

21 世纪数控机床应用与维修系列书

数控车床的编程与 操作实例

韩鸿鸾 何全民 主编

数控车床结构

数控编程基础

数控车床加工工艺

FANUC、西门子、国产SKY系统编程与操作实例

数控车工国家职业标准



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

21 世纪数控机床应用与维修系列书

数控车床的编程与 操作实例

主 编	韩鸿鸾	何全民
副主编	吴海燕	朱文广
参 编	徐国权	褚元娟 安丽敏
主 审	高小林	



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

► 内容提要

进入 21 世纪以来,数控技术得到了广泛应用,对高素质操作人员的需求量也不断增加。为了适应新形势的发展,同时配合《教育部等六部门关于实施职业技术学院制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程的通知》的精神,特编写了《21 世纪数控机床的应用与维修系列书》。本书是其中的《数控车床的编程与操作实例》分册,主要介绍了数控车床结构、加工工艺、数控编程等基础知识,重点讲解了 FANUC 系统、西门子(802S)系统、国产 SKY 系统数控车床的编程与操作实例,附录中则收录了数控车工国家职业标准,以供参考。

本书可作为数控机床工作人员培训、操作与维修用书,也可作为相关高等院校的数学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

数控车床的编程与操作实例/韩鸿鸾,何全民主编. 北京:中国电力出版社,2006

(21 世纪数控机床应用与维修系列书)

ISBN 7-5083-4359-X

I. 数... II. ①韩... ②何... III. ①数控机床:
车床-程序设计②数控机床:车床-操作 IV. TG519.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 044487 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 7 月第一版 2006 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.625 印张 505 千字

印数 0001—4000 册 定价 29.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前言

Preface

数控车床的编程
与操作实例

数控机床是现代机械制造工业的重要技术装备,也是先进制造技术的基础技术装备。数控机床随着微电子技术、计算机技术、自动控制技术的发展而得到飞跃发展。目前,几乎所有传统机床都有了数控机床品种。数控技术极大地推动了计算机辅助设计、计算机辅助制造、柔性制造系统、计算机集成制造系统、虚拟制造系统和敏捷制造的发展,并为实现绿色加工打下了基础。数控机床正逐渐成为机械工业技术改造的首选设备。

随着数控技术的广泛应用,对数控机床操作、维修人员的需求量也不断增加。因此,为工厂培养数控机床的操作、维修人员就成了当务之急。目前推行的职业资格证书制度,正是顺应了当前形势的需要,系统地对广大从业者进行相关职业理论和技能的培训,不仅对个人的技术能力和实际运用水平的提高有着重要的作用,也为企业合理用工以及劳动者自主择业提供了依据。

为了适应新形势的发展,优化劳动力素质,特编写《21世纪数控机床的应用与维修系列书》。本套书突出了适应职业技能培训的特色,按等级、分模块单元的编写模式,使学员通过学习与培训,不仅能够有助于通过鉴定考核,而且能够有针对性地系统学习,真正掌握本职业的实用技术与操作技能,从而实现“不但懂,更会做”。

《21世纪数控机床的应用与维修系列书》包括《数控车床的编程与操作实例》、《数控铣床与加工中心的编程与操作实例》、《常用数控设备和特种加工的编程与操作实例》、《数控机床维修实例》四本。本套书在编写过程中力争作到如下特点:

(1) 职业教育性:渗透职业道德和职业意识教育;体现就业导向,有助于学生树立正确的择业观;培养学生爱岗敬业、团队精神和创业精神;树立安全意识和环保意识。

(2) 知识正确性:基本概念表述、原理阐述、数学运算正确;科学事实和社会现象描述清楚、准确,引用数据、图表、材料可靠。

(3) 内容先进性:注意用新观点、新思想来审视、阐述经典内容;适应经济社会发展和科技进步的需要,及时更新教学内容,反映新知识、新技术、新工艺、新方法。

(4) 知识实用性:体现以职业能力为本位,以应用为核心,以“必需、够用”为原则;紧密联系生活、生产实际;与相应的职业资格标准相互衔接。

(5) 结构合理性:本书的体系设计合理,循序渐进,符合学生心理特征和认知、技能养成规律;结构、体例新颖。

(6) 文字可读性与图表准确性:文字规范、简练,符合语法规则;语句通顺流畅,条理清楚,可读性强;标点符号、计量单位使用规范正确。图文并茂,配合得当;图表清晰、美观,图形绘制和标注规范,缩放比恰当。

同时,本套书也是为了配合教育部等六部委《关于实施职业院校制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程的通知》而编写,即技能型紧缺人才的培养培训要以综合素质为基础,以能力为本位,把提高学生的职业能力放在突出的位置,加强实践性教学环节,职业教育要以企业需求为基本依据,既要增强针对性,又要兼顾适应性。

因此,《21世纪数控机床的应用与维修系列书》不仅可以作为工人培训、数控机床操作与维

修人员用书，更可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、技术（技师）学院、高级技校、继续教育学院和民办高校数控与机电专业用书。

本书为《21 世纪数控机床的应用与维修系列书》之一，即《数控车床的编程与操作实例》。本书共分为六章，内容包括数控车床的结构、数控车床的加工工艺、数控编程的基础、FANUC 系统数控车床的编程与操作、西门子（802S）数控车床的编程与操作、国产 SKY 系统数控车床的编程与操作。

本书由威海职业学院的韩鸿鸾、烟台职业学院的何全民主编，由烟台职业学院的高小林主审。其中第一章由朱文广编写、第二章由吴海燕编写；第三章由何全民编写；第四章由韩鸿鸾编写；第五章由徐国权编写；第六章由褚元娟、安丽敏编写。全书由韩鸿鸾统稿。本书在编写过程中得到了山东临沂技术学院、江苏常州技师学院、邹城技校的大力支持与帮助，在此深表谢意。

由于时间仓促，编者水平有限，书中缺陷乃至错误在所难免，望广大读者给予批评、指正。

编者

2006 年 6 月

目 录

Contents

数控车床的编程
与操作实例

前言

第一章 数控车床结构	1
第一节 概述	1
第二节 数控车床的主传动系统	4
第三节 数控机床的进给传动系统	16
第四节 自动换刀装置	34
第五节 数控机床的辅助机构	42
第六节 具体数控车床简介	49
第七节 典型数控系统	57
第二章 数控车床的加工工艺	72
第一节 数控加工工艺概述	72
第二节 数控加工工艺文件	73
第三节 数控车削加工工艺分析	79
第四节 数控加工用刀具的种类与特点	86
第五节 数控车削用刀具	88
第六节 数控车削用夹具	94
第七节 成组技术在数控加工上的应用	104
第八节 典型零件数控车削加工工艺分析	107
第三章 数控编程的基础	117
第一节 数控编程概述	117
第二节 数控机床坐标系	120
第三节 数控机床的主要功能	123
第四节 数控加工程序的格式与组成	132
第五节 数控车床上的有关点	134
第六节 刀具补偿功能	141
第七节 数控机床的编程规则	149
第八节 手工编程中的数学处理	152
第四章 FANUC 系统数控车床的编程与操作	165
第一节 概述	165
第二节 直线插补的应用	168
第三节 圆弧插补的应用	179
第四节 螺纹加工	189

第五节	循环加工	196
第六节	子程序的应用	208
第七节	零点偏置	213
第八节	FANUC 系统数控车床的操作	214
第五章	西门子 (802S) 数控车床的编程与操作	231
第一节	概述	231
第二节	基本工件的加工	232
第三节	螺纹加工	237
第四节	循环加工	244
第五节	SIEMENS 802S 系统数控车床的操作	249
第六章	国产 SKY 系统数控车床的编程与操作	254
第一节	国产 SKY 系统数控车床的编程	254
第二节	数控车床的对刀方法	267
第三节	国产 SKY 系统数控车床的操作	267
附录	数控车工国家职业标准	281
参考文献		291

21世纪数控机床应用与维修系列书

第一章

数控车床结构

第一节 概 述

数控机床是高精度和高生产率的自动化机床,其加工过程中的动作顺序、运动部件的坐标位置及辅助功能等都是通过数字信息自动控制的。整个加工过程由数控系统通过数控程序控制自动完成。期间,操作者一般不进行干预,不像在普通机床上那样,可以人工随时控制与干预,进行薄弱环节和缺陷的人为补偿。因此,数控机床在结构上提出了比普通机床更高的要求。

为了提高数控机床的加工精度,需要机床在受力、受热时变形小。因此,在结构设计上要尽可能提高其静、动刚度,提高其动态响应的灵敏度,提高其精度保持性,同时保证具有高的抗振性和高的工作可靠性等。这样,在结构上采取了不同于普通机床的滚动导轨、滚珠螺旋传动,增加很多筋板的焊接床身,加装反馈检测元件,缩短表面成形运动传动链,增加消隙机构,增加阻尼系数,提高机床的固有频率等措施,以保证上述性能要求。

为了满足高效率和高自动化要求,数控机床还采用自动换刀、自动对刀、自动变速、刀库(加工中心)、自动排屑、交换工作台、自动装夹等装置结构。

近年来,高速切削技术发展迅猛,而高速切削技术的发展对数控机床提出了更高的要求,使得满足高速切削加工要求的机床结构发生了根本的变化。同传统的数控机床相比,其根本区别就是高速数控机床的主运动和进给运动都采用了直驱技术,省掉了中间的传动环节。即采用“电主轴单元”和“直线电机单元”等。

一、数控机床机械结构的特点

为了达到数控机床运动精度高、定位精度高和自动化性能高的要求,其机械结构的特点主要表现在如下几个方面。

1. 高刚度

数控机床要在高速和重负荷条件下工作,因此,机床的床身、立柱、主轴、工作台、刀架等主要部件,均需具有很高的刚度,以减少工作中的变形和振动。例如,有的床身采用双壁结构,并配置有斜向肋板及加强肋,使其具有较高的抗弯刚度和抗扭刚度;为提高主轴部件的刚度,除主轴部件在结构上采取必要的措施以外,还要采用高刚度的轴承,并适当预紧;增加刀架底座尺寸,减少刀具的悬伸,以适应稳定的重切削等。

2. 高灵敏度

数控机床的运动部件应具有较高的灵敏度。导轨部件通常采用滚动导轨、塑料导轨、静压导轨等,以减少摩擦力,使其在低速运动时无爬行现象。工作台、刀架等部件的移动,由交流或直流伺服电机驱动,经滚珠丝杠传动,减少了进给系统所需要的驱动扭矩,提高了定位精度和运动平稳性。

3. 高抗振性

数控机床的一些运动部件,除应具有高刚度、高灵敏度外,还应具有高抗振性,即在高速重切削情况下减少振动,以保证加工零件的高精度和高的表面质量。特别要注意的是避免切削时的谐振,因此对数控机床的动态特性提出更高的要求。

4. 热变形小

机床的主轴、工作台、刀架等运动部件在运动中会产生热量,从而产生相应的热变形。而工艺过程的自动化和精密加工的发展,对机床的加工精度和精度稳定性提出了越来越高的要求。为保证部件的运动精度,要求各运动部件的发热量要少,以防产生过大的热变形。为此,机床结构根据热对称的原则设计,并改善主轴轴承、丝杠螺母副、高速运动导轨副的摩擦特性。如 MJ-50CNC 数控车床主轴箱壳体按照热对称原则设计,并在壳体外缘上铸有密集的散热片结构,主轴轴承采用高性能油脂润滑,并严格控制注入量,使主轴温升很低。数控机床会产生大量切屑,因此一般都带有良好的自动排屑装置。

5. 高精度保持性

为了加快数控机床投资的回收,必须使机床保持很高的开动比(比普通机床高 2~3 倍),因此必须提高机床的寿命和精度保持性,以保证在尽可能地减少电气和机械故障的同时,数控机床在长期使用过程中不丧失精度。

6. 高可靠性

数控机床在自动或半自动条件下工作,尤其在柔性制造系统(FMS)中的数控机床,可在 24h 运转中实现无人管理,这就要求机床具有高的可靠性。为此,要提高数控装置及机床结构的可靠性,例如在工作过程中动作频繁地换刀机构、托盘、工件交换装置等部件,必须保证在长期工作中十分可靠。另外,引入机床机构故障诊断系统和自适应控制系统、优化切削用量等,也都有助于机床可靠地工作。

7. 模块化

模块化设计思想的机床配置灵活,使用户在数控机床的功能、规格方面有更多的选择余地,做到既能满足用户的加工要求,又尽可能不为多余的功能承担额外的费用。

数控机床通常由床身、立柱、主轴箱、工作台、刀架系统及电气总成等部件组成。如果把各种部件的基本单元作为基础,按不同功能、规格和价格设计成多种模块,用户可以按需要选择最合理的功能模块配置成整机。这不仅能降低数控机床的设计和制造成本,而且能缩短设计和制造周期,最终赢得市场。目前,模块化的概念已开始从功能模块向全模块化方向发展,它已不局限于功能的模块化,而是扩展到零件和原材料的模块化。

8. 机电一体化

数控机床的机电一体化是对总体设计和结构设计提出的重要要求。它是指在整个数控机床功能的实现以及总体布局方面必须综合考虑机械和电气两方面的有机结合。新型数控机床的各系统已不再是各自不相关联的独立系统。最具典型的例子之一是数控机床的主轴系统已不再是单纯的齿轮和带轮的机械传动,而更多的是由交流伺服电机为基础的电主轴。电气总成也已不再是单纯游离于机床之外的独立部件,而是在布局上和机床结构有机地融为一体。由于抗干扰技术的发展,目前已把电力的强电模块与微电子的计算机弱电模块组合成一体,既减小了体积,又提高了系统的可靠性。

二、数控车床的机械结构组成

1. 数控车床结构组成

图 1-1 为典型数控车床的机械结构系统组成，包括主轴传动机构、进给传动机构、刀架、床身、辅助装置（刀具自动交换机构、润滑与切削液装置、排屑、过载限位）等部分。

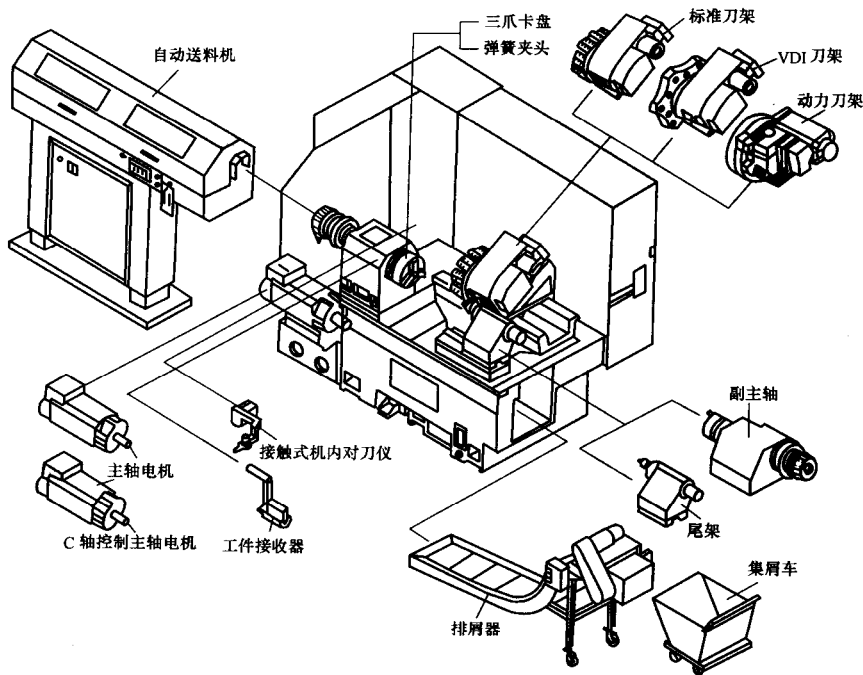


图 1-1 典型数控车床的机械结构系统组成

2. 数控车床机械结构特点

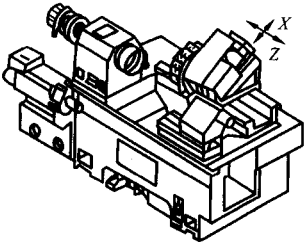
数控车床本体结构特点包括以下 3 个方面：

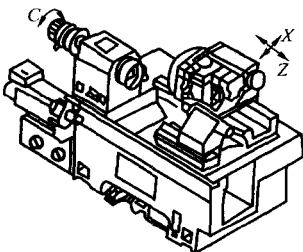
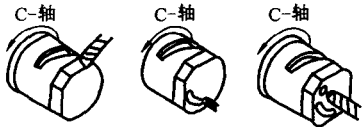
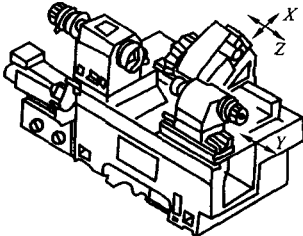
- (1) 采用高性能的主轴部件。具有传递功率大、刚度 high、抗振性好及热变形小等优点。
- (2) 进给伺服传动采用高性能传动件。具有传动链短、结构简单、传动精度高等特点，一般采用滚珠丝杠副、直线滚动导轨副等。
- (3) 高档数控车床，有较完善的刀具自动交换和管理系统。工件在车床上一次安装后，能自动地完成或接近完成工件各面的加工工序。

3. 数控车床配置与加工能力

数控车床的结构配置不同，其加工能力也不相同，表 1-1 给出了机型配置与加工能力范围。

表 1-1 机型配置与加工能力范围

机 型 配 置	加 工 能 力
 标准 2 轴	

机 型 配 置	加 工 能 力
 C轴+动力刀架	 C-轴 C-轴 C-轴
 副主轴	 C-轴 C-轴

第二节 数控车床的主传动系统

一、主传动系统的特点

数控机床的主传动系统包括主轴电动机、传动系统和主轴组件。与普通机床的主传动系统相比，在结构上比较简单，这是因为变速功能全部或大部分由主轴电动机的无级调速来承担，省去了繁杂的齿轮变速机构，有些只有二级或三级齿轮变速系统用以扩大电动机无级调整的范围。

(1) 调整范围。各种不同的机床对调速范围的要求不同。多用途、通用性大的机床要求主轴的调整范围大，不但有低速大转矩功能，而且还要有较高的速度，如车削加工中心；而对于专用数控机床就不需要较大的调整范围，如数控齿轮加工机床、为汽车工业大批量生产而设计的数控钻镗床；还有些数控机床，不但要求能够加工黑色金属材料，还要加工铝合金等有色金属材料，这就要求变速范围大，且能超高速切削。

(2) 热变形。电动机、主轴及传动件都是热源。温升低、热变形小是对主传动系统要求的重要要求。

(3) 主轴的旋转精度和运动精度。主轴的旋转精度是指装配后，在无载荷、低速转动条件下测量主轴前端和 300mm 处的径向和轴向跳动值。主轴在工作速度旋转时测量上述两项精度称为运动精度。数控机床要求有高的旋转精度和运动精度。

(4) 主轴的静刚度和抗振性。由于数控机床加工精度较高，主轴的转速又很高，因此对主轴的静刚度和抗振性要求较高。主轴的轴颈尺寸、轴承类型及配置方式，轴承预紧量大小，主轴组件的质量分布是否均匀及主轴组件的阻尼等对主轴组件的静刚度和抗振性都会产生影响。

(5) 主轴组件的耐磨性。主轴组件必须有足够的耐磨性，使之能够长期保持精度。凡机械摩

擦的部件,如轴承、锥孔等都应有足够高的硬度,轴承处还应有良好的润滑。

二、主轴变速方式

1. 无级变速

数控机床一般采用直流或交流主轴伺服电动机实现主轴无级变速。

交流主轴电动机及交流变频驱动装置(笼型感应交流电动机配置矢量变频调速系统),由于没有电刷,不产生火花,所以使用寿命长,且性能已达到直流驱动系统的水平,甚至在噪声方面还有所降低,目前应用较为广泛。

2. 分段无级变速

数控机床在实际生产中,并不需要在整个变速范围内均为恒功率。一般要求在中、高速段为恒功率传动,在低速段为恒转矩传动。为了确保数控机床主轴低速时有较大的转矩和主轴的变速范围尽可能大,有的数控机床在交流或直流电动机无级变速的基础上配以齿轮变速,使之成为分段无级变速。如图 1-2 (a)、(b) 所示。

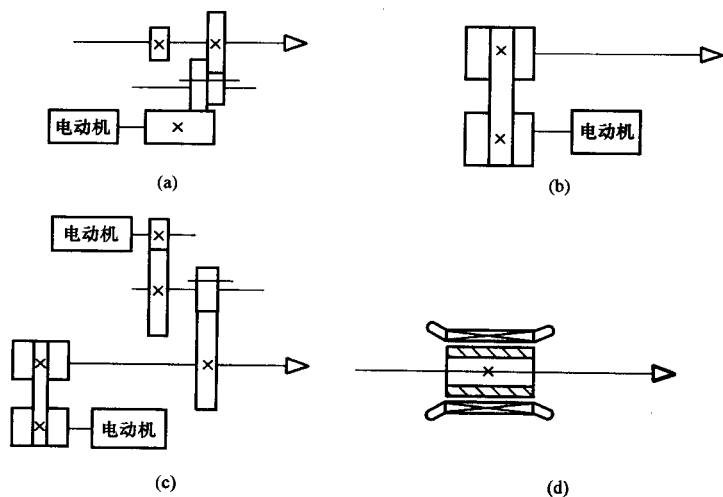


图 1-2 数控机床主传动的四种配置方式

(a) 齿轮变速; (b) 带传动; (c) 两个电动机分别驱动;

(d) 内装电动机主轴传动结构

(1) 带有变速齿轮的主传动 [图 1-2 (a)]。这是大中型数控机床较常采用的配置方式,通过少数几对齿轮

传动,扩大变速范围,由于电动机在额定转速以上的恒功率调速范围为 $2 \sim 5$,当需扩大这个调速范围时,常用变换齿数的办法,滑移齿轮的移位大都采用液压拨叉或直接由液压缸带动齿轮来实现。

(2) 通过带传动的主传动 [图 1-2 (b)]。这种传动主要用在转速较高、变速范围不大的机床。电动机本身的调整就能够满足要求,不用齿轮变速,可以避免由齿轮传动时所引起的振动和噪声。它适用于高速、低转矩特性的主轴,使用同步齿形带。

(3) 用两个电动机分别驱动主轴。这是上述两种方式的混合传动,具有上述两种性能 [图 1-2 (c)],高速时由一个电动机通过带传动,低速时,由另一个电动机通过齿轮传动,齿轮起到降速和扩大变速范围的作用,这样就使恒功率区增大,扩大了变速范围,避免了低速时转矩不够且电动机功率不能充分利用的问题。但两个电动机不能同时工作,也是一种浪费。

3. 液压拨叉变速机构

在带有齿轮传动的主传动系统中,齿轮的换挡主要都靠液压拨叉来完成,图 1-3 是三位液压拨叉的原理图。

通过改变不同的通油方式可以使三联齿轮块获得三个不同的变速位置。该机构除液压缸和活塞杆外,还增加了套筒 4。当液压缸 1 通入压力油,而液压缸 5 卸压时 [图 1-3 (a)],活塞杆 2 便带动拨叉 3 向左移动到极限位置,此时拨叉带动三联齿轮块移动到左端。当液压缸 5 通压力油,而液压缸 1 卸压时 [图 1-3 (b)],活塞杆 2 和套筒 4 一起向右移动,在套筒 4 碰到油缸 5 的

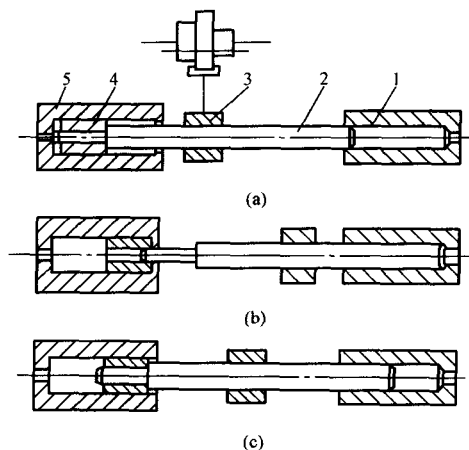


图 1-3 三位液压拨叉工作原理图

(a) 液压缸 1 通入压力油; (b) 液压缸 5 通入压力油;

(c) 液压缸 1 和 5 同时通入压力油

1、5—液压缸; 2—活塞杆; 3—拨叉; 4—套筒

端部后, 活塞杆 2 继续右移到极限位置, 此时, 三联齿轮块被拨叉 3 移动到右端。当压力油同时进入液压缸 1 和 5 时 [图 1-3 (c)], 由于活塞杆 2 的两端直径不同, 使活塞杆处在中间位置。在设计活塞杆 2 和套筒 4 的截面直径时, 应使套筒 4 的圆环面上的向右推力大于活塞杆 2 的向左推力。液压拨叉换挡在主轴停车之后才能进行, 但停车时拨叉带动齿轮块移动又可能产生“顶齿”现象, 因此在这种主运动系统中通常设一台微电动机, 它在拨叉移动齿轮块的同时带动各传动齿轮作低速回转, 使移动齿轮与主动齿轮顺利啮合。

4. 电磁离合器变速

电磁离合器是应用电磁效应接通或切断运动的元件, 由于它便于实现自动操作, 并有现成的系列产品可供选用, 因此已成为自动装置中常用的操纵元件。电磁离合器用于数控机床的主传动时, 能简化变速机构, 通过若干个安装在各传动轴上的离合

器的吸合和分离的不同组合来改变齿轮的传动路线, 实现主轴的变速。

5. 内置电动机主轴变速

这种主传动是电动机直接带动主轴旋转, 如图 1-2 (d) 所示, 因而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也较大。

近年来, 出现了一种新式的内装电动机主轴, 即主轴与电动机转子合为一体。其优点是主轴组件结构紧凑, 质量轻, 惯量小, 可提高启动、停止的响应特性, 并有利于控制振动和噪声。缺点是电动机运转产生的热量易使主轴产生热变形。因此, 温度控制和冷却是使用内装电动机主轴的关键问题。图 1-4 所示为日本研制的立式加工中心主轴组件, 其内装电动机最高转速可达 20000r/min。

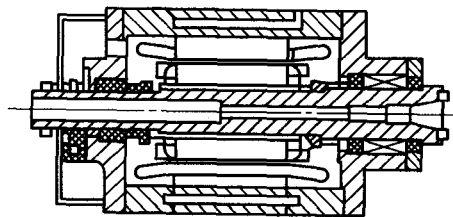


图 1-4 立式加工中心主轴组件

三、高速主轴

20 世纪 80 年代以来, 数控机床、加工中心、主轴的高速化发展很快。高速主轴的发展是以航空工业、家电、汽车等工业追求机械零件的轻量化而普遍采用铝合金零件后, 提出的轻铝合金高速加工的课题而产生的。对于钢铁等黑色金属的加工, 由于刀具寿命的限制, 目前的最高主轴转速的 n 值小于 $1 \times 10^6 \text{ m/min}$, 已经足够充裕, 而铝合金的切削性能就不同, 根据日本大隈铁工所做的铝合金切削试验, 速度提高, 表面粗糙度 R_a 值降低。表 1-2 是表面粗糙度和切削速度的关系。

表 1-2

铝合金在切削实验中切削速度和表面粗糙度的关系

转速/ r/min	进给量/ mm/min	切削速度/ mm/min	$R_a/\mu\text{m}$	转速/ r/min	进给量/ mm/min	切削速度/ mm/min	$R_a/\mu\text{m}$
10000	1000	785	0.56	30000	3000	2356	0.32
20000	2000	1570	0.46	40000	4000	3142	0.32

主轴高速化首先要解决的技术问题有两方面:

1. 高速轴承的开发

高速时选用陶瓷轴承的方案已在加工中心机床上采用,其轴承的滚动体是用陶瓷材料制成,而内、外圈仍用轴承钢制造。陶瓷材料为 Si_3N_4 ,其优点是质量轻,为轴承钢的 40%;热膨胀率低,为轴承钢的 25%;弹性模量大,为轴承钢的 1.5 倍。采用陶瓷滚动体,可大大减小离心力和惯性滑移,有利于提高主轴转速。目前的问题是陶瓷价格昂贵,且有关寿命、可靠性的试验数据尚不充分,需进一步试验和完善。

2. 冷却润滑技术的研究

过去加工中心机床主轴轴承大都采用油脂润滑方式,为了适应主轴转速向更高速化发展的需要,新的润滑冷却方式相继开发出来,表 1-3 所示为减小轴承温升,进而减小轴承内外圈的温差,以及为解决高速主轴轴承滚道处进油困难所开发的各种润滑冷却方式。

表 1-3 主轴转速变迁表

时间	转速/r/min	润滑方式	备注
1980	5000	油脂	
1984	7000	油气	
1986	10000	油脂	
1987	15000	油气	陶瓷轴承(滚动体)
1988	20000	喷注	陶瓷轴承(滚动体)
1990	25000~30000	喷注	全陶瓷轴承

(1) 油气润滑方式。这种润滑方式不同于油雾方式,油气润滑是用压缩空气把小油滴送进轴承空隙中,油量大小可达最佳值,压缩空气有散热作用,润滑油可回收,不污染周围空气。图 1-5 所示为油气润滑原理图。

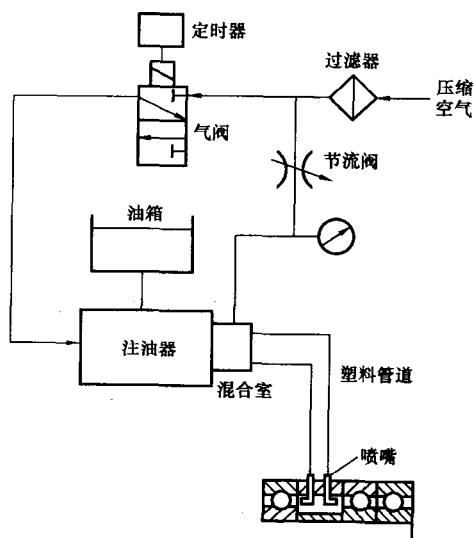


图 1-5 油气润滑原理

根据轴承供油量的要求,定时器的循环时间可在 1~99min 范围内定时。二位二通气阀每定时开通一次,压缩空气进入注油器,把少量油带入混合室。经节流阀的压缩空气经混合室把油带进塑料管道内,油液沿管道壁被风吹进轴承内,此时,油成小油滴状。

(2) 喷注润滑方式。这是最近开始采用的新型润滑方式,其原理如图 1-6 所示。它用较大流量的恒温油(每个轴承 3~4L/min)喷注到主轴轴承,以达到冷却润滑的目的。回油不是自然回流,而是用两台排油液压泵强制排油。

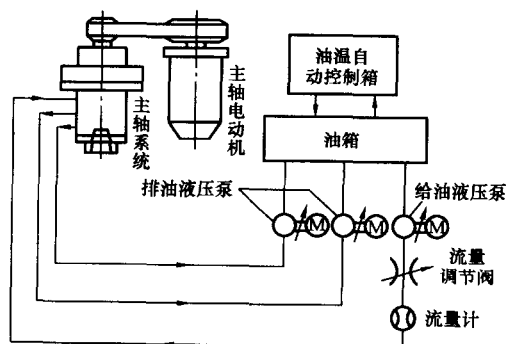


图 1-6 喷注润滑系统

(3) 突入滚道式润滑方式。内径为 100mm 的轴承以 2000r/min 速度旋转时,线速度为 100m/s 以上,轴承周围的空气也伴随流动,流速可达 50m/s。要使润滑油突破这层旋转气流很不容易,采用突入滚道式润滑方式则可以可靠地将油送入轴承滚道处。图 1-7 是为适应该要求而设计的特殊轴承。润滑油的进油口在内滚道附

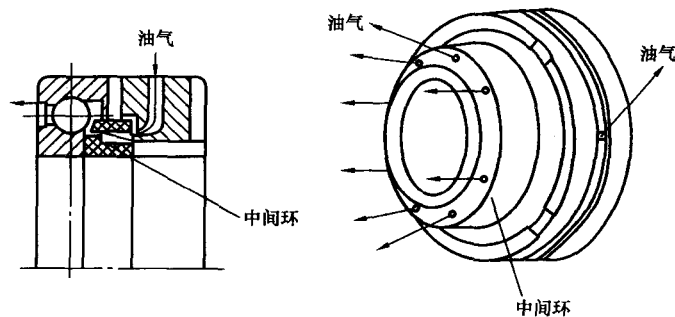


图 1-7 突入滚道润滑用特种轴承

近, 利用高速轴承的泵效应, 把润滑油吸入滚道。若进油口较高, 则泵效应差, 当进油接近外滚道时则成为排放口了, 油液将不能进入轴承内部。

(4) 电动机内装式主轴冷却。电动机转子装在主轴上, 主轴就是电动机轴, 多用在小型加工中心机床上。这也是近来高速加工中心主轴发展的一种趋势。图 1-8 所示为结构示意图以及冷却油的流经路

线。

四、主轴部件

主轴部件是机床的一个关键部件, 它包括主轴的支承、安装在主轴上的传动零件等。主轴部件质量的好坏直接影响加工质量。无论哪种机床的主轴部件都应能满足 4 个方面的要求, 即主轴的回转精度, 部件的结构刚度和抗振性, 运转温度和热稳定性, 部件的耐磨性和精度保持能力等。对于数控机床, 尤其是自动换刀数控机床, 为了实现刀具在主轴上的自动装卸与夹持, 还必须有刀具的自动夹紧装置、主轴准停装置和主轴孔的清理装置等结构。

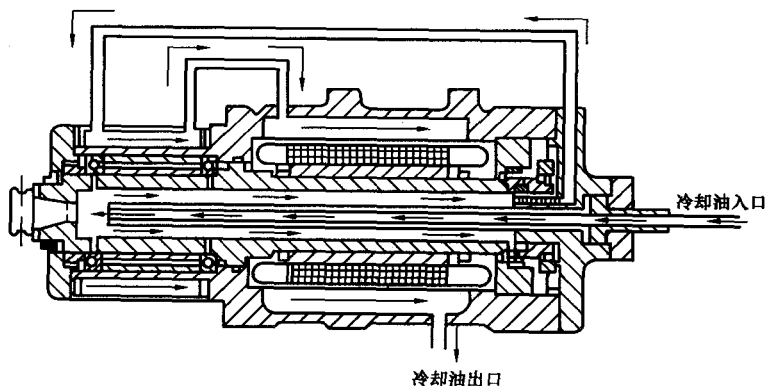


图 1-8 电动机内装式主轴冷却方式

1. 主轴端部的结构形状

主轴端部用于安装刀具或夹持工件的夹具, 在设计要求上, 应能保证定位准确、安装可靠、连接牢固、装卸方便, 并能传递足够的扭矩。主轴端部的结构形状都已标准化, 图 1-9 所示为普通机床和数控机床所通用的几种结构形式。

图 1-9 (a) 为车床主轴端部。卡盘靠前端的短圆锥面和凸缘端面定位, 用拨销传递扭矩。卡盘装有固定螺栓, 当装于主轴端部时, 螺栓从凸缘上的孔中穿过, 转动快卸卡板将数个螺栓同时拴住, 再拧紧螺母将卡盘固牢在主轴端部。主轴为空心, 前端有莫氏锥度孔, 用以安装顶尖或心轴。

图 1-9 (b) 为铣、镗类机床的主轴端部。铣刀或刀杆在前端 $7:24$ 的锥孔内定位, 并用拉杆从主轴后端拉紧, 而且由前端的端面键传递扭矩。

图 1-9 (c) 为外圆磨床砂轮主轴的端部。图 1-9 (d) 为内圆磨床砂轮主轴端部。图 1-9 (e) 为钻床与普通镗杆端部, 刀杆或刀具由模氏锥孔定位, 用锥孔后端第一扁孔传递扭矩, 第二个扁

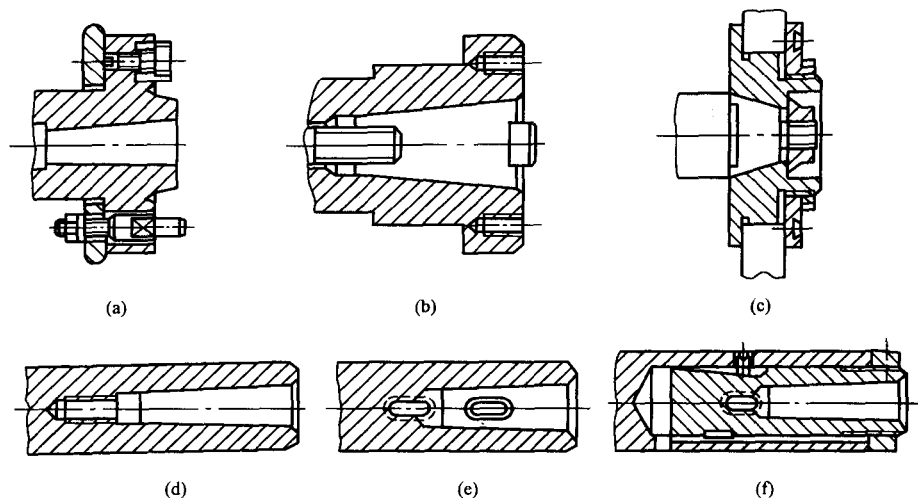


图 1-9 机床主轴端部的结构形状

(a) 车床; (b) 铣、镗床; (c) 外圆磨床; (d) 内圆磨床;
(e) 钻床与普通镗杆; (f) 数控镗床

孔用以拆卸刀具。但在数控镗床上要使用 1-9 (f) 图的型式, 图为 $7:24$ 的锥孔, 没有自锁作用, 有利于自动换刀时拔出刀具。

2. 主轴部件的支承

机床主轴带着刀具或夹具在支承中作回转运动, 应能传递切削扭矩、承受切削抗力, 并保证必要的旋转精度。机床主轴多采用滚动轴承作为支承, 对于精度要求高的主轴则采用动压或静压滑动轴承作为支承。下面着重介绍主轴部件所用的滚动轴承。

(1) 主轴部件常用滚动轴承的类型。图 1-10 所示为主轴常用的几种滚动轴承。

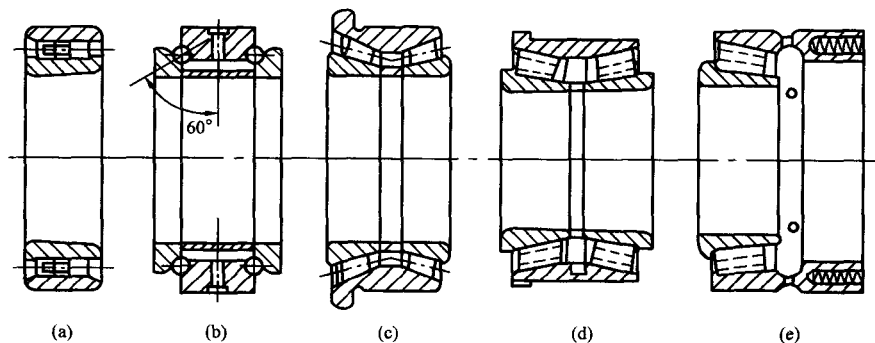


图 1-10 主轴常用滚动轴承

(a) 锥孔双列圆柱滚子轴承; (b) 双列推力向心球轴承; (c) 双列圆锥滚子轴承;
(d) 带凸肩的双列圆锥滚子轴承; (e) 带预紧弹簧的单列圆锥滚子轴承

图 1-10 (a) 为锥孔双列圆柱滚子轴承。内圈为 $1:12$ 的锥孔, 当内圈沿锥形轴颈轴向移动时, 内圈胀大以调整滚道的间隙。滚子数目多, 两列滚子交错排列, 因而承载能力大、刚性好、允许转速高。它的内、外圈均较薄, 因此, 要求主轴颈与箱体孔均有较高的制造精度, 以免轴颈与箱体孔的形状误差使轴承滚道发生畸变而影响主轴的旋转精度。该轴承只能承受径向载荷。

图 1-10 (b) 是双列推力向心球轴承。接触角为 60° ，球径小，数目多，能承受双向轴向载荷。磨薄中间隔套，可以调整间隙或预紧，轴向刚度较高，允许转速高。该轴承一般与双列圆柱滚子轴承配套用作主轴的前支承，并将其外圈外径做成负公差，保证只承受轴向载荷。

图 1-10 (c) 是双列圆锥滚子轴承。它有一个公用外圈和两个内圈，由外圈的凸肩在箱体上进行轴向定位，箱体孔可以镗成通孔。磨薄中间隔套可以调整间隙或预紧，两列滚子的数目相差一个，能使振动频率不一致，明显改善轴承的动态性。这种轴承能同时承受径向和轴向载荷，通常用作主轴的前支承。

图 1-10 (d) 为带凸肩的双列圆柱滚子轴承。结构上与图 1-10 (c) 相似，可用作主轴前支承。滚子做成空心的，保持架为整体结构，充满滚子之间的间隙，润滑油由空心滚子端面流向挡边摩擦处，可有效地进行润滑和冷却。空心滚子承受冲击载荷时可产生微小变形，能增大接触面积，并有吸振和缓冲作用。

图 1-10 (e) 为带预紧弹簧的单列圆锥滚子轴承。弹簧数目为 16~20 根，均匀增减弹簧可以改变预加载荷的大小。

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

3. 主轴滚动轴承的配置

实际应用中，常见的数控机床主轴轴承配置有三种形式，如图 1-11 所示。

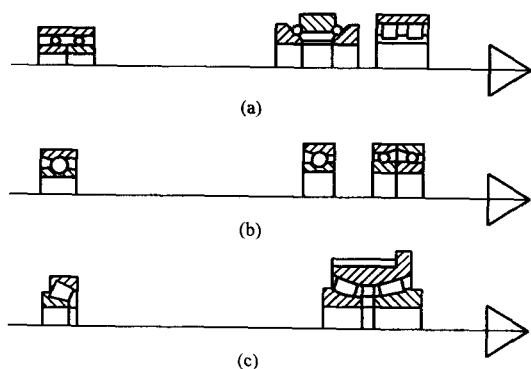


图 1-11 数控机床主轴轴承配置形式

(a) 前支承采用双列短圆柱滚子轴承和 60° 角接触双列向心推力球轴承组合，后支承采用成对向心推力球轴承；(b) 前轴承采用高精度双列向心推力球轴承；(c) 双列和单列圆锥滚子轴承 2 个轴承相组配。

图 1-11 (a) 所示的配置形式能使主轴获得较大的径向和轴向刚度，可以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、加工中心等。这种配置的后支承也可用圆柱滚子轴承，以进一步提高后支承径向刚度。

图 1-11 (b) 所示的配置没有图 1-11 (a) 所示的主轴刚度大，但这种配置提高了主轴的转速，适合主轴要求在较高转速下工作的数控机床。目前这种配置形式在立式、卧式加工中心机床上得到广泛应用，满足了这类机床转速范围大、最高转速高的要求。为提高这种形式配置的主轴刚度，前支承可以用 4 个或更多个的轴承相组配，后支承用

图 1-11 (c) 所示的配置形式能使主轴承受较重载荷（尤其是承受较强的动载荷），径向和轴向刚度，安装和调整性好。但这种配置相对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。

为提高主轴组件刚度，数控机床还常采用三支承主轴组件。尤其是前后轴承间跨距较大的数控机床，采用辅助支承可以有效地减少主轴弯曲变形。三支承主轴结构中，一个支承为辅助支承，辅助支承可以选为中间支承，也可以选为后支承。辅助支承在径向要保留必要的游隙，以避免由于主轴安装轴承处轴径和箱体安装轴承处孔的制造误差（主要是同轴度误差）造成的干涉。辅助支承常采用深沟球轴承。