

毕 业 论 文

题 目 数控车床主轴系统应用及维修

专 业 数控加工与维护工程

班 级

学 生

指导教师

西安工业大学函授部

二 0 0 九 年

摘 要

目前国内外数控车床的现状、发展动态和发展方向及其在现代工业中的重要作用，根据设计的实际需要，对车床主轴箱开展研究，就用于实际工程的有关理论和实现原理进行了阐述，并进行了主轴箱及液压卡盘的三维设计以及优化设计。研究过程主要分为静力分析和优化设计两个阶段，分析，得到主轴箱的静态应力和应变，并对主轴箱体和主轴的结构进行了优化设计。、数控机床的主轴控制系统，它是利用数字化的信息对机床运动及工作过程进行控制的一种方法。这种方法主用于组合机床以及生产线上的专用机床用数控技术实施加工控制的机床，或者说装备了数控系统的机床称为数控(NC)机床。要实现对机床的控制，需要用几何信息描述刀具和工件间的相对运动以及用工艺信息来描述机床加工必须具备的一些工艺参数。

目前，在机械加工企业中，有许多旧式普通机床，为了机床适应小批量、多品种、复杂零件的加工，充分利用普通机床，就需要对普通机床进行机电一体化改造。通常改造法有几种：一种方法是以微机作为控制元件(主要是单片机)，通过对机床的进给系统进行改造，采用步进电动机开控制系统；第二种方法是以可编程控制器(简称 PLC)作为控元件，替代机床继电器接触器组成的电气控制部分，是为了提高机床电气控制系统的可靠性，这种方法主用于组合机床以及生产线上的专用机床；第三种方法采用的数控设备来控制机床的伺服进给系统，其伺服进给为步进电机开环控制系统。这几种控制方法各有特点：机构成的控制系统不但能控制机床的运动轨迹，也可以机床的机械结构，但是其接口设计复杂，可靠性低，而 PLC成的控制系统接口简单，可靠性高，但不能控制机床的轨迹，对机床的机械结构部分没有改变。虽然采用专用的设备不但能简化机床的机械结构，而且能控制机床的运轨迹，但专用数控设备价格高，不适应经济性数控机床。

近几年随着微电子技术、计算机技术、集成技术以及自动控制技术的发展，PLC的功能越来越强大，功能模块越来越多，可以在小型机上实现大型机的功能。

关键字：主轴控制 主轴 数控车床 主轴维修

目 录

第一章 数控机床的分类	3
1.1 按加工工艺方法分类	8
1.2 按控制运动轨迹分类	8
1.3 按控制方式分类	4
第二章 主传动系统	6
2.1 主传动系统	6
2.2 数控机床交流主轴驱动系统	7
第三章 主轴部件的故障诊断与维修	11
3.1 主轴部件	11
3.2 主传动系统的常见故障及排除方法	13
3.3 主传动系统维修	14
结束语	17
致谢	18
参考文献	19

第一章 数控机床的分类

1.1 按加工工艺方法分类

1.1.1 金属切削类数控机床

与传统的车、铣、钻、磨、齿轮加工相对应的数控机床有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控齿轮加工机床等。尽管这些数控机床在加工工艺方法上存在很大差别，具体的控制方式也各不相同，但机床的动作和运动都是数字化控制的，具有较高的生产率和自动化程度。在普通数控机床加装一个刀库和换刀装置就成为数控加工中心机床。加工中心机床进一步提高了普通数控机床的自动化程度和生产效率。例如铣、镗、钻加工中心，它是在数控铣床基础上增加了一个容量较大的刀库和自动换刀装置形成的，工件一次装夹后，可以对箱体零件的四面甚至五面大部分加工工序进行铣、镗、钻、扩、铰以及攻螺纹等多工序加工，特别适合箱体类零件的加工。加工中心机床可以有效地避免由于工件多次安装造成的定位误差，减少了机床的台数和占地面积，缩短了辅助时间，大大提高了生产效率和加工质量。

1.1.2 特种加工类数控机床

除了切削加工数控机床以外，数控技术也大量用于数控电火花线切割机床、数控电火花成型机床、数控等离子弧切割机床、数控火焰切割机床以及数控激光加工机床等。

1.1.3 板材加工类数控机床

常见的应用于金属板材加工的数控机床有数控压力机、数控剪板机和数控折弯机等。近年来，其它机械设备中也大量采用了数控技术，如数控多坐标测量机、自动绘图机及工业机器人等。

1.2 按控制运动轨迹分类

1.2.1 点位控制数控机床

位置的精确定位，在移动和定位过程中不进行任何加工。机床数控系统只控制行程终点的坐标值，不控制点与点之间的运动轨迹，因此几个坐标轴之间的运动无任何联系。可以几个坐标同时向目标点运动，也可以各个坐标单独依次运动。这类数控机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控点焊机等。点位控制数控机床的数控装置称为点位数控装置。

1.2.2 直线控制数控机床

直线控制数控机床可控制刀具或工作台以适当的进给速度，沿着平行于坐标轴的方向进行直线移动和切削加工，进给速度根据切削条件可在一定范围内变化。直线控制的简易数控车床，

只有两个坐标轴，可加工阶梯轴。直线控制的数控铣床，有三个坐标轴，可用于平面的铣削加工。现代组合机床采用数控进给伺服系统，驱动动力头带有多轴箱的轴向进给进行钻镗加工，它也可算是一种直线控制数控机床。数控镗铣床、加工中心等机床，它的各个坐标方向的进给运动的速度能在一定范围内进行调整，兼有点位和直线控制加工的功能，这类机床应该称为点位/直线控制的数控机床。

1.2.3 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床能够对两个或两个以上运动的位移及速度进行连续相关的控制，使合成的平面或空间的运动轨迹能满足零件轮廓的要求。它不仅能控制机床移动部件的起点与终点坐标，而且能控制整个加工轮廓每一点的速度和位移，将工件加工成要求的轮廓形状。

常用的数控车床、数控铣床、数控磨床就是典型的轮廓控制数控机床。数控火焰切割机、电火花加工机床以及数控绘图机等也采用了轮廓控制系统。轮廓控制系统的结构要比点位/直线控系统更为复杂，在加工过程中需要不断进行插补运算，然后进行相应的速度与位移控制。

现在计算机数控装置的控制功能均由软件实现，增加轮廓控制功能不会带来成本的增加。因此，除少数专用控制系统外，现代计算机数控装置都具有轮廓控制功能。

1.3 按控制方式分类

1.3.1 开环控制数控机

这类控制的数控机床是其控制系统没有位置检测元件，伺服驱动部件通常为反应式步进电动机或混合式伺服步进电动机。数控系统每发出一个进给指令，经驱动电路功率放大后，驱动步进电机旋转一个角度，再经过齿轮减速装置带动丝杠旋转，通过丝杠螺母机构转换为移动部件的直线位移。移动部件的移动速度与位移量是由输入脉冲的频率与脉冲数所决定的。此类数控机床的信息流是单向的，即进给脉冲发出去后，实际移动值不再反馈回来，所以称为开环控制数控机床。开环控制系统的数控机床结构简单，成本较低。但是，系统对移动部件的实际位移量不进行监测，也不能进行误差校正。因此，步进电动机的失步、步距角误差、齿轮与丝杠等传动误差都将影响被加工零件的精度。开环控制系统仅适用于加工精度要求不很高的中小型数控机床，特别是简易经济型数控机床。

1.3.2 闭环控制数控机床

接对工作台的实际位移进行检测，将测量的实际位移值反馈到数控装置中，与输入的指令位移值进行比较，用差值对机床进行控制，使移动部件按照实际需要的位移量运动，最终实现移动部件的精确运动和定位。从理论上讲，闭环系统的运动精度主要取决于检测装置的检测精度，也

与传动链的误差无关，因此其控制精度高。图 1-3 所示的为闭环控制数控机床的系统框图。图中 A 为速度传感器、C 为直线位移传感器。当位移指令值发送到位置比较电路时，若工作台没有移动，则没有反馈量，指令值使得伺服电动机转动，通过 A 将速度反馈信号送到速度控制电路，通过 C 将工作台实际位移量反馈回去，在位置比较电路中与位移指令值相比较，用比较后得到的差值进行位置控制，直至差值为零时为止。这类控制的数控机床，因把机床工作台纳入了控制环节，故称为闭环控制数控机床。闭环控制数控机床的定位精度高，但调试和维修都较困难，系统复杂，成本高。

1.3.3 半闭环控制数控机床

半闭环控制数控机床是在伺服电动机的轴或数控机床的传动丝杠上装有角位移检测装置（如光电编码器等），通过检测丝杠的转角间接地检测移动部件的实际位移，然后反馈到数控装置中去，并对误差进行修正。通过测速元件 A 和光电编码盘 B 可间接检测出伺服电动机的转速，从而推算出工作台的实际位移量，将此值与指令值进行比较，用差值来实现控制。由于工作台没有包括在控制回路中，因而称为半闭环控制数控机床。半闭环控制数控系统的调试比较方便，并且具有很好的稳定性。目前大多将角度检测装置和伺服电动机设计成一体，这样，使结构更加紧凑。

1.3.4 混合控制数控机床

将以上三类数控机床的特点结合起来，就形成了混合控制数控机床。混合控制数控机床特别适用于大型或重型数控机床，因为大型或重型数控机床需要较高的进给速度与相当高的精度，其传动链惯量与力矩大，如果只采用全闭环控制，机床传动链和工作台全部置于控制闭环中，闭环调试比较复杂。混合控制系统又分为两种形式：

1.3.4.1 开环补偿型

它的基本控制选用步进电动机的开环伺服机构，另外附加一个校正电路。用装在工作台的直线位移测量元件的反馈信号校正机械系统的误差。

1.3.4.2 半闭环补偿型

它是用半闭环控制方式取得高精度控制，再用装在工作台上的直线位移测量元件实现全闭环修正，以获得高速度与高精度的统一。其中 A 是速度测量元件（如测速发电机），B 是角度测量元件，C 是直线位移测量元件。

第二章 主传动系统

2.1 主传动系统

由于数控机床的主轴驱动广泛采用交、直流主轴电动机，这就使得主传动的功率和调速范围较普通机床大为增加。同时为了进一步满足对主传动调速和转矩输出的要求，在数控机床上常采用机电结合的方法，即同时采用电动机调速和机械齿轮变速这两种方法。

用来实现机床主运动的，它将主电动机的原动力变成可供主轴上刀具切削加工的切削力矩和切削速度。为适应各种不同的加工及各种不同的加工方法，数控机床的主传动系统应具有较大的调速范围，以保证加工时能选用合理的切削用量，同时主传动系统还需要有较高精度及刚度并尽可能降低噪声，从而获得最佳的生产率、加工精度和表面质量。

2.1.1 电动机与主轴直联的主传动

其优点是结构紧凑，但主轴转速的变化及转矩的输出和电动机的输出特性致，因而使用上受到一定限制。

2.1.2 经过一级变速的主传动

一级变速目前多用 V 带或同步带来完成，其优点是结构简单安装调试方便，且在一定程度上能够满足转速与转矩输出要求，但主轴调速范围比仍与电动机一样，受电动机调速范围比的约束。

2.1.3 带有变速齿轮的主传动

这种配置方式大、中型数控机床采用较多。它通过少数几对齿轮降速，使之成为分段无极变速，确保低速大转矩，以满足主轴输出转矩特性的要求，如图 8-3 所示。

2.1.4 电主轴系统

由内装式电主轴单元、驱动控制器、编码器、通讯电缆、直流母线制动器组合成的，用以将电网电能变为电主轴单元的机械能，同时实现电主轴准停。准速、准位的系统称之为电主轴系统。

大型数控铣(含并联机构数控铣)、小型数控车(无轴定位)电主轴单元+开环式驱动控制器+直流母线能耗制动器。

电主轴系统品质的优劣是大型数控铣、加工中心、数控车品质优劣的关键之一。对闭环式配置的电主轴系统而言尤为重要。目前我国已能自行开发设计各类高速电主轴。但闭环式驱动控制器及高水平的编码器尚不过关。选用优质的进口编码器和驱动控制器来匹配我国自行开发的电主轴单元，从而组成电主轴系统，以供应国内数控机床之急需，从而降低主机成本，提高主机的市场竞争力是一条可行之路。2003 年，洛阳轴研科技股份有限公司分别与德国博世-力士乐公司、

德国 AMK 公司驻中国办事处取得联系，并成功地实现了 Refu(力士乐)电源+Sumtak 编码器+ZYS 10,000r/min 电主轴单元的联配。为大面积推广中西结合的电主轴系统创出了一条路。2003 年 7 月洛阳轴研科技股份有限公司与德国博世-力士乐(中国有限公司)电子传动与控制事业部达成联合开发 Indramat-ZYS 电主轴系统品牌的协议。在协议的推动下首轮 Indramat-ZYS 数控机床用电主轴系统型谱已问世。由于国产电主轴单元同类型产品价格远低于进口电主轴，故 Indramat-ZYS 电主轴系统价格也远比进口系统低得多，从而为国产数控机床的发展提供了新的选择。

2.2 一种高性能数控机床交流主轴驱动系统

该系统以智能功率模块 IPM 为逆变器开关元件，以 MCS96 系列双单片机为主控制器，控制算法采用全数字转差频率式矢量控制。主控制器采用双 CPU 结构，一片 CPU 完成速度外环控制、监控及显示等；另一片 CPU 用于电机高速控制，80C196MC 完成电流内环控制。两片 CPU 之间通过共享 RAM 进行通讯，有效地解决了一般 CPU 计算能力不强的问题。主回路采用由智能功率模块 IPM 组成的电压型交直交逆变器。该系统还具有功能齐全的检测与保护电路等。

实验表明该系统具有良好的静态和动态性能，能够满足数控机床对驱动系统的上述要求。

2.2.1 主回路

主回路采用交直交电压型结构，主要由整流电路、滤波器及逆变电路等组成。逆变电路采用新型功率器件—智能功率模块(Intelligent Power Module，简称 IPM)。智能功率模块 IPM 是一种先进的混合集成智能功率模块，它由高速、低耗的 IGBT 芯片和优化的门极驱动及过流、短路、欠压和过热保护电路组成，是继 IGBT 之后电力电子技术领域的又一革新性成果。由于 IPM 内部采用了能连续监测功率器件电流的 IGBT 芯片，实现了高效的过流保护和短路保护；IPM 内部还集成了过热和欠压保护电路，大大提高了系统可靠性；IPM 内部还集成了绝缘栅双极型晶体管 IGBT 及其驱动电路，缩短了产品开发周期；IPM 通态损耗和开关损耗都较低，减少了散热片尺寸，降低了成本。所以，与 IGBT 相比，智能功率模块 IPM 具有明显的优势。

2.2.2 控制电路

为了实现数控机床的快速实时和可靠控制，控制电路采用 80C196MC-80C196K 单片机结构。

80C196MC CPU 具有较高的运算速度和较强的控制能力，它的任务是完成要求实时性高的电流内环控制，产生 PWM 控制信号，完成保护等功能。特别是 80C196MC 片内含有 3 相波形发生器 WFG(Waveform Generator)。WFG 具有 3 个同步的 PWM 模块，每个模块包含一个相位比较寄存器，一个无信号时间(dead-time) 发生器和一对可编程的输出。WFG 可以产生独立的 3 对 PWM 波形，它们具有共同的载波频率、无信号时间和操作方式，一旦启动之后，WFG 只要求 CPU 在改变 PWM 的

占空比时加以干预。如采用 16MHz 晶振时，中心对准的 PWM 的载波周期为 $0.15\mu s \sim 16ms$ ，增量为 $0.25\mu s$ ，无信号时间的调整范围为 $0.125 \sim 125\mu s$ 。无信号时间用来防止一对互补的 PWM 同时有效，以保证输出波形不交叠。WFG 大大简化了用于产生同步脉宽调制(PWM)波形的控制软件和外设硬件，特别适用于控制 3 相交流感应电动机，也可用于控制直流无刷电动机和其它需要多个 PWM 输出的装置。WFG 是 80C196MC/MK 有的特色之一。80C196KC 主要完成转速控制与检测，键盘中断输入并修改重要参数，显示有关信息，矢量变换，向 80C196MC 提供指令信号等功能。双单片机之间的通讯采用共享 RAM 方式，以提高系统的运行速度。80C196KC 将计算出的电流环所需参数，如励磁电流、转矩电流、旋转角速度等，传送到共享 RAM 相应单元，而 80C196MC 则从共享 RAM 中读取这些数据。

2.2.3 检测与保护电路

1) 电流检测

由于数控机床要求较宽的调速范围，因此，输出电流的频率变化范围较大，一般的电流互感器不能满足要求，故采用霍尔电流互感器对输出电流进行检测。霍尔电流互感器的特点是体积小，响应速度快，准确度和线性度高。

2) 转速采样

由于数控机床要求转速控制精度较高，一般的测速部件难以满足要求，为此采用 1024 高分辨率的光电脉冲编码器，以实现高速定位、高速攻丝、轮廓控制等功能。

3) 保护功能

智能功率模块 IPM 具有性能优良的内置保护电路，以避免因系统失灵或过应力而使功率器件损坏。

如果 IPM 模块的一种保护电路动作，IGBT 栅驱动单元就会关断驱动脉冲，并输出一个故障信号。IPM 模块的内部保护功能有以下几种。

(1) 控制电源电压锁定(UV) IPM 内部控制电路由 15V 直流电  源供电，如果由于某种原因这一电源电压低于规定的欠压动作值(UV)，该功率器件将被关断并输出一个故障信号；只有当电源电压超过欠压复位值(UVr)时电路才能恢复正常工作。如果干扰信号持续时间小于规定的 tDUV，欠压保护电路将不予理睬，控制电路正常工作，这样可以有效地避免干扰信号对电路正常工作的影响。在 UV 和 UVr 之间应设有一定的差值，这样可以避免欠压保护电路频繁切换，保证电路的正常运行。

(2) (OT)IPM 内部装有温度传感器，用于检测功率器件的工作温度。如果传感器检测到基板温度超出过热动作值(OT)，IPM 内部控制电路将截止下桥臂器件的栅驱动，使控制输入信号无效，同时给出下桥臂故障信号，直到温度恢复正常，从而保护了功率器件。当温度回落到过热复位值(OTr)以下，并且控制输入为高电平(关断状态)时，功率器件将接受下一个低电平(开通状态)输入信号且恢复正常工作。同样，为避免过热保护频繁动作，在过热动作值 OT 与过热复位值 OTr 之间也设有 20℃的差值。

(3) 过流保护(OC)IPM 采用带电流传感器的 IGBT，用来测量功率器件的工作电流，如果流过 IGBT 的电流超出过流动作值(OC)的时间大于 $t_{off}(OC)$ ，IGBT 将被关断。对超过 OC 数值但时间小于 $t_{off}(OC)$ 的电流脉冲，过流保护电路将不予理睬。当检测出过电流时，IPM 内部控制电路将 IGBT 软关断，同时输出一个故障信号。软关断能够控制关断大电流时所产生的浪涌电压，从而避免浪涌电压过高，有效地保障了 IPM 的安全。

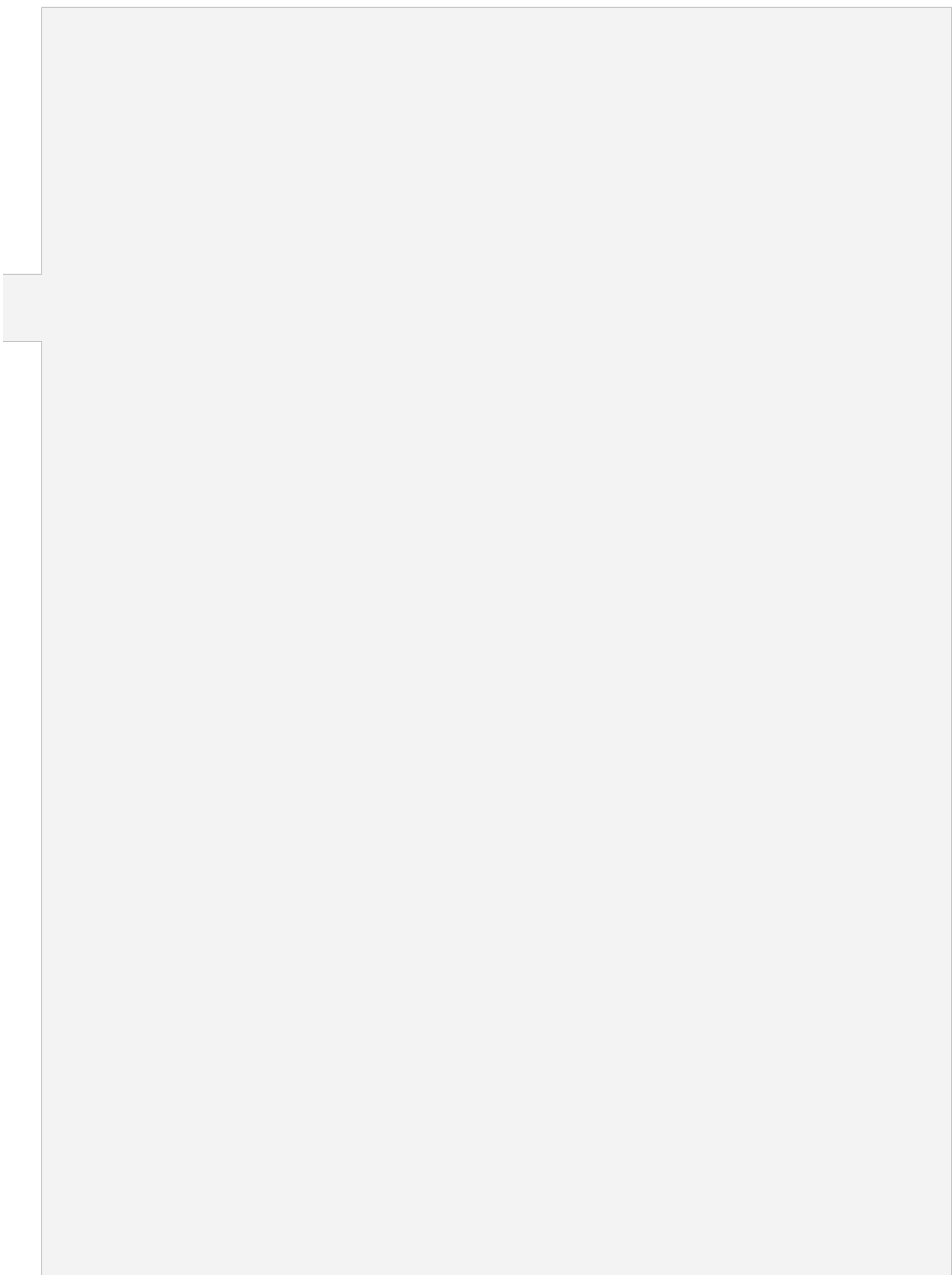
(4) 短路保护(SC)如果负载发生短路或系统控制器发生故障，从而导致上下桥臂直接导通，使流经 IGBT 的电流超过短路保护动作值(SC)，IPM 内置短路保护电路将启动软关断，关断 IGBT，并输出一个故障信号。由于第三代 IPM 采用了实时电流控制电路(RTC)，它直接监测 IGBT 末级驱动电路电流，将 SC 检测和关断之间的响应时间减小到不足 μs ，从而大大减小了短路电流幅值、功率应力和电压峰值，有效地保障了 IPM 的安全。

为了保证系统安全可靠地运行，除了 IPM 的自保护功能之外，系统中还设有过流、短路、交流/直流过压、欠压、缺相和快熔保护等各项保护措施。

控制算法

针对数控机床高精度要求，控制算法采用转差频率式矢量控制。矢量控制是把交流电动机模拟直流电动机来控制，通过坐标变换把交流电动机定子电流矢量分解成按转子磁场定向的两个直流分量，并对这两个分量进行控制，从而获得与直流电动机相同的调速性能。

在转差频率式矢量控制算法中，要用到电动机参数，如果给定参数与实际值不符，转矩或转子磁通就不等于它们的指令值。在这里转子时间常数的误差至关重要，它直接影响矢量控制的动态特性，因此需要对转子时间常数进行适当补偿。在负载一定的情况下，电动机运行于最佳状态，则认为实现了准磁场定向控制。采用的方法是选取电动机实际旋转角速度与给定角速度之间的误差绝对值作为目标函数，进行转子时间常数的自寻优。即当电流稳定运行时，选取适当的转子时间常数使这个误差绝对值最小。设转速环每 1ms 采样一次，并把每 163 次采样点作为一组数据，这样 163 次采样大约需要 4s 的时间。每次时间常数自寻优以后，让电动机运转 4s，然后继



主轴及主轴部件的故障诊断与维修

数控机床主轴部件是影响机床加工精度的主要部件，要求主轴部件具有与本机床工作性能相适应的高回转精度、刚度、抗振性、耐磨性、和低的温升，其结构必须很好的解决刀具和工具的装夹、轴承的配置、轴承间隙调整和润滑密封等问题。

数控机床的主轴部件主要有以下几个部分：主轴本体及密封装置、支承主轴的轴承、配置在主轴内部的刀具卡进及吹屑装置、主轴的准停装置等。

主轴的结构根据数控机床的规格、精度采用不同的主轴轴承。一般中小规格的数控机床的主轴部件多采用成组的高精度滚动轴承；重型数控机床采用液体静压轴承；高精度数控机床采用气体静压轴承；转速达 20000r/min 的主轴采用磁力轴承或氮化硅材料的陶瓷滚珠轴承。

3.1.1 主轴润滑

为了保证主轴有良好的润滑，减少摩擦发热，同时又能把主轴组件的热量带走，通常采用循环式润滑系统。用液压泵供油强力润滑，在油箱中使用油温控制器控制油液温度。现在许多数控机床的主轴采用高级锂基润滑脂封闭方式润滑，每加一次油脂可以使用 7~10 年，简化了结构，降低了成本且维护保养简单，但是需要防止润滑油和油脂混合，通常采用迷宫式密封方式。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。这些新的润滑冷却方式不单要减少轴承温升，还要减少轴承内外圈的温差，以保证主轴热变形小。

①油气润滑方式。 这种润滑方式近似于油雾润滑方式，所不同的是，油气润滑是定时定量的把油雾送进轴承空隙中，这样既实现了油雾润滑，又不至于油雾太多而污染周围空气；后者则是连续供给油雾

②喷注润滑方式。 它用较大流量的恒温油（每个轴承 3~4L/min）喷注到主轴轴承，以达到润滑冷却的目的。需要特别指出的是，较大流量的油，不是自然回流，而是用排油泵强制排油，同时，采用专用高精度大容量恒温油箱，油温变动控制在 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

3.1.2 防泄漏

在密封件中，被密封的介质往往是以穿漏、渗透或扩散的形式越界泄漏到密封连接处的彼侧。造成泄漏的基本原因是流体从密封面上的间隙中溢出。或是由于密封部件内外两侧密封介质的压力差或浓度差，致使流体向压力或浓度低的一侧流动。加工中心主轴前支承的密封结构。卧式加工中心主轴前支承处采用的双层小间隙密封装置。主轴前端车出两组锯齿形护油槽，在法兰盘 4 和 5 上开沟槽及泄漏孔，当喷入轴承 2 内的油液流出后被法兰盘 4 内壁挡住，并经过其下部

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/756211002133010142>