

劳动预备制教材 职业培训教材

laodong yubeizhi jiaocai zhiye peixun jiaocai



100101101010010100101010100101101010001001011100111001100101010010010101
01010100010110101000100101110011001100101010010010101101010100010110101010110100101011010100101

数控机床 维修技术培训教程

SHUKONG JICHUANG
WEIXIU JISHU
PEIXUN JIAOCHENG

劳动预备制教材
职业培训教材

数控机床维修技术培训教程

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控机床维修技术培训教程/周晓宏主编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2006
劳动预备制教材 职业培训教材

ISBN 7-5045-4712-3

I. 数… II. 周… III. 数控机床-维修-技术培训-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 090036 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出版人: 张梦欣

*

世界知识印刷厂印刷装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13.75 印张 339 千字

2006 年 11 月第 1 版 2006 年 11 月第 1 次印刷

定价: 24.00 元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64911344

前 言

数控加工是机械制造业中的先进加工技术，在生产企业中，数控机床的使用越来越广泛。我国的机械制造行业正急需大批熟悉数控机床的编程、操作、故障诊断和维修等技术的应用型人才。本套数控技术劳动预备制、职业培训教材正是为适应这一形势的需要而编写的。

本套数控技术培训教材包括《数控加工技术基础》《数控车床操作与编程培训教程》《数控铣床操作与编程培训教程》《加工中心操作与编程培训教程》《线切割机床及数控冲床操作与编程培训教程》《数控机床维修技术培训教程》六本。这六本教材既相对独立，又保持了相互之间的连续性。

本套培训教材从培养职业技术型人才的目的出发，简述了数控机床的工作原理和结构，介绍了数控编程和数控加工工艺的基础知识，介绍了数控车床、铣床、加工中心、线切割机床及数控冲床的编程方法，详细地介绍了生产实际中常用的数控车床、铣床、加工中心、线切割机床及数控冲床的操作使用方法，涉及的数控系统主要有：日本 FANUC 系统、德国 SIEMENS 系统、西班牙 FAGOR 系统、国产 KENT—18T 系统、国产华中 I 型数控系统等。此外，还介绍了数控机床故障诊断及维修的实用方法。

我们编写本套教材的指导思想是：读者通过学习本套教材，能迅速掌握数控机床的相关技术知识和操作技能，能编制中等难度的数控加工程序，能进行数控机床的一般维护和故障诊断工作。本套教材的编写者多年从事数控加工、编程及数控机床维修方面的教学、科研工作，并具有丰富的生产实践经验。本套教材内容重点突出，图文并茂，浅显易懂，实用性强，可操作性强。书中举例丰富，各章都附有复习题，以便于读者参考。

本套教材由深圳技师学院（深圳高级技工学校）周晓宏主编，深圳坎迪特电子有限公司刘向阳参编。由湖南工业职业技术学院院长金潇明教授担任主审。

由于编写时间仓促，这套教材中难免会有一些疏漏之处，我们将在相关职业培训的过程中，积极听取各方面的意见，不断修订和完善。

劳动和社会保障部教材办公室

内 容 简 介

本书从理论到实践较全面地介绍了数控机床故障诊断和维修的知识和方法。全书共分六章,包括:数控机床维修的基本知识,数控机床机械部件的维护与维修,数控系统的故障诊断与维修,伺服系统的故障诊断与维修,数控机床 PLC 的故障诊断与维修,数控机床的选用、安装、调试及验收。

本书在编写过程中注重对学生实践技能的培养,在书中列举了许多故障诊断与维修实例,实用性很强,图文并茂,通俗易懂。本书的内容适用面很广,各章都附有复习题,供读者练习。

本书为数控技术职业技能培训教材,可作为机电类本科、高职、中专、技校教材或参考书,也可作为从事数控机床维护与维修等相关工作技术人员的培训教材或参考书。

本书由周晓宏主编,胡旭兰、刘向阳参编,金潇明审稿。胡旭兰编写了第一章前两节和第二章,刘向阳编写了第六章,其余部分均由周晓宏编写。

目 录

第一章 数控机床维修的基本知识	(1)
§ 1—1 数控机床的结构与工作原理	(1)
§ 1—2 数控机床的日常维护及保养	(24)
§ 1—3 数控机床常见故障及处理方法	(30)
§ 1—4 数控机床维修的常用仪器和仪表	(41)
§ 1—5 数控机床维修的基本要求	(47)
复习题	(51)
第二章 数控机床机械部件的维护与维修	(54)
§ 2—1 机械部件维护与维修的基本知识	(54)
§ 2—2 主轴部件的维护与维修	(58)
§ 2—3 滚珠丝杠螺母副的维护与维修	(64)
§ 2—4 刀库及换刀装置的维护与维修	(69)
§ 2—5 导轨副的维护与维修	(73)
§ 2—6 液压与气动系统的维护与维修	(75)
§ 2—7 数控机床启、停运动故障	(84)
复习题	(86)
第三章 数控系统的故障诊断与维修	(88)
§ 3—1 典型数控系统介绍	(88)
§ 3—2 数控系统的日常维护	(90)
§ 3—3 数控系统硬件故障的处理	(92)
§ 3—4 数控系统硬件的更换	(97)
§ 3—5 数控系统的软件故障及处理	(104)
§ 3—6 利用机床参数维修数控系统	(106)
§ 3—7 数控系统维修实例	(110)
复习题	(117)
第四章 伺服系统的故障诊断与维修	(120)

§ 4—1 伺服系统的基本知识	(120)
§ 4—2 主轴伺服系统的故障诊断与维修	(126)
§ 4—3 进给伺服系统的维护与维修	(134)
§ 4—4 位置检测装置的维护及故障诊断	(152)
§ 4—5 伺服系统故障诊断实例	(161)
复习题	(178)
第五章 数控机床 PLC 的故障诊断与维修	(179)
§ 5—1 PLC 在数控机床中的应用	(179)
§ 5—2 数控机床 PLC 的故障诊断	(187)
§ 5—3 数控机床 PLC 维修实例	(188)
复习题	(197)
第六章 数控机床的选用、安装、调试及验收	(199)
§ 6—1 数控机床的选用	(199)
§ 6—2 数控机床的安装	(200)
§ 6—3 数控机床的调试	(203)
§ 6—4 数控机床的验收	(206)
复习题	(209)
参考文献	(211)

第一章 数控机床维修的基本知识

数控机床是一种利用数控技术,准确按照事先安排的工艺流程,自动实现规定动作的金属加工机床,它既是机电一体化的技术密集设备,也是一种价值昂贵的设备。数控机床的维护、故障诊断与维修工作非常重要,要做好这项工作,首先必须掌握数控机床的结构与工作原理。

§ 1—1 数控机床的结构与工作原理

一、数控机床的组成

数控机床一般由输入输出装置、数控装置(CNC)、伺服单元、驱动装置(或称执行机构)、可编程控制器(PLC)和机床本体等组成。图 1—1 是数控机床的组成框图。

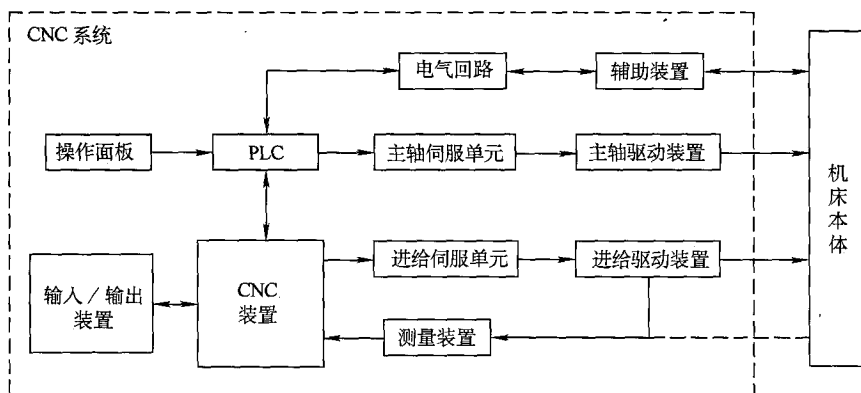


图 1—1 数控机床的组成

1. 输入输出装置

输入输出装置是机床数控系统和操作人员进行信息交流、实现人机对话的交互设备。

输入装置的作用是将程序载体上的数控代码变成相应的电脉冲信号,传送并存入数控装置内。目前,数控机床的输入装置有键盘、磁盘驱动器、光电阅读机等,其相应的程序载体为磁盘、穿孔纸带。输出装置是显示器,有 CRT 显示器和彩色液晶显示器两种。输出装置的作用是通过显示器为操作人员提供必要的信息。显示的信息可以是正在编辑的程序、坐标值以及报警信号等。

2. 数控装置(CNC)

数控装置是计算机数控系统的核心,是由硬件和软件两部分组成的。它接受的是输入装置送来的脉冲信号,信号经过数控装置的系统软件或逻辑电路进行编译、运算和逻辑处理

后, 输出各种信号和指令, 控制机床的各个部分, 使其进行规定的、有序的动作。这些控制信号中最基本的信号是各坐标轴 (即进给运动的各执行部件) 的进给速度、进给方向和位移量指令 (送到伺服驱动系统, 驱动执行部件作进给运动), 还有主轴的变速、换向和启停信号, 选择和交换刀具的刀具指令信号, 控制切削液、润滑油启停, 工件和机床部件松开、夹紧、分度和转位的辅助指令信号等。

数控装置主要包括微处理器 (CPU)、存储器、局部总线、外围逻辑电路以及与 CNC 系统其他组成部分联系的接口等。

3. 伺服单元

伺服单元接收来自数控装置的速度和位移指令。这些指令经伺服单元变换和放大后, 通过驱动装置转变成机床进给运动的速度、方向和位移。因此, 伺服单元是数控装置与机床本体的联系环节, 它把来自数控装置的微弱指令信号放大成控制驱动装置的大功率信号。伺服单元分为主轴单元和进给单元。就其系统而言, 伺服单元又有开环系统、半闭环系统和闭环系统之分。

4. 驱动装置

驱动装置把经过伺服单元放大的指令信号变为机械运动, 通过机械连接部件驱动机床工作台, 使工作台精确定位或按规定的轨迹运动, 加工出形状、尺寸与精度符合要求的零件。目前常用的驱动装置有直流伺服电动机和交流伺服电动机, 交流伺服电动机正逐渐取代直流伺服电动机。

伺服单元和驱动装置合称为伺服驱动系统, 它是机床工作的动力装置, 计算机数控装置的指令要靠伺服驱动系统付诸实施。伺服驱动系统包括主轴驱动单元 (主要控制主轴的速度) 和进给驱动单元 (主要是进给系统的速度控制和位置控制)。伺服驱动系统是数控机床的重要组成部分。从某种意义上说, 数控机床的功能主要取决于数控装置, 而数控机床的性能主要取决于伺服驱动系统。

5. 可编程控制器 (PLC)

数控机床通过 CNC 和 PLC 共同完成控制功能, 其中 CNC 主要完成与数字运算和管理等有关的功能, 如零件程序的编辑、插补运算、译码、刀具运动的位置伺服控制等; 而 PLC 主要完成与逻辑运算有关的一些动作。PLC 接收 CNC 的控制代码 M (辅助功能)、S (主轴转速)、T (选刀、换刀) 等开关量动作信息, 并对开关量动作信息进行译码, 转换成对应的控制信号, 控制辅助装置完成机床相应的开关动作, 如工件的装夹、刀具的更换、切削液的开关等一些辅助动作。它还接收机床操作面板的指令, 一方面直接控制机床的动作 (如手动操作机床), 另一方面将一部分指令送往数控装置用于加工过程的控制。

在 FANUC 系统中, 专门用于控制机床的 PLC 记作 PMC, 称为可编程机床控制器。

6. 机床本体

机床本体是加工运动的实际机械部件, 主要包括: 主运动部件, 进给运动部件 (如工作台、刀架), 支撑部件 (如床身、立柱等), 冷却、润滑部件, 以及夹紧、换刀机械手等辅助装置。

二、数控机床的机械结构

数控机床是按照预先编好的程序进行工作的, 在加工过程中不需人工参与, 故对数控机床的结构不但要求精密、完善, 而且还要能够长时间稳定、可靠地工作, 以满足重复加工的

需要。而传统机床由于存在的一些弱点,例如结构刚度不足、抗振性差、滑动面的摩擦阻力较大以及传动元件中的间隙等,显然无法满足这些要求。与传统的机床相比,现代数控机床有着独特的机械结构,可以满足数控加工对机床精度、稳定性等方面的要求。

1. 数控机床的结构特点及要求

数控机床的机械系统是指数控机床的主机部分,包括主传动系统、进给传动系统、自动换刀系统、支撑系统等,主要由轴承、传动部件、移动部件、导轨支撑部件等组成。

由于数控机床的控制方式和使用特点,使数控机床与普通机床在机械传动和结构上有显著的不同,其特点有:

(1) 采用高性能的无级变速主轴传动系统及伺服系统,机械传动的结构大为简化,传动链缩短。

(2) 采用刚度和抗振性较好的机床新结构,如动、静压轴承的主轴部件、钢板焊接结构的支撑件等。

(3) 采用在效率、刚度、精度等各方面较优良的传动元件,如滚珠丝杠螺母副、静压蜗杆副以及塑料滑动导轨、滚动导轨、静压导轨等。

(4) 采用多主轴、多刀架结构,以及刀具与工件的自动夹紧装置、自动换刀装置和自动排屑、自动润滑冷却装置等,以改善劳动条件、提高生产率。

(5) 采取减小机床热变形的措施,保证机床的精度稳定,以获得可靠的加工质量。

2. 数控机床主传动系统及主轴部件

数控机床的主传动系统,包括主轴电动机、主轴传动系统和主轴部件。与普通机床相比,数控机床的主轴传动系统转速高、功率大,能满足数控机床大功率切削和高速切削的要求,实现机床高效率工作;传动系统调速范围较大,变速迅速可靠,并能实现自动无级调速,使切削工作始终在最佳状态下进行;为实现刀具的快速或自动装卸,主轴上还设计有刀具自动装卸、主轴定向停止和主轴孔内的切屑清除装置;主轴部件有较大的刚度和较高的精度。

(1) 主传动变速。数控机床的主传动要求较大的调速范围,以保证数控加工时能选用合理的切削用量,从而获得最佳的生产率、加工精度和表面质量。数控机床的变速是按照控制指令自动完成的,变速机构必须适应自动化操作的要求,所以大多数数控机床的主传动系统均采用无级变速的方式。数控机床主传动系统主要有如下几种配置方式(见图1—2):

1) 带有变速齿轮的主传动(见图1—2a)。这种结构在大、中型数控机床中应用较多。通过少数几对齿轮降速,使主轴实现分段无级变速,扩大了输出转矩,以满足主轴对输出转矩特性的要求。部分小型数控机床为获得强力切削时所需的扭矩,也采用这种传动方式。

2) 通过带传动的主传动(见图1—2b)。这种结构主要应用在小型数控机床上,不用齿轮变速,依靠电动机本身的速度调整就能够满足要求,可以避免由齿轮传动所引起的振动和噪声,但它只适用于低转矩特性要求的主轴。

同步齿形带传动是一种综合了带、链传动优点的新型带传动。同步齿形带截面有梯形齿和圆弧齿两种形状,结构和传动如图1—3所示,带的工作面及带轮外圆上均制成齿形,通过带与带轮轮齿相嵌合,进行无滑动的啮合传动。带内采用了加载后无弹性伸长的材料做强力层,以保持带的节距不变,可使带与带轮进行无相对滑动的同步传动。与一般带传动相比,同步齿形带传动的特点有:传动效率高,可达98%以上;无滑动,传动比准确;传动平

稳, 噪声小; 使用范围较广, 速度可达 50 m/s, 速比可达 10 左右, 传递功率由几瓦至数千瓦; 维修保养方便, 不需要润滑; 安装时中心距要求严格, 带与带轮制造工艺复杂, 成本高。

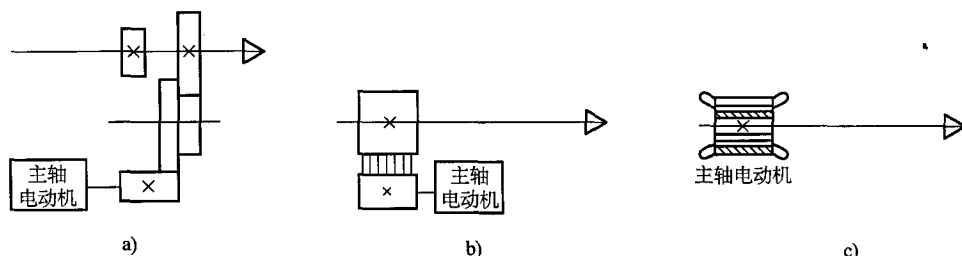


图 1—2 数控机床主传动的配置方式

a) 带有变速齿轮的主传动 b) 通过带传动的主传动 c) 由调速电动机直接驱动的主传动

3) 由调速电动机直接驱动的主传动 (见图 1—2c)。这种主传动方式大大简化了主轴箱体与主轴的结构, 有效地提高了主轴部件的刚度, 但主轴输出扭矩小, 电动机发热对主轴的精度影响较大。

近年来出现了一种新式的内装电动机主轴, 采用无外壳电动机, 将其空心转子直接套装在机床主轴上, 带有冷却套的定子则安装在主轴单元的壳体上, 即主轴与电动机转子合为一体。

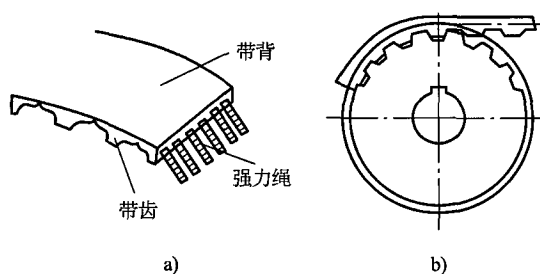


图 1—3 同步齿形带的结构和传动

a) 结构 b) 传动

(2) 主轴部件。数控机床的主轴部件是机床中最关键的部件之一, 是体现整台机床技术水平的一个主要标志, 它的精度、刚度和热变形会对加工质量产生直接影响。

1) 主轴端部的结构形状 (见图 1—4)。数控机床主轴端部的结构对工件或刀具的定位、安装、拆卸以及夹紧的准确、牢固、方便和可靠有很大影响。主轴端部在设计时应保证定位准确、安装可靠、联结牢固、装卸方便, 并能传递所需的转矩。几种数控机床主轴端部的结构形状如图 1—4 所示。

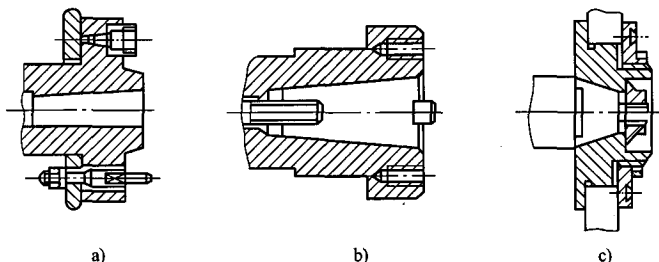


图 1—4 主轴端部的结构形状

a) 车床主轴端部 b) 镗铣类机床的主轴端部 c) 外圆磨床砂轮的主轴端部

2) 主轴部件的支撑。如图 1—5 所示, 数控机床的主轴轴承配置主要有以下三种形式:

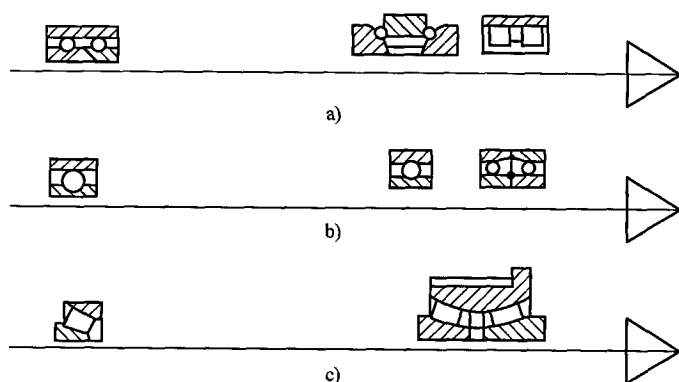


图 1—5 数控机床主轴轴承配置形式

a) 双列短圆柱滚子轴承和 60° 角接触球轴承的组合

b) 前轴承采用高精度调心球轴承 c) 双列和单列圆锥滚子轴承的组合

①采用双列短圆柱滚子轴承和 60° 角接触球轴承组合（见图 1—5a），此配置形式能使主轴获得较大的综合刚度，可满足机床强力切削的要求，普遍应用于各类数控机床的主轴，如数控车床、数控铣床的主轴。

②前轴承采用高精度调心球轴承（见图 1—5b），主轴最高转速可达 $1\,000\text{ r/min}$ ，但是它的承载能力小，适用于高速、轻载和精密的主轴部件。目前，这种配置形式在立式、卧式加工中心上已得到广泛应用。为提高这种配置形式的主轴刚度，前支撑可以采用四个或更多的轴承相组配，后支撑用两个轴承相组配。

③双列和单列圆锥滚子轴承作为主轴前后支撑（见图 1—5c），这组轴承径向和轴向刚度高，能承受重载荷，尤其能承受较强的动载荷，安装与调整性能好。但是这种配置方式限制了主轴的最高转速和精度，适用于中等精度、低速与重载的数控机床主轴。

另外，对精密、超精密机床主轴，数控磨床主轴，可采用液体静压轴承和动压轴承；对于要求有更高转速的主轴，可以采用空气静压轴承，这种轴承可达每分钟几万转的转速，并有非常高的回转精度。

对于主轴夹持刀具回转的数控机床，如数控铣床以及以镗铣为主的加工中心等，为了实现刀具的快速或自动装卸，主轴上往往装有刀具自动装卸、主轴准停和主轴孔内切屑自动清除等装置。对于主轴夹持工件回转的数控机床，如数控车床、车削加工中心等，主轴上常安装动力卡盘等自动夹紧工件的装置。

主轴部件所用滚动轴承的精度等级有高级 E、精密级 D、特精级 C 和超精级 B。前支撑的精度一般比后支撑的精度高一级，也可以用相同的精度等级。普通精度的机床通常前支撑用 C、D 级，后支撑用 D、E 级，特高精度的机床前后支撑均用 B 级精度。

对主轴滚动轴承进行预紧和合理选择预紧量，可以提高主轴部件的旋转精度、刚度和抗振性。滚动轴承间隙的调整或预紧，通常是使轴承内、外圈相对轴向移动来实现的，常用的方法有：轴承内圈移动（见图 1—6）；当轴承为外圈窄边相对安装时，修磨轴承外圈的窄边（见图 1—7）；或将两个厚度不同的隔套放在两轴承内、外圈之间（见图 1—8）。

3) 主轴准停装置。数控机床为了完成 ATC（刀具自动交换）的动作过程，必须设置主轴准停机构。由于刀具装在主轴上，切削时切削转矩不可能仅靠锥孔的摩擦力来传递，因此，

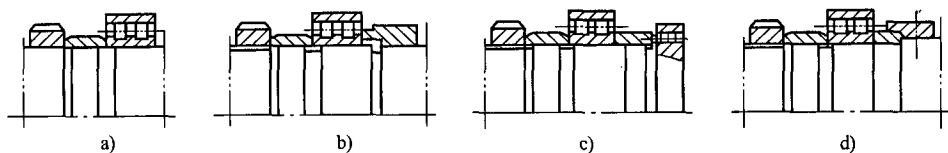


图 1—6 轴承内圈移动

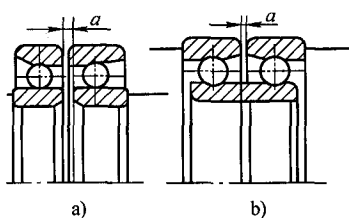


图 1—7 修磨轴承外圈的窄边

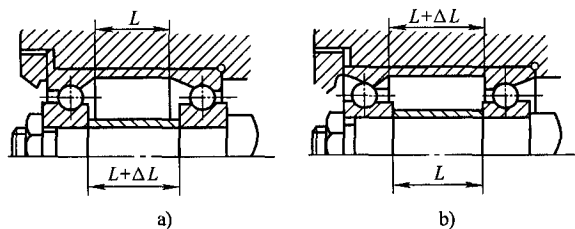


图 1—8 隔套的应用

在主轴前端设置一个突键，当刀具装入主轴时，刀柄上的键槽必须与突键对准，才能顺利换刀。为此，主轴必须准确停在某固定的角度上。由此可知，主轴准停是实现 ATC 过程的重要环节。

通常主轴准停机构有两种方式，即机械方式与电气方式。

机械方式采用机械凸轮机构或光电盘方式进行粗定位，然后由一个液动或气动的定位销插入主轴上的销孔或销槽实现精确定位，完成换刀后定位销退出，主轴才开始旋转。采用这种传统方式定位结构复杂，在早期数控机床上使用较多。图 1—9 所示为采用机械凸轮粗定位的机械式准停装置。

现在数控机床上采用电气方式定位较多。电气方式定位一般有两种方式：一种是用磁性传感器检测定位，如图 1—10 所示，在主轴上安装一个永久磁体与主轴一起旋转，在距离永久磁体旋转外轨迹 1~2 mm 处固定一个磁传感器，它经过放大器并与主轴控制单元相连接，当主轴需要定向时，便可停止在调整好的位置上；另一种是利用主轴上光电脉冲发生器的同步信号定位。

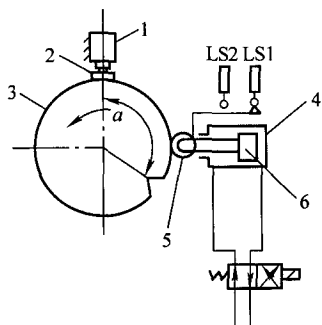


图 1—9 机械式准停装置

- 1—无触点开关 2—感应块 3—凸轮定位盘
4—定位油缸 5—滚轮 6—定位活塞

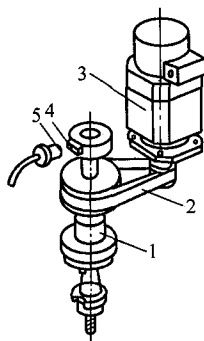


图 1—10 电气式准停装置

- 1—主轴 2—同步感应器
3—主轴电动机 4—永久磁体 5—磁传感器

3. 进给传动系统

数控机床的进给系统，主要包括伺服电动机及检测装置、减速装置、丝杠螺母副及导向元件等。

(1) 对进给系统的要求。为确保数控机床进给系统的传动精度和工作平稳性等，数控机床进给系统必须满足以下要求：

1) 减小摩擦阻力，尤其是减小丝杠螺母副及工作台运动导轨副的摩擦，以消除进给爬行现象，提高整个伺服系统的稳定性。具体措施是采用低摩擦的传动副，如减摩滑动导轨、滚动导轨、静压导轨、滚珠丝杠等。

2) 提高传动精度和刚度，主要是提高进给系统中传动零件的精度和支撑刚度，对采用的各种机械部件首先要保证它们的加工精度，尤其是提高滚珠丝杠螺母副、蜗杆副的传动精度。其次是采用合理的预紧来消除轴向间隙，尽量消除传动件的传动间隙，减小反向死区误差，提高进给精度和刚度。

3) 减小各运动零件的惯量，主要是在满足传动精度和刚度的前提下，应尽可能使各零件的结构、配置合理，减小它们的惯量。

4) 响应速度要快，即工作台应能在规定的速度范围内灵敏而精确地跟踪指令，进行单步可连续移动，在运行时不出现丢步或多步现象。进给系统响应速度的大小不仅影响机床的加工效率，而且影响加工精度。应使机床工作台及其传动机构的刚度、间隙、摩擦以及转动惯量尽可能达到最佳值，以提高伺服进给系统的快速响应性能。

5) 使用维护要方便，因数控机床属高精度自动控制机床，主要用于单件、中小批量、高精度及复杂工件的生产加工。机床的开机率相应较高，因而进给系统的结构设计应便于维护和保养，最大限度地减小维修工作量，以提高机床的利用率。

(2) 进给系统传动齿轮间隙的消除。有的数控机床，在电动机和丝杠之间加入了齿轮传动副，齿轮副齿侧存在间隙会使进给运动滞后于指令信号，造成反向死区而影响传动精度和系统的稳定性。因此，必须采取措施消除齿轮传动中的间隙。下面为几种常用的齿轮间隙消除机构。

1) 直齿圆柱齿轮传动。消除直齿圆柱齿轮传动的间隙有以下三种方法：

① 偏心套调整法（见图 1—11）。电动机 2 通过偏心套 1 安装到机床壳体上，通过转动偏心套 1，就可以调整两齿轮的中心距，从而消除齿侧的间隙。

② 锥度齿轮调整法（见图 1—12）。在加工齿轮 1 和 2 时，将假想的分度圆柱面改变成带

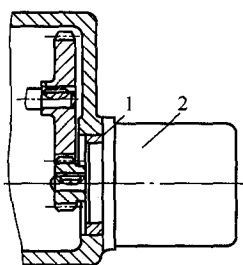


图 1—11 偏心套调整法

1—偏心套 2—电动机

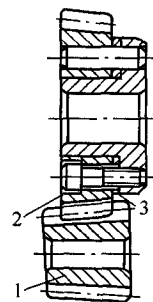


图 1—12 锥度齿轮调整法

1、2—齿轮 3—垫片

有小锥度的圆锥面，使其齿厚在齿轮的轴向稍有变化。调整时，只要改变垫片 3 的厚度就能调整两个齿轮的轴向相对位置，从而消除齿侧间隙。

以上两种方法结构简单，能传递较大转矩，传动刚度较好，但齿侧间隙调整后不能自动补偿。

③双片薄片齿轮错齿调整法（见图 1—13）。两个齿数相同的薄片齿轮 1、2 与另外一个宽齿轮相啮合。薄片齿轮套装在一起，并可作相对回转运动。每个薄片齿轮上分别开有周向圆弧槽，并在齿轮 1、2 的槽内压有装弹簧的短圆柱 3，由于弹簧 4 的作用使齿轮 1、2 错位，分别与宽齿轮的齿槽左右侧贴紧，消除了齿侧间隙。该齿轮无论正向或反向放置，都分别只有一个齿轮承受扭矩，因此，承载能力受到限制，设计时须计算弹簧 4 的拉力，使它能克服最大扭矩。

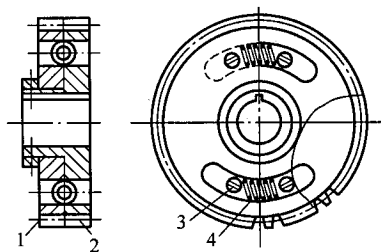


图 1—13 双片薄片齿轮错齿调整法
1、2—薄片齿轮 3—短圆柱 4—弹簧

这种结构装配好后，齿侧间隙自动补偿，可始终保持无间隙啮合，是一种常用的无间隙齿轮传动结构。

2) 斜齿圆柱齿轮传动。消除斜齿圆柱齿轮传动的间隙有以下两种方法：

①轴向垫片调整法（见图 1—14），其原理与错齿调整法相同，薄片齿轮 1 和 2 的齿形拼装在一起加工，装配时在两薄片齿轮间装入已知厚度为 t 的垫片 3，这样两齿轮的螺旋线便错开了，使两薄片齿轮分别与宽齿轮 4 的左、右齿面贴紧，消除了间隙。垫片的厚度 t 与齿侧间隙 Δ 的关系为：

$$t = \Delta \cot \beta$$

式中 β ——螺旋角。

这种结构的齿轮承载能力较小，且不能自动补偿和消除间隙。

②轴向压簧错齿调整法（见图 1—15），其消除间隙的原理与轴向垫片法相似，但用弹簧压紧，能自动补偿齿侧间隙（弹簧 4 压力的大小可用螺母 3 来调整），可始终保持无间隙的啮合。它只适用于负载较小的场合，且结构尺寸较大。

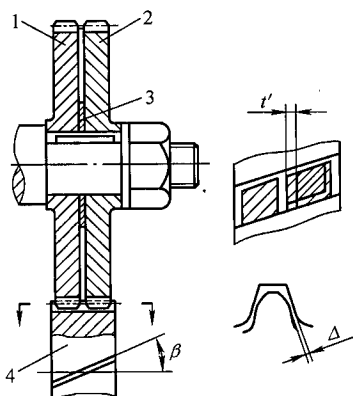


图 1—14 轴向垫片调整法

1、2—薄片齿轮 3—垫片 4—宽齿轮

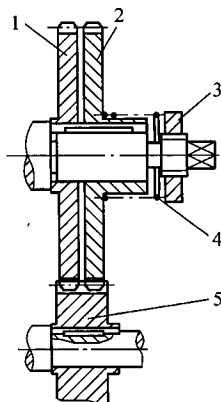


图 1—15 轴向压簧错齿调整法

1、2—薄片齿轮 3—螺母 4—弹簧 5—宽齿轮

3) 锥齿轮传动。锥齿轮与圆柱齿轮一样, 可用上述类似的方法来消除齿侧间隙。

(3) 滚珠丝杠螺母副

1) 滚珠丝杠螺母副间隙的调整。滚珠丝杠的传动间隙是轴向间隙, 其数值是指丝杠和螺母相对转动时, 二者之间的最大轴向间隙窜动量。由于存在轴向间隙, 当丝杠反向转动时, 将产生空回误差, 从而影响传动精度和轴向刚度。通常采用预紧的方法来减小轴向间隙, 保证反向传动精度和轴向刚度。滚珠丝杠螺母副常用的预紧方法有双螺母预紧、单螺母变导程自预紧和单螺母过盈滚珠预紧等几种。其中, 双螺母结构又分为双螺母垫片预紧、双螺母螺纹式预紧、双螺母齿差式预紧。调整时, 预紧力应为最大轴向负荷的 $1/3$ 。表 1—1 列出了这三种预紧方式的特点。

2) 滚珠丝杠螺母副的安装。为提高传动刚度, 采用合理的支撑结构并正确安装很重要。采用高刚度的止推轴承支撑结构, 可以提高滚珠丝杠的轴向承载能力。滚珠丝杠的支撑结构见表 1—2。

表 1—1

滚珠丝杠螺母副预紧方式

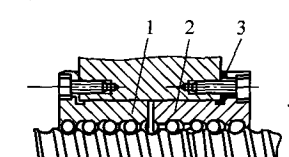
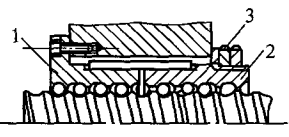
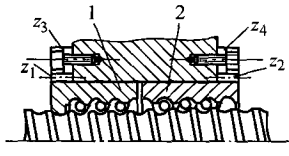
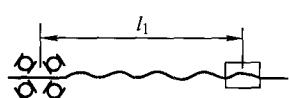
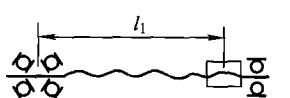
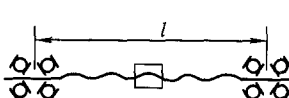
调整方式	简图	调整方法	特点
垫片式		改变垫片 3 的厚度, 使螺母 2 相对于螺母 1 产生轴向位移	能较精确调整预紧量, 结构简单, 刚度好, 工作可靠; 但调整不方便, 滚道磨损时不能随时进行调整
螺纹式		转动调整螺母 3, 使螺母 2 产生轴向位移	结构简单, 调整方便, 滚道磨损时可随时进行调整; 但预紧量不很精确
齿差式		在螺母 1 和 2 的凸缘上各加工有外齿轮, 分别与固紧在套筒两端的内齿圈 3 和 4 相啮合, $z_1 = z_3$, $z_2 = z_4$, 且 z_1 与 z_2 相差一个齿。两个螺母向相同方向转过一个齿, 产生的轴向位移为 $s = P / (z_1 z_2)$ 。如 $z_1 = 99$, $z_2 = 100$, 丝杠螺距 $P = 10 \text{ mm}$ 时, $s \approx 0.001 \text{ mm}$, 即两个螺母同向转过一个齿, 在轴向产生 $1 \mu\text{m}$ 的位移	能精确微调预紧量, 工作可靠, 滚道磨损时调整方便; 但结构复杂, 用于需获得准确预紧力的精密定位系统

表 1—2

滚珠丝杠的支撑结构

支撑方式	一端固定 (F), 一端自由 (O) F—O	一端固定 (F), 一端浮动 (S) F—S	两端固定 F—F
简图			

续表

支撑方式	一端固定 (F), 一端自由 (O) F—O	一端固定 (F), 一端浮动 (S) F—S	两端固定 F—F
特点	结构简单, 承载能力小, 轴向刚度低, 压杆稳定性较差和临界转速低, 设计时应尽量使丝杠受拉伸	轴向刚度和 F—O 相同, 压杆稳定性和临界转速比同长度的 F—O 高, 丝杠有热膨胀的余地, 需保证螺母与两支撑同轴, 结构较复杂, 装配较困难	丝杠的轴向刚度为一端固定的 4 倍, 压杆稳定性好, 固有频率比一端固定的高, 可施加预紧力提高传动刚度, 结构和装配工艺都较复杂
适用范围	适用于短丝杠、垂直丝杠	适用于较长丝杠或卧式丝杠	适用于长丝杠以及对刚度和位移精度要求高的场合

3) 滚珠丝杠螺母副的参数 (见图 1—16)

①公称直径 d_0 。滚珠与螺纹滚道在理论接触角状态时包络滚珠球心的圆柱直径, 它是滚珠丝杠副特性尺寸。 d_0 越大, 承载能力和刚度越大, 推荐滚珠丝杠副的 d_0 应大于丝杠工作长度的 $1/30$ 。

②基本导程 L_0 。丝杠相对于螺母旋转 2π 时, 螺母上基准点的轴向位移。 L_0 减小可提高精度。

③接触角 β 。在螺纹滚道法向剖面内, 滚珠球心与滚道接触点的连线与螺纹轴线的夹角, 理想接触角 $\beta = 45^\circ$ 。

④导程 L 。丝杠相对于螺母转过任意弧度时, 螺母上基准点的轴向位移。

⑤滚珠的工作圈数 i 。在每一个循环回路中, 各圈滚珠所受的轴向载荷为: 第一圈滚珠承受总载荷的 50% 左右, 第二圈约承受 30% 左右, 第三圈约承受 20%。因此, 滚珠丝杠副中的每个循环回路的滚珠工作圈数取为 2.5~3.5 圈。

⑥滚珠的总数 N 。一般 N 不超过 150, N 太大, 因流通不畅易产生堵塞; N 太小, 将使得每个滚珠的负载加大, 引起大的弹性变形。

⑦其他参数。滚珠丝杠副的其他参数还有丝杠螺纹大径 d 、丝杠螺纹小径 d_1 、螺纹全长 l , 螺母螺纹大径 D 、螺母螺纹小径 D_1 , 滚道圆弧偏心距 e 和滚道圆弧半径 R 等。

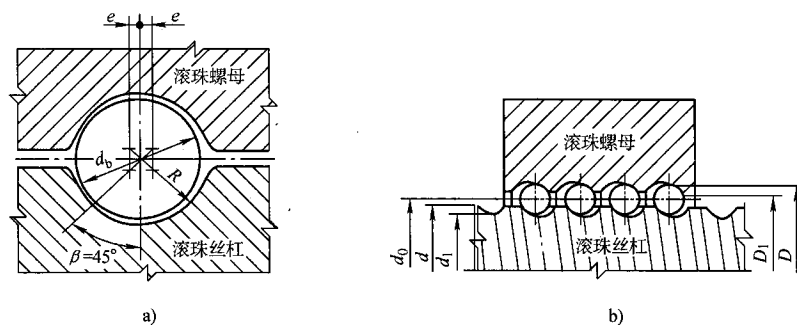


图 1—16 滚珠丝杠螺母副的参数

a) 滚珠丝杠螺母副轴向剖面图 b) 滚珠丝杠螺母副法向剖面图