

Application of PLC mechatronics integration technology in CNC machine tools

Zhongyang Liu¹ Yuqing Li^{2*}

1. Zhengzhou National Defense Science and Technology School, Zhengzhou, Henan, 450042, China

2. Henan University of Science and Technology, Xinxiang, Henan, 453003, China

Abstract

This article explores in depth the application of PLC (Programmable Logic Controller) mechatronics technology in CNC machine tools. Firstly, the basic concepts and characteristics of PLC and CNC machine tools are introduced, and the specific application methods and advantages of PLC in coordinate axis control, spindle control, auxiliary function control, and other aspects of CNC machine tools are elaborated. The communication and collaborative working mechanism between PLC and other systems of CNC machine tools are analyzed, and the key points and methods of PLC programming in CNC machine tool control are explored. Finally, the development trend of PLC mechatronics integration technology in CNC machine tool applications is forecasted, aiming to provide comprehensive and in-depth reference materials for technical research, engineering applications, and teaching and training in related fields.

Keywords

PLC; Mechatronics integration; numerical control machine; Coordinate axis control; Programming Applications

PLC 机电一体化技术在数控机床中的应用

刘中阳¹ 李玉青^{2*}

1. 郑州市国防科技学校, 中国 · 河南 郑州 450042

2. 河南科技学院, 中国 · 河南 新乡 453003

摘 要

文章深入探讨PLC（可编程逻辑控制器）机电一体化技术在数控机床中的应用。首先介绍PLC与数控机床的基本概念与特点，阐述了PLC在数控机床中对坐标轴控制、主轴控制、辅助功能控制等方面的具体应用方式及优势，分析PLC与数控机床其他系统的通信与协同工作机制，探讨PLC编程在数控机床控制中的要点与方法，最后对PLC机电一体化技术在数控机床应用中的发展趋势进行了展望，旨在为相关领域的技术研究、工程应用以及教学培训提供全面且深入的参考资料。

关键词

PLC; 机电一体化; 数控机床; 坐标轴控制; 编程应用

1 引言

随着制造业的不断发展，数控机床在机械加工领域的地位日益凸显。它具有高精度、高效率、高自动化程度等优点，能够满足复杂零件的加工需求。而 PLC 作为一种重要的工业控制装置，在数控机床的控制中发挥着关键作用。PLC 机电一体化技术将电气控制与机械运动有机结合，实现了数控机床的智能化、柔性化控制，极大地提高了数控机床的性能与可靠性，推动了现代制造业的进步。

2 PLC 与数控机床概述

2.1 PLC 的基本原理与特点

PLC 采用可编程的存储器，在其内部存储执行逻辑运

算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令，通过数字式或模拟式的输入输出来控制各种类型的机械设备或生产过程。其具有可靠性高、编程简单易学、灵活性强、抗干扰能力强等特点。PLC 以循环扫描的工作方式，不断读取输入信号，执行用户程序，并刷新输出信号，从而实现对设备的实时控制^[1]。

2.2 数控机床的结构与功能

数控机床主要由机床本体、数控系统、驱动系统和辅助装置等部分组成。机床本体是数控机床的机械结构部分，包括床身、工作台、主轴箱等部件，为加工提供基础支撑与运动平台。数控系统是数控机床的核心，负责处理加工程序，生成运动控制指令。驱动系统则将数控系统的指令转化为机床各坐标轴及主轴的运动动力，实现精确的位置控制与速度控制。辅助装置如冷却系统、润滑系统、排屑系统等，保障了机床的正常运行与加工环境的稳定。

【作者简介】刘中阳（1980-），男，中国河南太康人，本科，讲师，从事机械设计制造及其自动化研究。

3 PLC 在数控机床中的应用

3.1 坐标轴控制

3.1.1 点位控制

在数控机床的点位控制应用中,例如钻床、镗床等加工设备,PLC 负责控制刀具快速定位到指定的坐标位置。通过接收数控系统发出的目标位置信号,PLC 驱动坐标轴电机,采用合适的定位算法,如脉冲计数法或位置检测反馈法,确保刀具能够准确地到达加工起始点或孔位等目标点。并且,PLC 还能在定位完成后,向数控系统反馈定位完成信号,以便进行下一步的加工操作。

3.1.2 直线插补与圆弧插补控制

对于需要进行轮廓加工的数控机床,如铣床、加工中心等,PLC 参与直线插补和圆弧插补运算。它根据数控系统提供的插补参数,如起点坐标、终点坐标、圆心坐标等信息,计算出各坐标轴在每个插补周期内的运动增量。然后,通过控制坐标轴电机的转速与转向,使刀具沿着预定的直线或圆弧轨迹运动,实现对复杂零件轮廓的精确加工。在插补过程中,PLC 还需实时监测坐标轴的位置反馈信号,进行误差补偿与修正,以保证加工精度。

3.2 主轴控制

3.2.1 主轴转速控制

PLC 与主轴驱动装置相连接,根据数控系统设定的主轴转速指令,控制主轴电机的转速。它可以通过调节变频器的输出频率或改变直流电机的电枢电压等方式,实现主轴转速的无级调速。在加工过程中,当遇到不同的加工工艺要求,如粗加工时采用较低转速以保证较大的切削力,精加工时提高转速以获得较好的表面光洁度,PLC 能够及时响应并调整主轴转速,满足加工需求。

3.2.2 主轴定向控制

在一些加工工序中,如镗孔、攻丝等,需要主轴精确地停止在某一固定角度位置,即主轴定向。PLC 接收数控系统的主轴定向指令后,控制主轴电机的制动装置和位置检测装置,使主轴准确地定位到指定角度。例如,通过检测主轴编码器的脉冲信号,确定主轴的当前位置,然后采用闭环控制算法,调整主轴电机的转矩与转角,实现主轴的高精度定向,为后续的加工操作提供准确的起始位置。

3.3 辅助功能控制

3.3.1 冷却与润滑控制

数控机床的冷却系统和润滑系统对于保证加工质量和机床寿命至关重要。PLC 根据加工过程中的温度、压力等传感器信号以及数控系统的控制指令,自动控制冷却泵和润滑泵的启停。例如,当加工过程中切削温度升高到一定程度时,PLC 启动冷却泵,向加工区域提供冷却液进行降温;在机床启动前或运行过程中定期启动润滑泵,为导轨、丝杠等运动部件提供润滑,减少磨损与摩擦^[2]。

3.3.2 刀具交换与管理

在加工中心等具有自动换刀功能的数控机床中,PLC 负责刀具交换的控制。它与刀库驱动装置、机械手等部件协同工作,实现刀具的快速准确交换。当数控系统发出换刀指令时,PLC 首先控制刀库旋转,将目标刀具转到换刀位置,然后驱动机械手完成拔刀、换刀、插刀等一系列动作。同时,PLC 还对刀具的使用情况进行管理,记录刀具的编号、使用次数、剩余寿命等信息,以便及时更换磨损刀具,保证加工精度与效率。

3.3.3 工作台交换控制

对于一些大型或柔性制造系统中的数控机床,可能配备有工作台交换装置。PLC 控制工作台交换的整个过程,包括工作台的松开、移出、交换、移入和夹紧等动作。通过与工作台驱动电机、夹紧装置等的联动控制,实现不同工作台之间的快速切换,提高机床的利用率与生产效率。例如,在一个工作台进行加工的同时,PLC 可以控制另一个工作台进行工件的装卸,减少机床的停机时间。

4 PLC 与数控机床其他系统的通信与协同工作

4.1 与数控系统的通信

PLC 与数控系统之间通过数据总线进行通信,如常用的 Profibus-DP、CANopen 等通信协议。数控系统将加工程序中的控制信息、坐标轴运动指令、主轴控制指令等发送给 PLC,同时接收 PLC 反馈的机床状态信息、坐标轴位置信息、辅助功能执行情况等。这种紧密的通信连接使得数控系统与 PLC 能够协同工作,实现对数控机床的全面控制。例如,数控系统在执行加工程序时,根据程序段中的 M 代码(辅助功能代码)向 PLC 发送相应的辅助功能控制指令,如开启冷却、换刀等,PLC 执行完指令后向数控系统反馈执行结果,数控系统再根据反馈信息决定下一步的加工操作。

4.2 与驱动系统的协同

PLC 与数控机床的坐标轴驱动系统和主轴驱动系统密切配合。它向驱动系统发送速度控制指令、位置控制指令以及电机的启停、转向等控制信号,驱动系统则将电机的实际运行状态,如转速、电流、位置反馈等信息反馈给 PLC。PLC 根据这些反馈信息,采用闭环控制策略,对驱动系统进行实时调整与优化,确保机床各坐标轴和主轴的运动精度与稳定性。例如,在坐标轴的位置控制中,PLC 发送目标位置指令给驱动系统,驱动系统驱动电机运动并通过编码器将实际位置反馈给 PLC,PLC 比较目标位置与实际位置的偏差,根据偏差值调整驱动信号,使坐标轴最终准确地到达目标位置^[3]。

5 PLC 编程在数控机床控制中的要点与方法

5.1 编程语言的选择

PLC 在数控机床控制中常用的编程语言有梯形图语言、

语句表语言等。梯形图语言直观易懂,类似于电气控制原理图,适合初学者和电气工程师进行编程。它以图形化的方式表示逻辑关系,易于理解和调试。语句表语言则更接近计算机汇编语言,编程效率较高,适用于对程序执行速度有较高要求或复杂逻辑控制的场合。在实际编程中,可根据具体的控制任务和编程人员的习惯选择合适的编程语言,也可以将多种编程语言结合使用,发挥各自的优势。

5.2 程序结构与模块化设计

为了便于编程、调试和维护,PLC程序应采用合理的结构与模块化设计。将整个控制程序划分为多个功能模块,如坐标轴控制模块、主轴控制模块、辅助功能控制模块等,每个模块实现特定的功能。在主程序中,通过调用这些功能模块来实现对数控机床的整体控制。这样的设计方式使得程序结构清晰,易于修改和扩展。例如,当需要增加一种新的辅助功能时,只需在辅助功能控制模块中添加相应的程序代码,而不会影响到其他模块的正常运行。

5.3 故障诊断与报警程序设计

在数控机床的PLC编程中,故障诊断与报警程序的设计至关重要。由于数控机床在生产过程中会经历大量的高负荷工作,故障的出现是不可避免的。因此,设计一个完善的故障诊断与报警系统是确保机床正常运行的关键。通过实时监测机床各部分的状态信号,如电机的过载信号、坐标轴的超限位信号、冷却系统的压力异常信号等,可以及时发现潜在的故障。例如,当电机发生过载时,PLC可以通过接收电流传感器的信号,立即判断出故障,并触发报警程序。此外,坐标轴超限位信号或冷却系统异常也能通过传感器进行检测,当超过设定的安全阈值时,PLC控制系统会发出报警,停机保护并在人机界面上显示故障信息。通过这种方式,故障能够被实时监测并迅速处理,避免了因为隐性故障导致设备的进一步损坏,从而大大提升数控机床的安全性和工作效率。

故障诊断与报警程序不仅能够有效防止设备因故障而停机,还能显著提高机床的可靠性和可维护性。当故障发生时,PLC控制系统会迅速中断机床的运行,并通过报警信号通知操作人员进行故障排查与修复。这种设计能够减少因设备故障导致的生产停顿时间,确保生产线的高效运作。此外,故障信息在人机界面上实时显示,可以帮助维修人员更快地定位故障原因,提升维修效率。整体而言,完善的故障诊断与报警系统不仅减少了维护成本,还延长了数控机床的使用寿命,提高了生产线的整体稳定性。

6 PLC机电一体化技术在数控机床应用中的发展趋势

6.1 智能化发展

随着人工智能技术的不断进步,PLC在数控机床中的

应用将朝着智能化方向发展。例如,采用智能算法进行加工参数的优化选择,根据工件的材料、形状、加工要求等自动调整切削速度、进给量等参数,以实现最佳的加工效果。同时,PLC能够对机床的运行状态进行智能监测与预测性维护,通过分析大量的运行数据,提前发现潜在的故障隐患,及时安排维修保养,提高机床的利用率与可靠性。

6.2 网络化集成

未来的制造业将更加注重网络化与信息化集成。PLC在数控机床中的应用也将与工厂自动化网络深度融合,实现与上层管理系统(如企业资源计划ERP、制造执行系统MES等)的无缝对接。通过网络通信,PLC可以将机床的生产数据、设备状态信息等实时上传到管理系统,管理系统则可以根据这些信息进行生产计划的优化调整、设备资源的合理调配等。同时,在车间层面,多台数控机床的PLC可以相互通信与协同工作,实现生产线的自动化与柔性化控制,提高整个制造系统的生产效率与响应能力。

6.3 高速高精度控制

随着机械加工对零件精度和加工效率要求的不断提高,PLC在数控机床中的坐标轴控制和主轴控制将不断追求更高的速度与精度。采用先进的控制算法,如前馈控制、自适应控制等,进一步减小位置控制和速度控制的误差。同时,随着新型传感器技术和电机驱动技术的发展,PLC能够获取更精确的位置反馈和速度反馈信息,从而实现对机床运动的更精准控制,满足超精密加工的需求。

7 结论

PLC机电一体化技术在数控机床中的应用极大地提升了数控机床的性能与自动化程度。通过对坐标轴控制、主轴控制、辅助功能控制等多方面的有效应用,以及与数控系统和驱动系统的协同工作,PLC实现了数控机床的精确、稳定运行。在编程方面,合理的编程语言选择、程序结构设计以及故障诊断与报警程序的编写,为数控机床的控制提供了可靠的软件保障。展望未来,PLC机电一体化技术在数控机床中的应用将朝着智能化、网络化、高速高精度方向不断发展,为现代制造业的转型升级提供强有力的技术支持,推动制造业向更高水平迈进。在今后研究与应用中,还需不断探索PLC与数控机床各部分的融合创新,进一步挖掘其应用潜力,以适应日益复杂多变的制造需求。

参考文献

- [1] 蒋学利. PLC机电一体化技术在数控机床中的应用[J]. 机电产品开发与创新, 2024, 37 (04): 143-145.
- [2] 杨增锐, 杨海森. PLC机电一体化技术在数控机床中的应用[J]. 造纸装备及材料, 2024, 53 (06): 91-93.
- [3] 唐涛. PLC机电一体化技术在数控机床中的有效应用[J]. 现代工业经济和信息化, 2023, 13 (04): 116-118.