统

开环系统的定位精度一般在 $\pm(0.01 \sim 0.02)$ mm，它结构简单、工作可靠、造价低廉，但是系统对移动部件的实际位移量不进行检测，由于影响定位精度的机构传动装置的摩擦、惯量、间隙的存在，因此无法通过反馈自动进行误差检测和校正，故精度和快速性较差。步进电动机的步距角误差、齿轮与丝杠等部件的传动误差，都将影响被加工零件的精度。特别是在负载转矩超过输出转矩时，将导致“丢步”，使加工出错。因此，开环控制仅适用于加工精度要求不高，负载较轻且变化不大的简易、经济型数控机床。

（2）半闭环数控系统

图1-6所示为半闭环数控系统的进给控制框图。半闭环位置检测方式一般将位置检测元件安装在电动机的轴上（通常已由电动机生产厂家安装好），用以精确控制电动机的角度，然后通过滚珠丝杠等传动机构，将角度转换成工作台的直线位移，如果滚珠丝杠的精度足够高，间隙小，精度要求一般可以得到满足。而且传动链上有规律的误差（如间隙及螺距误差）可以由数控装置加以补偿，因而可进一步提高精度，因此在精度要求适中的中、小型数控机床上半闭环控制得到了广泛的应用。

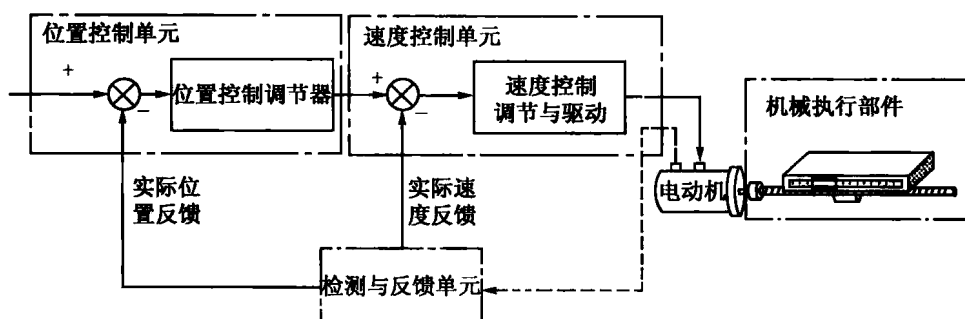


图1-6 半闭环数控系统进给控制

半闭环方式的优点是它的闭环回路短（不包括传动机构），因而系统容易达到较高的位置增益，不发生振荡现象。它的快速性也好，动态精度高，传动机构的非线性因素对系统的影响小。但如果传动机构的误差过大或误差不稳定，则数控系统难以补偿。例如由传动机构的扭曲变形所引起的弹性变形，因其与负载力矩有关，故无法补偿。由制造与安装所引起的重复定位误差，以及由于环境温度与丝杠温度的变化所引起的丝杠螺距误差也不能补偿。因此要进一步提高精度，只有采用全闭环控制方式。

（3）全闭环数控系统

图1-7所示为全闭环数控系统进给控制框图。全闭环方式直接从机床的移动部件上获取位置的实际移动值，因此其检测精度不受机械传动精度的影响。但不能认为全闭环方式可以降低对传动机构的要求。因闭环回路包括了机械传动机构，它的闭环动态特性不仅与传动部件的刚性、惯性有关，而且还取决于阻尼、油的黏度、滑动面摩擦系数等因素。这些因素对动态特性的影响在不同条件下还会发生变化，这给位置闭环控制的调整和稳定带来了困难，导致调整闭环回路时必须降低位置增益，从而对跟随误差与轮廓加工误差产生了不利影响。所以采用全闭环方式时必须增大机床的刚性，改善滑动面的摩擦特性，减小传动间隙，这样才有可能提高位置增益。全闭环方式广泛应用在精度要求较高的大型数控机床床上。

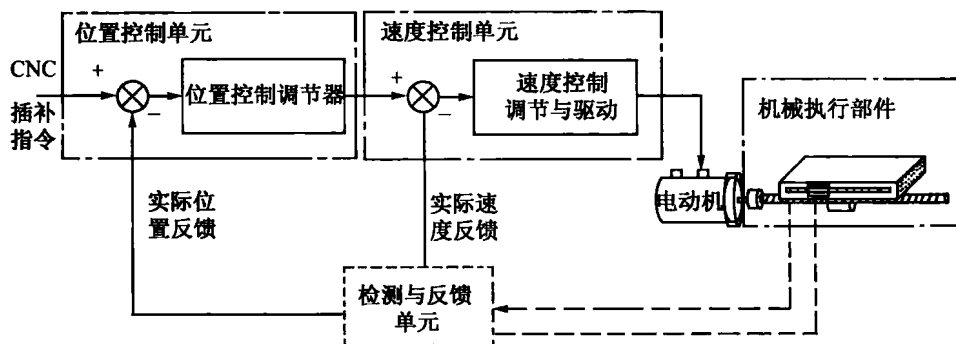


图1-7 全闭环数控系统进给控制

全闭环系统控制精度高 [定位精度可达 $\pm (0.001 \sim 0.003) \text{ mm}$]、快速性好，但由于机构传动部件在控制环内，所以系统的动态性能不仅取决于驱动装置的结构和参数，而且还与机械传动部件的刚度、阻尼特性、惯量、间隙和摩擦等因素有很大关系，各种非线性

因素将直接影响系统的稳定性，严重时甚至产生振荡，故必须对机电部件的结构参数综合考虑才能满足系统的要求。因此全闭环系统对机床的要求比较高，且造价较为昂贵。

解决以上问题的最佳途径是采用直线电动机作为驱动系统的执行器件。采用直线电动机驱动，可以完全取消传动系统中旋转运动变为直线运动的环节，简化了机械传动系统的结构，实现了所谓的“零传动”。它从根本上消除了传动环节对精度、刚度、快速性、稳定性的影响，故可以获得比传统进给驱动系统更高的定位精、快进速度和加速度。

(4) 混合式闭环控制

图1-8所示为混合闭环控制的进给驱动系统框图。混合闭环方式采用半闭环与全闭环结合的方式。它利用半闭环所能达到的高速度增益，从而获得了较高的速度与良好的动态特性。它又利用全闭环补偿半闭环无法修正的传动误差，从而提高了系统的位置精度。混合闭环方式适用于重型、超重型数控机床，因为这些机床的移动部件很重，设计时提高刚性较困难。

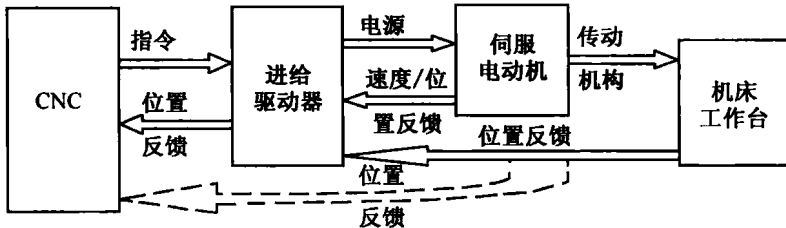


图1-8 混合闭环控制的进给驱动系统

5. 数控机床有哪些分类？

数控机床的品种规格很多，分类方法也各不相同。一般可根据功能和结构，按下面4种原则进行分类。

(1) 按机床运动的控制轨迹进行分类

1) 点位控制的数控机床。点位控制只要求控制机床的移动部件从一点移动到另一点的准确定位，对于点与点之间的运动轨迹的要求并不严格，在移动过程中不进行加工，各坐标轴之间的运动是不相关的。为了实现既快又精确的定位，两点间位移的移动的一般先快速移动，然后慢速趋近定位点，以保证定位精度，图1-9所示为点位控制的运动轨迹。

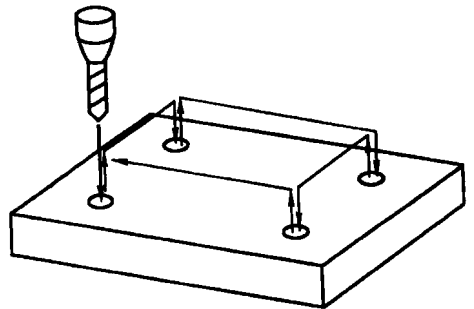


图1-9 数控机床的点位加工轨迹

具有点位控制功能的机床主要有数控钻床、数控镗床及数控冲床等。随着数控技术的发展和数控系统价格的降低，单纯用于点位控制系统已不多见。

2) 直线控制数控机床。直线控制数控机床也称为平行控制数控机床，其特点是除了控制点与点之间的准确定位外，还有控制两相关点之间的移动速度和路线（轨迹），但其运动路线只是与机床坐标轴平行移动，也就是说同时控制的坐标轴只有一个（即数控系统内

不必有插补运算功能），在移位的过程中刀具能以指定的进给速度进行切削，一般只能加工矩形、台阶形工件。

具有直线控制功能的机床主要有比较简单的数控车床、数控铣床及数控磨床等。这种机床的数控系统也称为直线控制数控系统。同样，单纯用于直线控制的数控机床也不多见。

3) 轮廓控制数控机床。轮廓控制数控机床也称连续控制数控机床，其控制特点是能够对两个或两个以上的运动坐标的位移和速度同时进行控制。为了满足刀具沿工件轮廓的相对运动轨迹符合工件加工轮廓的要求，必须将各坐标运动的位移控制和速度控制按照规定的比例关系精确地协调起来。因此在这类控制方式中，就要求数控装置具有插补运算功能，所谓插补就是根据程序输入的基本数据（如直线的终点坐标、圆弧的终点坐标和圆心坐标或半径），通过数控系统内插补运算器的数学处理，把直线或圆弧的形状描述出来，也就是一边计算，一边根据计算结果向各坐标轴控制器分配脉冲，从而控制各坐标轴的联动位移量与要求的轮廓相符合。在运动过程中刀具对工件表面连续进行切削，可以进行各种直线、圆弧、曲线的加工。轮廓控制的加工轨迹如图1-10所示。

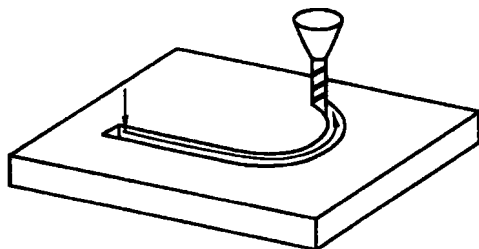


图1-10 数控铣床的轮廓加工轨迹

这类机床主要有数控车床、数控铣床、数控线切割机床和加工中心等，其相应的数控装置称为轮廓控制数控系统。根据它所控制的联动坐标轴数不同，又可以分为下面几种形式。

a. 二轴联动。主要用于数控车床加工旋转曲面或数控铣床加工曲线柱面，如图1-10所示。

b. 二轴半联动。主要用于三轴以上机床的控制，其中两根轴可以联动，而另外一根轴可以作周期性进给。如图1-11所示就是采用这种方式用行切法加工三维空间曲面。

c. 三轴联动。一般分为两类，一类是 X 、 Y 、 Z 3个直线坐标轴联动，比较多的用于数控铣床、加工中心等，如图1-12所示，用球头铣刀铣切三维空间曲面。另一类是除了同时控制 X 、 Y 、 Z 其中两个直线坐标外，还同时控制围绕其中某一直线坐标轴旋转的旋转坐标轴。如车削加工中心，它除了纵向（ Z 轴）、横向（ X 轴）两个直线坐标轴联动外，还需同时控制围绕 Z 轴旋转的主轴（ C 轴）联动。

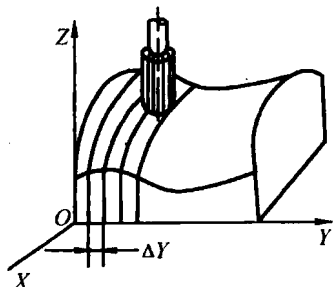


图1-11 二轴半联动的曲面加工

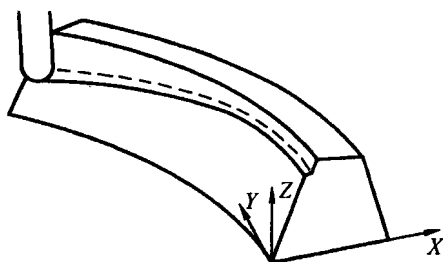


图1-12 三轴联动的加工曲面

d. 四轴联动。同时控制 X 、 Y 、 Z 3个直线坐标轴与某一旋转坐标轴联动，图1-13所示为同时控制 X 、 Y 、 Z 3个直线坐标轴与一个工作台回转轴联动的数控机床。

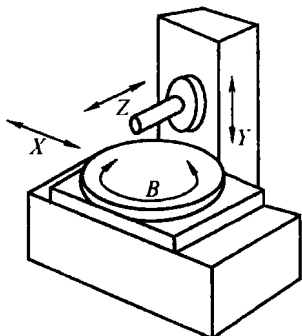


图1-13 四联轴动的数控机床

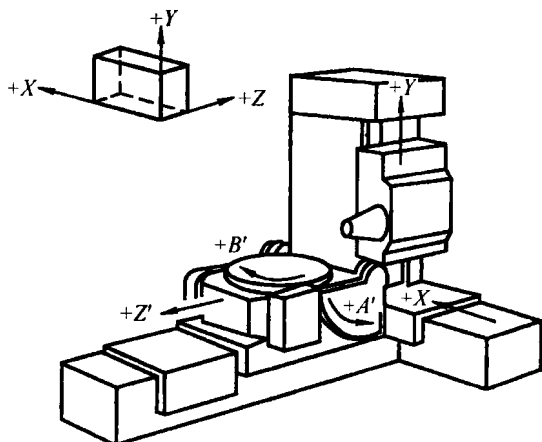


图1-14 五轴联动的加工中心

e. 五轴联动。除同时控制 X 、 Y 、 Z 3个直线坐标轴联动外，还同时控制围绕这些直线坐标轴旋转的 A 、 B 、 C 坐标轴中的两个坐标轴，形成同时控制5个轴联动。这时刀具可以被定在空间的任意方向，如图1-14所示。比如控制刀具同时绕 X 轴和 Y 轴两个方向摆动，使得刀具在其切削点上始终保持与被加工的轮廓曲线成法线方向，以保证被加工曲面的光滑性，提高其加工精度和加工效率，减小被加工表面的粗糙度。

(2) 按伺服控制的方式进行分类

1) 开环控制数控机床。这类机床的伺服进给驱动是开环的，即没有检测反馈装置，一般它的驱动电动机为步进电机。步进电机的主要特征是控制电路每变换一次指令脉冲信号，电动机就转动一个步距角，并且电动机本身就有自锁能力。其控制系统的框图如图1-15所示，数控系统输出的进给指令信号通过脉冲分配器来控制驱动电路，它以变换脉冲的个数来控制位移的方向。因此这种控制方式的最大特点是控制方便、结构简单、价格便宜。数控系统发出的指令信号流是单向的，所以不存在控制系统的稳定性问题，但由于机械传动的误差不经过反馈校正，位移精度不高。早期的数控机床均采用这种控制方式，只是故障率比较高，目前由于驱动电路的改进，仍有较多的应用。尤其是在我国，一般经济型数控系统和旧设备的数控改造多采用这种控制方式。另外，这种控制方式可以配置单片

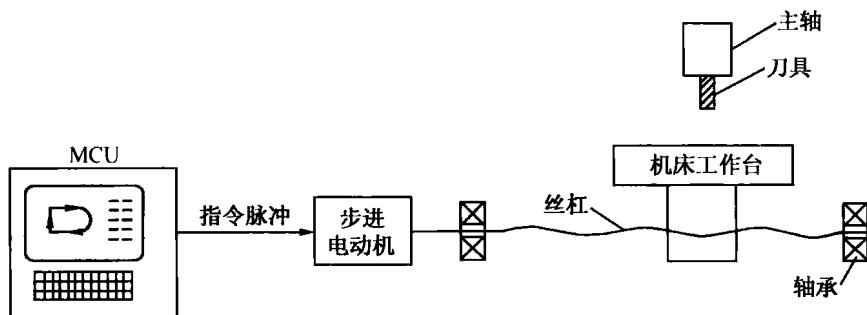


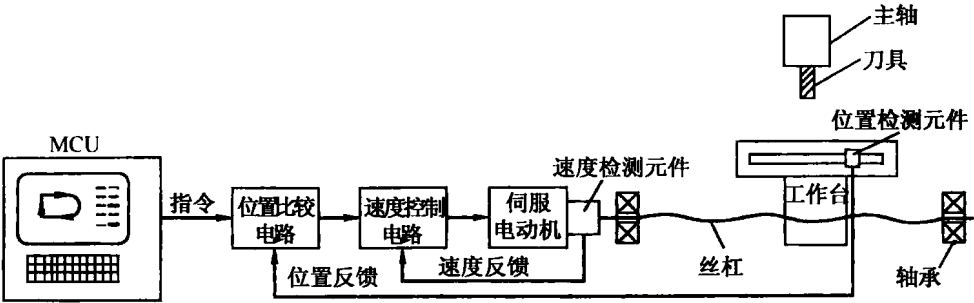
图1-15 开环控制系统

机或单板机作为数控装置，使得整个系统的价格较低。

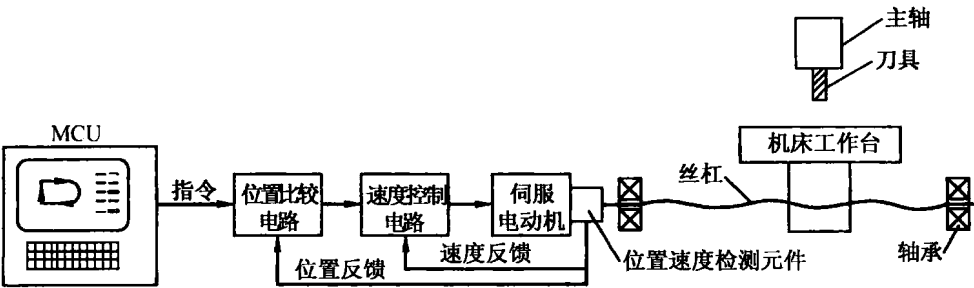
2) 闭环控制机床。这类数控机床的伺服进给驱动是闭环的，即按反馈控制方式工作的，其驱动电动机可采用直流或交流两种伺服电机，并需要配置位置反馈和速度反馈，在加工中随时检测移动部件的实际位移量，并及时反馈给数控系统中的比较器，它与插补运算所得的指令信号进行比较，其差值又作为伺服驱动的控制信号，进而带动位移部件以消除位移误差。

按位置反馈检测元件的安装部位和所使用的反馈装置的不同，它又分为全闭环和半闭环两种控制方式。

a. 全闭环控制。如图1-16 (a) 所示，其位置反馈装置采用直线位移检测元件（目前一般采用光栅尺），安装在机床的床鞍部位，即直接检测机床坐标的直线位移量，通过反馈可以消除从电动机到机床床鞍的整个机械传动链中的传动误差，得到很高的机床静态定位精度。但是，由于在整个控制环内，许多机构传动环节的摩擦特性、刚性和间隙均为非线性，并且整个机械传动链的动态响应时间与电气响应时间相比又非常大，这给整个闭环系统的稳定性校正带来很大困难，系统的设计和调整也都相当复杂。因此，这种全闭环控制方式主要用于精度要求很高的数控坐标镗床和数控精密磨床等。



(a) 全闭环控制系统框图



(b) 半闭环控制系统框图

图1-16 全闭环及半闭环控制系统

b. 半闭环控制。如图1-16 (b) 所示，其位置反馈采用转用检测元件（目前主要采用编码器等），直接安装在伺服电动机或丝杠端部。由于大部分机构传动环节未包括在系统闭环环路内，因此可获得较稳定的控制特性。丝杠等机械传动误差不能通过反馈来随时校正，但是可采用软件定值补偿方法来适当提高其精度。目前，大部分数控机床采用半闭环控制方式。