

数控机床故障

诊断

CNC CNC CNC CNC CNC CNC CNC CNC



机械工业出版社
China Machine Press

数控机床故障诊断

主 编 张魁林

副主编 孙建业 张志军



机械工业出版社

本书以数控机床故障诊断为主线，介绍了数控机床的结构，国内覆盖面较大的 CNC 系统，可编程控制器的原理及编程方法。主要包括：数控机床的发展、现状与未来，数控机床的机械结构及 CNC 系统，数控机床诊断的基本知识，数控机床的故障诊断方法，数控机床故障诊断的实例，数控机床调试的 28 个步骤。

本书可供工厂数控机床专业维修人员参考，也可作为高等院校进行工程教育和工程训练的指导教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控机床故障诊断/张魁林主编. —北京: 机械工业出版社, 2002.4
ISBN 7-111-10128-6

I. 数… II. 张… III. 数控机床 - 故障诊断 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 019358 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: 王英杰 版式设计: 冉晓华 责任校对: 申春香
封面设计: 鞠 杨 责任印制: 路 琳
北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2002 年 5 月第 1 版·第 1 次印刷
787mm×1092mm¹/₁₆·10.5 印张·259 千字
0 001—4 000 册
定价: 16.00 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
封面无防伪标均为盗版

编委会名单

主 编 张魁林

副主编 孙建业 张志军

编 委 刘景全 李舒平 梁 媛 高荣坚

李晓峰 洪 雁 张锡盛 陈诗良

裘易芴 王 军 王 海 王占辉

查继红 方 华 张宏祥

前 言

我国已经成功地加入了世贸组织，国民经济发展面临着新的机遇和挑战。装备制造业是国民经济发展的基础，没有先进的装备就不能有经济的高速发展。近几年来我国的装备制造业中，数控机床的占有率不断提高，在生产中已经占有重要地位，但目前数控机床的使用水平不高。一些技术人员对数控机床的故障检修能力较低，造成数控机床停机时间过长，不能充分发挥数控机床的效益。因此，如何充分发挥数控机床的效益，满足先进工艺发展的要求已成为数控机床使用中一个重要课题。

本书是由一些有丰富经验的专家依据多年来对数控机床故障诊断的实践编写而成的。本书从介绍数控机床故障诊断理论、诊断方法入手，并收集、分析、讲解多种数控机床故障诊断维修的实例，是一本从理论到实践，再从实践到理论较全面介绍数控机床故障诊断的书。本书能帮助读者快速诊断故障、对其归类并排除，从而使数控机床的停机时间大大缩短，延长其平均无故障时间，充分发挥数控机床应有的效益。

本书可供工厂数控机床专业维修人员参考，也可作为高等院校进行工程教育和工程训练的指导教材。

全书共分6章，其中第3、4、6章由沈阳工业学院的张魁林、张宏祥教授编写，第1章由查继红、方华编写，第2章由沈阳工业学院的刘景全、李舒平、孙建业等高级工程师和王海讲师及沈阳数控集团的王军高级工程师等编写，第5章由沈阳工业学院的孙建业、梁媛，沈阳第一机床厂的高荣坚、李晓峰和沈阳第二机床厂的张锡胜、洪雁，沈阳第三机床厂的陈诗良，北京施耐德公司代表处的王占辉等高级工程师和裘易芴等人编写。全书由张魁林教授统稿，张志军教授审阅。

在此对在本书编写过程中给予大力支持的沈阳工业学院及有关人士表示衷心感谢！由于时间所限，书中难免会有错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

目 录

前 言

第 1 章 数控机床的发展、现状与未来

1.1 数控机床的发展	1
1.2 数控机床的现状	1
1.2.1 长时间连续自动加工时的质量保证	1
1.2.2 高速度、高精度	2
1.2.3 多功能	3
1.2.4 智能化	3
1.2.5 数控系统小型化	3
1.2.6 数控编程自动化	4
1.2.7 高可靠性	4
1.2.8 柔性制造系统	4
1.3 数控机床的发展趋势与未来	4
1.3.1 数控系统	4
1.3.2 检测装置	5
1.3.3 实施绿色制造	5
1.4 我国数控机床发展现状	5

第 2 章 数控机床的机械结构及

CNC 系统

2.1 数控机床机械结构的主要组成部分	6
2.2 数控机床机械结构的主要特点	6
2.2.1 高刚度和高抗振性	6
2.2.2 减少机床热变形的影响	6
2.2.3 传动系统机械结构简化	7
2.2.4 高传动效率和无间隙的传动装置及元件	7
2.2.5 低摩擦因数的导轨	8
2.3 数控车床	11
2.3.1 数控车床的结构特点	11
2.3.2 主传动系统	12

2.3.3 伺服进给系统与位置检测	13
2.4 数控超高速铣床	16
2.4.1 概述	16
2.4.2 国内外发展概况及未来发展趋势	16
2.4.3 数控超高速铣床的结构及技术关键	16
2.5 复合加工机床——车铣加工中心	19
2.5.1 复合加工的概念	19
2.5.2 车铣加工中心的结构特点	20
2.6 数控机床常用的 CNC 系统简介	21
2.6.1 FANUC 系统	21
2.6.2 西门子系统	25
2.6.3 NUM 系统	29
2.6.4 沈阳—桥堡 PCNC 式数控系统	34
2.6.5 其他	36
2.7 可编程控制器	36
2.7.1 可编程序控制器的概述	36
2.7.2 数控机床中的 PLC	55

第 3 章 数控机床故障诊断的基本知识

3.1 可靠性	73
3.1.1 可靠性的基本知识	73
3.1.2 衡量可靠性的几个指标	73
3.1.3 影响可靠性的因素	74
3.2 数控机床故障诊断的基本知识	75
3.2.1 数控机床与普通机床在诊断方面的区别	75
3.2.2 预防性维护	76
3.3 数控机床故障诊断的基本条件和内容	77

3.3.1 数控机床故障诊断的必要性和 基本条件	77	4.2.1 参数的重要性	87
3.3.2 现场诊断	77	4.2.2 参数的分类	88
3.3.3 故障诊断专家系统的建立	78	4.2.3 数控机床软故障的诊断	89
3.4 数控机床常见故障的分类	79	第 5 章 数控机床故障诊断实例	91
3.4.1 系统性故障和随机故障	79	5.1 数控系统故障诊断实例	91
3.4.2 有显示故障和无显示故障	80	5.2 主机故障诊断实例	105
3.4.3 破坏性故障和非破坏性故障	80	第 6 章 数控机床开机调试 28 步	108
3.4.4 机床品质下降故障	80	6.1 通电前的外观检查	108
3.4.5 硬件故障和软件故障	81	6.2 机床总电源接通后的检查	109
第 4 章 数控机床的故障诊断	82	6.3 CNC 电器箱通电检查	109
4.1 数控机床故障诊断的流程	82	6.4 手动数据输入 (MDI) 试验	110
4.1.1 故障现场充分调查	82	6.5 编辑 (EDIT) 功能试验	110
4.1.2 故障树的建立	82	6.6 自动状态 (AUTO) 试验	111
4.1.3 排列可能引起故障的诸多因素	83	6.7 外围设备试验	111
4.1.4 确定故障产生的原因	83	附录 FANUC 0 系列参数说明	112
4.1.5 确定故障产生原因的方法	84	参考文献	162
4.2 利用参数设置诊断数控机床软 故障	87		

第 1 章 数控机床的发展、现状与未来

1.1 数控机床的发展

数控机床是新型自动化机床，它是具有广泛的通用性和很高自动化程序的全新型机床，是用数字代码形式的信息来控制机床按给定的动作顺序进行加工的自动化机床。

采用数字控制技术进行机械加工的思想最早来源于 20 世纪 40 年代，数控机床最早产生于美国。

1947 年，为了精确制作直升飞机叶片的样板，美国的帕森斯（PARSONS）公司设想并利用全数字计算机对叶片轮廓的加工路径进行了数据处理，使得加工精度达到 0.0381mm (0.0015in)，这就是最早地将数字控制技术运用机械加工当中。

1949 年，美国空军为了能在短时间内制造出经常变更设计的火箭零件，委托帕森斯公司并通过该公司与麻省理工学院伺服机构研究所协作，开始了数控机床的研制工作。经过三年的研制，于 1952 年研制成功了世界上第一台数控坐标镗铣床。当时所用的电子元件是电子管。

1956 年，美国又相继研制成功了数控转塔钻床。同年，日本也成功地研制出数控转塔式冲床。

1958 年，美国一家公司研制出带刀架或自动换刀装置（ATC）的加工中心。此时已开始采用晶体管元件和印制电路板。这种带有 ATC 的加工中心，就是 FMS（Flexible Manufacturing System 柔性制造系统）。

1965 年以后，数控装置开始采用小规模集成电路，使得数控装置的体积减小，功耗降低，可靠性提高，但仍然是一种硬件逻辑数控系统（NC）。

1966 年，日本的 FANUC 公司研制出全集成电路化的数控装置。

1970 年，在美国芝加哥国际机床展览会上，首次展示了用小型计算机控制的数控机床，这是第一台计算机控制的数控机床（CNC）。

1974 年后，由于控制电路小型集成化技术的迅速发展，微处理器可直接用于数控系统，从而促进了数控机床的普及应用和数控技术的发展。

20 世纪 80 年代初，又出现了柔性制造单元（FMC），它和 FMS 被认为是实现计算机集成制造系统 CIMS（Computer Integrated Manufacturing System）的必经阶段和基础。

1.2 数控机床的现状

当前在控制领域，微机数控装置占了绝对的优势，而数控装置随着微机技术和相应软件技术的发展也得到了很快的发展。因此，数控机床也正在不断采用最新技术，朝着高速度化、高精度化、多功能化、高可靠性等方向发展。

1.2.1 长时间连续自动加工时的质量保证

目前在先进的数控机床上，装有各种类型的监控及检测装置。如采用红外线、超声、激

光等各种检测手段,对刀具和工件进行监测。发现工件超差、刀具破损等都能及时报警,而机床则可进行自动补偿或对刀具进行调换,以保证数控机床在长期工作时的产品质量。

1.2.2 高速度、高精度

先进的数控机床都配有高性能的数控系统及伺服系统。因此,使数控机床在较高的进给速度下,具有对位移要求很高的分辨率和进给速度,其位移分辨率和进给速度已达到 $1\mu\text{m}$ ($100\sim 240\text{m/min}$)、 $0.1\mu\text{m}$ (24m/min)、 $0.01\mu\text{m}$ ($400\sim 800\text{mm/min}$)。为了实现更高速度和更高精度的指标,目前主要采取以下几方面措施。

1. 数控伺服系统

为提高数控系统的基本运算速度,在数控系统中采用位数及频率高的微机处理器。目前已由使用 8 位的 CPU 过渡到使用 32 位和 64 位的 CPU,频率也由原来的 5MHz 提高到 16MHz、20MHz、32MHz。

由于与数控系统相配合的伺服系统的质量直接影响到 CNC 机床的加工精度,所以除了广泛采用最新的数字式交流伺服系统外,为了适应超高速切削、超精密制造等先进加工工艺的要求,某些机床还采用了直线电动机直接驱动机床移动部件工作的“零传动”直线伺服进给方式及电主轴直线驱动旋转等工作方式,直线电动机和电主轴能达到的高速度和好的动态响应特征是以往任何伺服机构无法比拟的。

2. 采用现代控制理论提高跟随精度

当数控系统发出位置指令后,由于机械部分不能较快响应而产生滞后现象,从而影响加工精度。但在现代控制理论中有各种各样的算法,能够实现高速度和高精度的伺服控制。现在随着计算机运算速度和存储容量的迅速加大,计算机是可以很好地实现各种复杂的控制计算。有时还可以采用专用芯片,使复杂的计算能够在线实现,减少滞后量,提高跟随精度。

3. 采用高分辨率的位置检测元件

高分辨率的脉冲编码器,内装微处理器组成的细分电路,绝对位置检测可达到 163840 脉冲/转。

4. 伺服系统的数字化

软件控制具有较高的柔性,并能实现复杂的控制计算。它可以适应不同类型的机床对不同精度及速度的要求,进行加速和减速性能的调整,以满足高性能控制的要求。

5. 数控系统能实现的各种补偿功能

现代数控机床利用计算机数控系统的软件补偿功能对伺服系统进行多种补偿,如直线度的补偿、存储型补偿、热变形补偿、丝杠、齿轮间隙补偿等。这些补偿方法的运用可以提高机床的位置精度和动态伺服性能。

6. 应用高速度大功率的电主轴

在超高速加工中,对机床主轴转速提出了极高的要求。传统的齿轮变速传动系统已不能达到这种要求。因此,目前大多采用了“内装式电动机主轴”(Build-in Motor Spindle),简称“电主轴”。它实现了电动机与机床主轴一体化。

7. 配置高速、强功能的内装式可编程控制器 (PLC)

配置并提高可编程控制器的运行速度也是提高数控机床加工速度的重要手段。强功能的内装 PLC 能满足新型的 CNC 系统的瞬时处理控制要求,新型的 PLC 具有专用的 CPU,基本

指令的运行速度可达到一个新的水平 $0.2\mu\text{s}/\text{步}$ ，可编程步数可达到 1600 步以上。利用 PLC 的高速处理功能，使 CNC 与 PLC 有机地结合起来，满足数控机床运行中的各种实时控制要求。

1.2.3 多功能

1. 复合加工机床

在各类加工中心上，工件一经装夹，各种工序和不同的工艺加工过程都集中到同一台设备上来完成，以避免工件多次装夹造成的定位误差，确保零件的形位公差要求。现代数控机床还采用了多主轴、多面体切削（如各类五面体加工中心、双主轴数控机床加工中心等），以进一步提高工效。近几年，又产生了一种“复合加工机床”，以车铣加工中心为代表，该加工中心将车、铣加工工艺有机地融合一体，零件一次装夹，可进行车削和铣削、钻孔、攻螺纹等项加工，即使是具有复杂表面形状的回转体零件，也可一次加工完成。这种车铣加工中心已成为航天、军工行业中不可缺少的工作母机。

2. 多坐标轴控制

对曲线、曲面及特殊面的加工，要求现代数控机床数控系统的控制轴数在不断增加，有的控制轴多达 32 轴，其同时联动的轴数可达 3~6 轴。

3. 人机会话功能

借助显示屏，利用键盘可以实现程序的输入与编辑。用 CRT 进行动态图形模拟显示其所编程序的加工轨迹，以此来进行零件程序的调试与修改，充分提高其工作效率和机床利用率。此外，还具有在线编程功能，机床在加工一个零件的同时，可进行另一个零件的程序编制，节约了大量的辅助时间。

4. 具有很强的通信功能

由于 FMC 和 FMS 以及 CIMS 的出现和应用，要求现代数控系统具有更高的通信功能，以适应 CIMS 等的进一步联网要求。一般的数控系统都具有 RS-232C 和 RS-422 高速远距离串行的接口，高档的数控系统应用具有 DNC 接口，可以实现几台数控机床之间的数据通信，也可以直接对几台数控机床进行控制。为了满足不同厂家、不同类型数控机床联网功能要求，现代数控机床已采用 MAP（制造自动化协定书）工业控制网络，现已实现了 MAP3.0 版本。最新的数控系统开发了符合 IOS 开放系统互联七层网络模型的通信规则，为自动化技术发展创造了条件。

1.2.4 智能化

数控系统中引进自适应控制技术。自适应控制技术是一种能调节在加工过程中的工作状态特性，且能使切削过程达到并维持最佳状态的技术。自适应控制系统能根据切削条件的变化，自动调节工作参数并保持最佳工作状态，实现了切削状态调整智能化，从而得到较高的加工精度和较好的表面质量，同时也能提高刀具的使用寿命和设备的生产效率。

1.2.5 数控系统小型化

数控系统体积的减小便于将机、电装置合为一体。目前主要使用超大规模集成元件，多层印制电路板，并采用三维的安装方法，可以较大地缩小系统的占有空间。此外，还可以采用新型的 TFT 彩色液晶薄型显示器替代传统的阴极射线管 CRT，使数控系统进一步小型化。

1.2.6 数控编程自动化

随着计算机应用技术的发展,目前 CAD/CAM 绘图交互式自动编程已得到较多的应用,它是利用 CAD 绘制的零件加工图样,再经计算机内的刀具轨迹数据计算和后置处理,而自动生成 NC 零件加工程序,以实现 CAD 与 CAM 的集成。由于 CIMS 技术的发展,当前又出现了 CAD/CAPP/CAM 集成的全自动编程方式,在这方式中,编程所需的加工工艺参数不必由人工参与,而是直接由系统内的 CAPP 数据库获得。

1.2.7 高可靠性

数控机床工作的可靠性一直是用户最关注的重要指标。它主要取决于数控系统和各伺服驱动单元的可靠性。提高可靠性经常采用的措施主要有:

提高系统的硬件质量,如选用高质量的集成电路芯片,印制电路板和其他元器件,采用零件三维高密度安装工艺、性能测试等一系列完整的质量保证体系。

现代数控系统的硬件、软件结构实现模块化、标准化和通用化,以便于现代数控系统进一步扩展和升级,促进数控技术向深度和广度方面发展。

1.2.8 柔性制造系统

在现代生产中,为了满足多品种、小批量产品更新换代周期的要求,原来以单功能组成机床为主体的生产线,已不能适应机械制造业日益发展的要求,因而具有多功能和一定柔性的设备和生产系统相继出现,如 FMC 和 FMS 以及 CIMS。这些生产系统的出现促使数控技术向更高层次发展。

1.3 数控机床的发展趋势与未来

20 世纪 50 年代初出现的数控机床,在经历半个世纪的发展后,现已成为当今制造业的主流设备。尤其是 20 世纪 90 年代高速加工中心的诞生,使数控机床得到了更为广泛的应用。随着 FMC 和 FMS 迅速发展及 CIMS 的成熟,又将对数控机床的可靠性、通信功能、人工智能等技术提出更高的要求。进入 21 世纪以后,数控机床的发展将更加迅速。

1.3.1 数控系统

数控系统将采用位数和频率更高的微处理器,如用 64 位的 CPU,以提高系统的基本运算速度。为适应现代制造业的发展要求,人们提出了新一代数控系统——开放式 CNC 系统。开放式 CNC 系统就是要求能够在普及型个人计算机的操作系统上轻松地使用系统所配置的软件模块和硬件运行控制插件卡。机床制造商和用户能够方便地进行软件开发,能够追加功能和实现功能的个性化。从使用角度看,新型的数控系统应能运用各种计算机软硬件平台,并提供统一风格的用户交互环境,以便于用户的操作、维护和更新换代。

开放式数控系统应实现下列要求:

- (1) 开放性 把现成的硬件部件集成到实际的标准控制环境中模块化,允许部件“即插即用”,最大限度满足特殊应用控制要求。
- (2) 可塑性 当要求控制器变化时,能方便而有效地进行再组合。
- (3) 可维修性 支持最长的平均无故障时间 (MTBF) 和最短的平均修复时间 (MTTR),易于维修。

上述开放式数控系统又称为第六代数控系统。目前,国外 CNC 开发商都在积极研制此机床数控系统。

1.3.2 检测装置

精密测试技术——视觉测试技术被广泛应用于数控机床中。非接触测试技术很多，特别值得一提的是视觉测试技术。现代视觉论和技术的发展，不仅在于模拟人眼所完成的功能，更重要的是它能完成人眼所不能胜任的工作。所以，在电子、光学和计算机等技术不断成熟和完善的基础上，视觉测试技术得到了突飞猛进的发展。在 1999 年 10 月份的北京国际机床博览会上，已见到国外利用视觉测试技术研制成功的仪器。

1.3.3 实施绿色制造

绿色制造是一个综合考虑环境影响和资源消耗的现代制造模式。目标是使得产品从设计、制造、包装、运输、使用到报废处理的整个生命周期中，对环境负面影响极小，资源利用率极高，并使企业经济效益和社会效益协调优化。近年来，由于人们环保意识的不断增强，可持续发展战略的提出，绿色制造必将成为数控机床产业的追求目标。

1.4 我国数控机床发展现状

我国从 1958 年开始研究数控机床，开始也是从电子管着手的，一直到 20 世纪 60 年代中期还处于研制开发时期。1965 年，国内开始研制晶体管数控系统。从 20 世纪 70 年代开始，数控技术在车、铣、齿轮加工、电加工等领域全面发展，数控加工中心在上海、北京研制成功。在这一时期，数控车削加工、点位加工和加工中心及三坐标数控加工的自动编程系统和语言也研制成功，有的还在生产中得到了较好的应用。20 世纪 80 年代，我国从日本引进了数控系统和直流伺服电动机等制造技术。与此同时，还自行开发了 3、4、5 轴联动的数控系统以及双电动机驱动的同步数控系统和新品种的伺服电动机，使我国数控机床在性能和质量上产生了一个质的飞跃。

现在我国已建立了以中、低档数控机床为主的产业体系。一些较高档次的数控系统，如 5 轴联动的数控系统、6 轴数控高速滚齿机等高精度数控机床、加工中心也相继研制成功并投入商用。进入 20 世纪 90 年代以来，国内企业不断推出自行开发的新产品。国内许多商家还制造出 5 轴联动加工中心，如北京市机电研究院新研制出型号为 5C—VMC1250 的 5 轴联动加工中心。此外，在并联机床方面，我国也已进入实用阶段，开发了自主知识产权的虚拟轴机床数控系统和软件，这是我国机床创新方面又一重大成果。

值得一提的是，当国外数控机床普遍向智能化、网络化发展的时候，华中数控系统股份公司与桂林机床股份公司联合研制出了一套由 4 台机床组成的具有相同功能的网络制造系统。这充分说明我国机床制造业在网络制造技术方面有了长足进步，为实现生产制造过程的智能化奠定了较坚实的基础。

当前，我国数控机床的发展状况表明，虽然我国数控机床的总体水平与国外还有较大差距，但在一些高精尖技术方面也取得了可喜的成就。2001 年在北京举办的国际机床博览会上，国内机床厂家生产的数控机床、CNC 系统、机床附件等都显示了经过改革开放以后所取得的显著成绩，具有一定的竞争能力。

总之，我国数控机床技术水平有了较大提高，产品正向着更高水平发展，在创新开发上也取得了一定成果，正在一步步缩小与工业发达国家的差距。

第 2 章 数控机床的机械结构及 CNC 系统

2.1 数控机床机械结构的主要组成部分

数控机床的机械结构主要由以下各部分组成：

- (1) 机床基础件，如床身，底座等。
- (2) 主传动系统。
- (3) 进给系统。
- (4) 实现工件回转、定位的装置和附件。
- (5) 刀架或自动换刀装置（ATC）。
- (6) 自动托盘交换装置（APC）。
- (7) 尾座。
- (8) 辅助装置，如液压、气动、润滑、冷却、排屑、防护等装置。
- (9) 特殊功能装置，如刀具破损监控、精度检测和监控装置等。
- (10) 各种反馈信号装置及元件。

随着电子控制技术在机床上的普及和应用，数控机床的机械结构也在不断发展和变化。

2.2 数控机床机械结构的主要特点

2.2.1 高刚度和高抗振性

机床的刚度是机床的技术性能之一，它反映了机床结构抵抗变形的能力。根据机床所受载荷性质的不同，机床在静态力作用下所表现的刚度称为机床的静刚度。机床在动态力作用下所表现的刚度称为机床的动刚度。

与普通机床比较，数控机床应有更高的静动刚度，更好的抗振性。

2.2.2 减少机床热变形的影响

随着机床自动化程度的提高，一方面，其主轴转速、进给速度远高于普通机床，而大切削用量所产生的热切屑对工件和机床部件的热传导影响远较普通机床严重；另一方面，操作工人对加工精度的控制逐渐为机床所代替，而难以修正热变形对加工精度的影响。所以，数控机床热变形对加工精度的影响应予以特别重视。可以通过以下几种措施改善机床的热变形：

- (1) 改进机床布局 and 结构设计 如采用热对称结构，采用斜床身或者平床身斜滑鞍结构，采用热平衡措施等。
- (2) 减少热源的发热量并将热源置于易于散热的位置 如提高滚动轴承的精度，改善轴承的润滑冷却条件及装配质量，提高齿轮的制造质量与安装质量，改善导轨的摩擦润滑条件，改善丝杠螺母副的运动条件等。还可以采取散热、风冷和液冷等控制温升的方法来吸收热源发出的热量。
- (3) 对切削部位采取强制冷却措施 可采用多喷嘴、大流量冷却液来冷却热的切屑。

(4) 采用自动热补偿装置 研究热变形规律, 建立数学模型存入计算机控制系统中进行实时补偿。

2.2.3 传动系统机械结构简化

数控机床的主轴驱动系统采用交直流主轴电动机, 进给驱动系统采用交直流伺服电动机驱动。这两类电动机调速范围大, 并可以无级调速, 因此使主轴箱、进给及其传动系统大为简化, 结构简单, 轴承齿轮等数量减少, 甚至可以由电动机直接带动主轴或进给滚珠丝杠。

2.2.4 高传动效率和无间隙的传动装置及元件

数控机床在高进给速度下, 工作要平稳, 定位精度要高。因此, 对进给系统中的机械传动装置和元件要求具有高寿命、高刚度、无间隙、高灵敏度和低摩擦阻力的特点。目前, 数控机床进给驱动系统中常用的机械传动装置有以下几种: 滚珠丝杠副、静压蜗杆—蜗母条、预加载荷双齿轮齿条及直线电动机。

1. 滚珠丝杠副

滚珠丝杠副是在丝杠和螺母之间以滚珠为滚动体的螺旋传动元件。其结构见图 2-1。

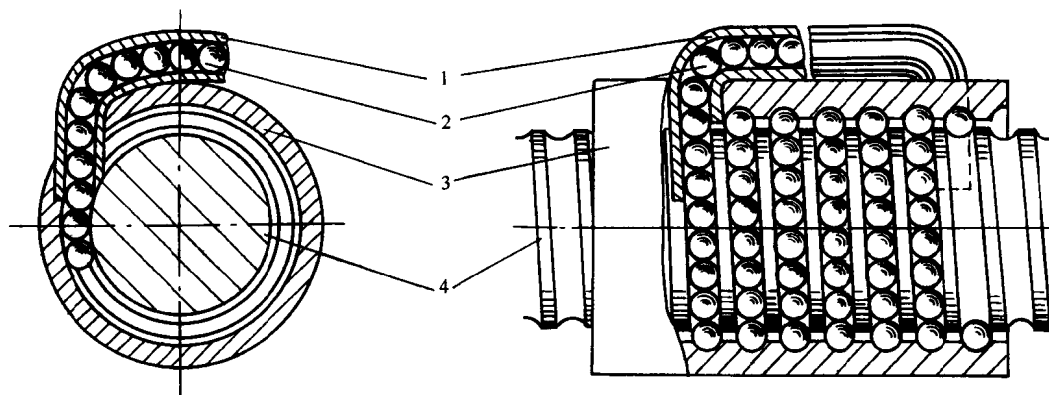


图 2-1 滚珠丝杠副的结构

1—插管式回珠器 2—滚珠 3—螺母 4—丝杠

滚珠丝杠副是数控机床进给驱动系统中应用最为广泛的结构, 与滑动丝杠相比具有如下优点:

- 1) 传动效率高, 可达 90% 以上。
- 2) 灵敏度高, 传动平稳。
- 3) 磨损小, 寿命长。
- 4) 可以消除轴向间隙, 提高轴向刚度。

2. 静压蜗杆—蜗母条传动

液体静压蜗杆—蜗母条机构是在蜗杆—蜗母条的啮合齿面间注入压力油, 以形成一定厚度的油膜, 使两啮合面间成为液体摩擦, 其工作原理如图 2-2 所示。

静压蜗杆—蜗母条传动由于既有纯液体摩擦的特点, 又有蜗杆—蜗母条机械结构上的特点, 因此特别适用于重型机床进给驱动系统。其主要优点有:

- 1) 摩擦阻力小。起动摩擦因数可小至 0.0005, 功率消耗少, 传动效率高, 可达 94% ~ 98%。在低速下也很平稳。

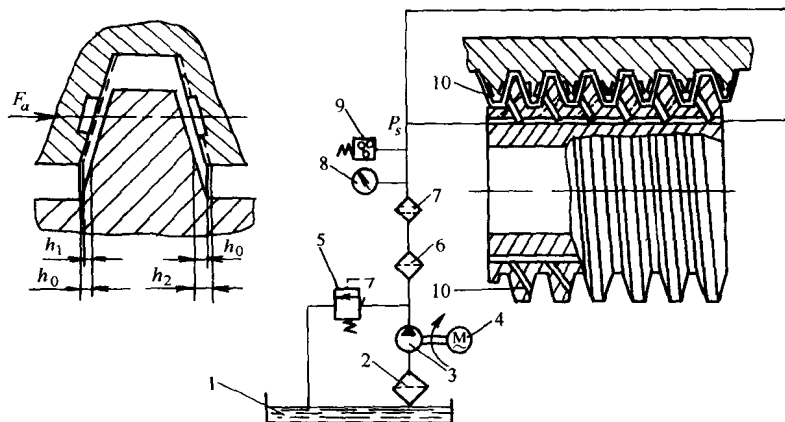


图 2-2 液体静压蜗杆—蜗母条机构的工作原理

1—液压箱 2—液压泵 3—过滤器 4—电动机 5—溢流阀
6—粗过滤器 7—精过滤器 8—压力计 9—压力继电器 10—节流器

- 2) 寿命长，精度保持性好。
- 3) 抗振性能好。
- 4) 轴向刚度大。
- 5) 蜗母条可无限接长，适用于长行程运动部件。

3. 预加载荷双齿轮齿条传动

预加载荷双齿轮齿条无间隙传动机构的产生，克服了一般齿轮齿条位移精度和运动平稳性较差的缺点，其齿侧隙消除如图 2-3 所示该机构现已广泛应用于长行程的各类数控机床进给传动系统中。

4. 直线电动机传动

随着现代切削技术的发展，高速切削和超高速切削

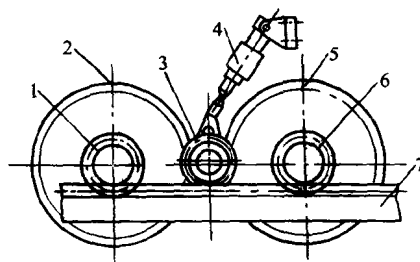


图 2-3 预加载荷双齿轮齿条传动的齿侧隙消除

1、2、3、5、6—齿轮
4—加载装置 7—齿条

技术日臻成熟。高速切削时，随着主轴转速的提高，进给速度也必须大幅度地提高。传统的滚珠丝杠副传动机构最大进给速度可达 60m/min，而直线电动机驱动系统进给速度可达 120m/min。由于直线电动机驱动系统无间隙，惯性小，刚度较大而无磨损，现已得到愈来愈广泛的应用。直线电动机的基本结构与普通旋转电动机相似，如图 2-4 所示。

可假想把一个旋转电动机沿母线剪开并铺平，这就形成一个直线电动机。它无需其他传动装置就可以实现直线运动。驱动系统的加速度取决于电动机的功率和滑鞍的质量。由于电动机与滑鞍联接在一起，整个驱动系统的刚度较高，与旋转电动机相比，直线电动机的电流发热较严重。当电动机的功率较大时，必须配备相应的冷却系统。

2.2.5 低摩擦因数的导轨

机床借助于导轨保证刀具或工件的运动方向而进行工作，导轨用来支承和引导运动部件沿着一定的轨迹准确地运动。实现直线运动的称为直线运动导轨；实现圆周运动的称为圆周运动导轨。导轨结合面是滑动摩擦的称为滑动导轨；是滚动摩擦的称为滚动导轨。

对数控机床导轨要求有较高的导向精度、高的刚度、高耐磨性及低速均匀性。另外，要

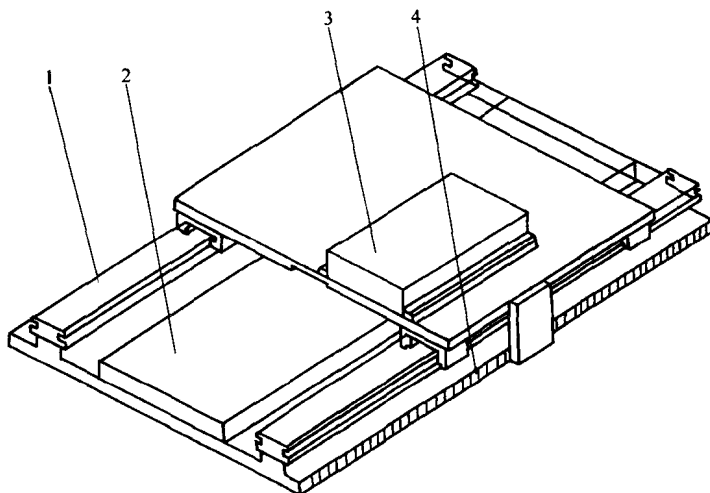


图 2-4 直线电动机的基本结构

1—导轨系统 2—笼型次级绕组（定子） 3—三相初级绕组（转子） 4—直线行程测量系统

求高速进给时不振动，低速进给时不爬行，具有高灵敏度。

现代数控机床所使用的导轨为滑动导轨、滚动导轨和液压导轨三种，但在材料上和结构上与普通机床所使用的导轨有一定的区别。

1. 塑料滑动导轨

目前，数控机床所使用的滑动导轨材料为铸铁—塑料或镶钢—塑料滑动导轨。导轨塑料常用聚四氟乙烯导轨软带和环氧型耐磨导轨涂层两类。

(1) 聚四氟乙烯导轨软带的特点：

- 1) 摩擦特性好；金属—聚四氟乙烯导轨软带的动静摩擦因数基本不变。
- 2) 耐磨性好；聚四氟乙烯导轨软带材料中含有青铜、二硫化铜和石墨，因此，本身即具有自润滑作用，对润滑油的供油量要求不高。此外，塑料质地较软，即便嵌入金属碎屑、灰尘等，也不致损伤金属导轨面和软带本身，可延长导轨副的使用寿命。
- 3) 减振性好；塑料的阻尼性能好，其减振消声的性能有利于提高摩擦副的相对运动速度。
- 4) 工艺性好；可降低对粘贴塑料的金属基体的硬度和表面质量要求，而且塑料易于加工（铣、刨、磨、刮），使导轨副接触面获得优良的表面质量。

聚四氟乙烯导轨软带被广泛用于中小型数控机床的运动导轨中，常用的进给速度为 15m/min 以下。

(2) 环氧型耐磨涂层

- 1) 良好的加工性；可经车、铣、刨、钻、磨削和刮削。
- 2) 良好的摩擦性。
- 3) 耐磨性好。
- 4) 使用工艺简单。

2. 滚动导轨

在两导轨面之间安放多个滚动体（滚柱、滚珠、滚针等）就成为滚动导轨。与滑动导轨相比，滚动导轨有下列优点：

(1) 运动灵敏度高 滚动导轨的摩擦因数为 $0.0025 \sim 0.005$ ，动静摩擦因数相差小，几乎不受运动速度变化的影响，无爬行现象。

(2) 定位精度高 一般滚动导轨的重复定位误差约 $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$ 。

(3) 驱动力小，移动轻便

(4) 磨损小，精度保持性好

(5) 润滑系统简单，维护方便

滚动导轨的缺点是抗振性较差，对防护要求也较高，结构复杂，制造困难，成本较高。

滚动导轨有多种形式，按导轨中的滚动体可分为滚珠、滚针和滚柱三种形式；按导轨的表面形状可分为平面导轨、圆柱导轨；按移动形式来分有直线运动导轨、圆周运动导轨；按承载状态可分为有预载和无预载导轨；按滚动体返回方式来分有采用返回装置的行程无限导轨和无返回装置的行程有限导轨。

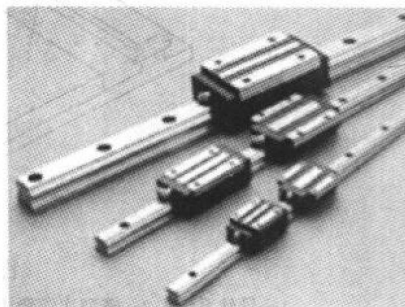


图 2-5 直线滚动导轨的外形

滚动导轨还可分成开式与闭式两种。开式用于载荷在加工过程中变化较小的情况。闭式导轨则用于承受颠覆力矩、载荷变化较大及需要预加载荷的场合。

直线滚动导轨的突出优点为无间隙，并且能够施加预紧力。这种导轨的外形和结构见图 2-5 和图 2-6。

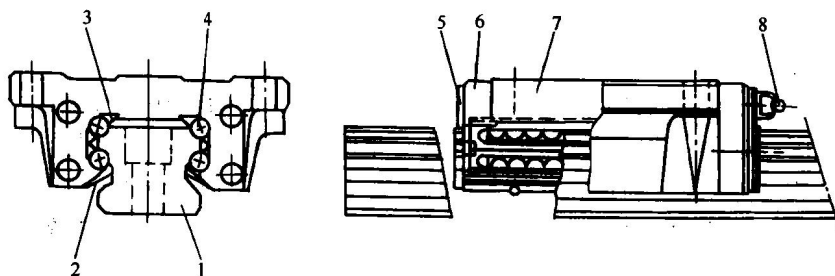


图 2-6 直线滚动导轨的结构

1—导轨体 2—侧面密封垫 3—保持器 4—承载球列 5—端部密封垫 6—端盖 7—滑块 8—润滑油杯

直线滚动导轨主要由导轨体、滑块、滚珠或滚柱、保持器、端盖等组成。当滑块与导轨体相对移动时，滚动体在导轨体和滑块之间的圆弧直槽内滚动，并通过端盖内的滚道，从工作负荷区到非工作负荷区，然后再滚动回工作负荷区，不断循环，从而把导轨体和滑块之间的移动变成了滚动体的滚动。为防止灰尘和脏物进入导轨滚道，滑块两端及下部均装有塑料密封垫，滑块上还有润滑油注油杯。

3. 液体静压导轨

液体静压导轨是将具有一定压力的油液经节流器输送到导轨面的油腔，形成承载油膜，