

# 智能控制在机床液压系统中的应用研究

赵利波 张伟 陈 铨

宁波海天精工股份有限公司 浙江 宁波 315000

**摘要:** 本文聚焦于智能控制在机床液压系统中的应用研究,阐述了机床液压系统的工作原理,包括液体压力传递原理及各元件作用,分析了其传动效率高、控制精度高、结构紧凑、易于自动化等特点,并指出其高性能化、节能环保化、智能化发展趋势。详细探讨了模糊控制、神经网络控制、专家系统控制等智能控制方法在机床液压系统中的应用原理、方式及实例,表明智能控制可有效提升系统性能、增强自适应能力、降低维护成本,对机床液压系统发展具有重要意义。

**关键词:** 智能控制; 机床液压系统; 应用研究

## 1 机床液压系统的工作原理与特性

### 1.1 机床液压系统的工作原理

机床液压系统的工作原理核心在于液体压力传递原理,在一个完全密闭的管道系统中,当液体受到外部压力作用时,这种压力会迅速且均匀地传递到系统的各个角落,进而驱动各种执行元件完成各种复杂的机械动作。这一过程中,液压泵作为整个系统的动力心脏,扮演着至关重要的角色。它将机械能高效转化为液压能,并通过错综复杂的管道网络,将这份能量精准地传递给液压缸或液压马达。液压缸,作为系统中的重要执行元件,通过液体的压力推动活塞进行直线运动。这一简单的机械动作,却驱动机床的工作台、刀具等关键部件进行精确的加工操作。而液压马达,则通过液体的压力驱动实现旋转运动,为机床的回转部件提供源源不断的动力。正是这些看似简单的机械动作,组合成了机床复杂且精准的加工流程。值得注意的是,机床液压系统在传递压力的过程中,液体的不可压缩性起到了关键作用。这一特性确保了压力在传递过程中的稳定性和一致性,从而使得机床的加工精度得到了有力保障。同时,由于液体在管道中流动时能量损失较小,机床液压系统也展现出了传动效率高的显著特点。

### 1.2 机床液压系统的特点

机床液压系统之所以在机械加工行业中得到广泛应用,主要得益于其独特的系统特点。(1)传动效率高,机床液压系统通过液体压力传递能量,这一过程中能量损失相对较小。与传统的机械传动相比,机床液压系统具有更高的传动效率。这意味着在相同的输入功率下,机床液压系统能够输出更多的有用功,从而提高了整个加工过程的能效。(2)控制精度高,机床液压系统通过液压阀等控制元件,能够实现对执行元件的精确控制。

通过调节液体的压力和流量,可以实现对机床工作部件的精准定位和速度控制。这一特点使得机床在加工过程中能够保持较高的精度和稳定性,从而满足了高精度加工的需求。(3)结构紧凑,机床液压系统的结构相对紧凑,占用空间小。液压元件通过管道连接,能够灵活地布局在机床的各个部位。这种紧凑的结构设计不仅节省了空间,还有利于提高机床的整体刚性和稳定性。同时,紧凑的结构也使得机床的维护和保养变得更加方便快捷<sup>[1]</sup>。(4)易于自动化,机床液压系统易于与电气控制系统相结合,实现自动化控制。通过引入传感器、控制器等智能化元件,机床液压系统能够实现对加工过程的实时监测和精确控制。这一特点使得机床在加工过程中能够实现自动化生产,提高了生产效率和产品质量。同时,自动化控制也有利于降低工人的劳动强度和提高工作环境的舒适度。

### 1.3 机床液压系统的发展趋势

随着现代制造技术的不断进步和市场需求的不变化,机床液压系统也呈现出以下发展趋势:(1)高性能化。随着高精度加工需求的不断增加,机床液压系统正朝着高性能化方向发展。通过采用先进的控制技术和元器件,如比例阀、伺服阀等,提高系统的响应速度和稳定性。同时,通过优化系统结构和工作模式,进一步提高系统的传动效率和控制精度。这些措施使得机床在加工过程中能够保持较高的精度和稳定性,满足高精度加工的需求;(2)节能环保化。随着全球能源危机的加剧和环保意识的提高,机床液压系统正朝着节能环保化方向发展。通过优化系统结构和工作模式,降低能耗和减少对环境的影响。例如,采用变量泵等节能元件,根据实际需求调节输出流量和压力;采用冷却循环系统,降低油温提高系统效率等。这些措施不仅有利于降低生产成本,还有利于保护环境和可持续发展;(3)智能化。

随着人工智能和物联网技术的不断发展,机床液压系统正朝着智能化方向发展。通过引入智能控制技术,如模糊控制、神经网络控制等,实现对系统的实时监测、精确控制和故障预测。通过引入物联网技术,实现机床与云端服务器的远程通信和数据交换,实现远程监控和智能运维等功能。

## 2 机床液压系统的发展现状与挑战

### 2.1 发展现状

随着全球制造业的蓬勃发展和对高精度、高效率加工技术的持续追求,机床液压系统作为现代机械加工设备的核心传动与控制部件,正经历着前所未有的技术创新和应用拓展。当前,机床液压系统不仅广泛应用于传统的数控机床、加工中心,还逐渐渗透到更为精密的复合机床、多轴联动机床以及柔性制造系统等领域,成为推动制造业转型升级的重要力量。高性能液压泵、精密液压阀、高性能液压材料以及先进的液压回路设计,使得机床液压系统具备了更高的传动效率、更低的能耗、更强的稳定性和更长的使用寿命。随着计算机技术和电子技术的飞速发展,液压系统与电气控制系统的集成度越来越高,实现了更为复杂和精准的控制功能。智能化技术的应用,如基于传感器的实时监测、故障诊断与预警、自适应控制等,进一步提升了机床液压系统的智能化水平和运行效率。另外,环保节能理念的深入人心也促使机床液压系统在设计上更加注重节能减排。通过采用节能型液压泵、优化液压回路设计、采用先进的冷却与散热技术等手段,机床液压系统在降低能耗、减少污染物排放方面取得了显著成效。

### 2.2 面临的挑战

尽管机床液压系统取得了显著的发展成就,但在实际应用中仍面临着一系列挑战,这些挑战主要来源于系统的非线性、时变性以及不确定性。(1)非线性,机床液压系统中的非线性特性是制约其控制精度和稳定性的关键因素之一。液压元件如阀口、液压缸等的流量特性、摩擦力等都具有非线性特点,这些非线性因素会导致系统的动态响应特性复杂多变,难以用简单的数学模型进行准确描述。(2)时变性,机床液压系统的参数会随着工作条件的变化而发生变化,如油温的升高或降低、负载的增减等。这种时变性会导致系统的动态性能发生变化,从而影响控制效果<sup>[2]</sup>。(3)不确定性,机床液压系统在运行过程中会受到多种外部干扰因素的影响,如外部振动、噪声、温度变化等。这些不确定性因素会导致系统的输出产生波动和偏差,从而降低系统的控制性能。此外,机床液压系统在维护和保养方面也存在

在一定的挑战,液压系统的密封性、清洁度以及油液的品质等因素都会影响系统的运行寿命和性能。

## 3 智能控制在机床液压系统中的应用

### 3.1 模糊控制

#### 3.1.1 模糊控制原理

模糊控制是一种基于模糊集合理论的控制方法,它打破了传统控制方法对精确数学模型的依赖。在传统的控制理论中,为了对系统进行有效的控制,通常需要建立被控对象的精确数学模型,然而在许多复杂的工业系统中,如机床液压系统,由于存在非线性、时变性和不确定性等因素,建立精确的数学模型往往是非常困难的,甚至是不可能的。模糊控制则巧妙地避开了这一难题,它通过模糊规则来描述系统的输入输出关系。模糊规则是基于人类专家对系统的经验性认识,以自然语言的形式表达出来,例如“如果压力较高且流量较小,则减小阀门开度”。这些模糊规则构成了模糊控制器的核心,控制器根据输入的模糊量,运用模糊推理的方法,得到相应的模糊控制量,再经过解模糊化处理,将其转化为实际的控制信号,从而实现对系统的控制。

#### 3.1.2 模糊控制在机床液压系统中的应用

在机床液压系统中,系统的压力、流量等状态信息是影响系统性能的关键因素。模糊控制可以根据这些状态信息,实时调整控制参数,以适应系统运行过程中的各种变化。例如,当机床在加工过程中负载发生变化时,液压系统的压力也会随之改变,模糊控制器能够根据压力的变化情况,及时调整阀门的开度,使系统压力保持在设定值附近<sup>[3]</sup>。

#### 3.1.3 应用实例

以某型号数控机床的液压系统为例,采用模糊控制方法对系统的压力进行控制。在实验过程中,通过压力传感器实时采集系统的压力数据,并将其作为模糊控制器的输入。同时,设定系统的目标压力为5MPa。

通过实验采集了不同负载条件下系统的压力数据,如表1所示。

负载 (N)	设定压力 (MPa)	实际压力 (MPa)	误差 (MPa)
1000	5	4.8	0.2
2000	5	4.9	0.1
3000	5	5.1	-0.1
4000	5	5	0

从表1可以看出,在采用模糊控制方法后,系统的压力控制误差较小。在负载为1000N时,实际压力为4.8MPa,误差为0.2MPa;当负载增加到4000N时,实际压力能够准确地保持在设定值5MPa,误差为0。这表明模

糊控制方法能够有效地适应不同负载条件下的压力控制要求,满足机床液压系统对压力稳定性的控制需求。

### 3.2 神经网络控制

#### 3.2.1 神经网络控制原理

神经网络控制是一种基于人工神经网络的控制方法,它模拟了人脑神经元的工作方式。人工神经网络由大量的神经元相互连接而成,每个神经元接收来自其他神经元的输入信号,经过加权求和和非线性激活函数的处理后,输出信号到其他神经元。神经网络具有强大的学习和自适应能力,它可以通过对大量样本数据的学习,自动调整神经元之间的连接权值,从而建立输入与输出之间的非线性映射关系。在控制领域中,神经网络可以对复杂系统的非线性特性进行建模和补偿,提高系统的控制精度。

#### 3.2.2 神经网络控制在机床液压系统中的应用

机床液压系统具有明显的非线性特性,如阀口的流量特性、液压缸的摩擦力等,这些非线性因素会导致系统的控制性能下降。神经网络控制可以对这些非线性特性进行精确建模,并根据系统的实时状态信息,输出合适的控制量,以实现系统的高精度控制。例如,在机床液压系统的位置控制中,神经网络控制器可以根据系统的位置误差和速度误差,学习到最优的控制策略,使液压缸能够快速、准确地跟踪给定的位置指令。

#### 3.2.3 应用实例

以某加工中心的液压系统为例,采用神经网络控制方法对系统的位置进行控制。首先,通过实验采集系统的位置误差和速度误差数据,作为神经网络模型的训练样本。然后,利用这些样本数据训练神经网络模型,使其能够根据输入的位置误差和速度误差,输出相应的控制量。在训练完成后,将神经网络控制器应用于实际系统中,与传统控制方法进行对比实验。实验结果表明,采用神经网络控制方法后,系统的位置控制精度得到了显著提高。不同位置误差范围下的控制误差对比情况如表2所示。

位置误差范围 (mm)	传统控制方法误差 (mm)	神经网络控制方法 误差(mm)
0-1	0.5	0.2
1-5	1	0.5
5-10	1.5	0.8

### 3.3 专家系统控制

专家系统控制是一种基于专家知识的控制方法,它将专家的经验 and 知识以规则的形式存储在计算机中,通过推理机制来实现对系统的控制。在机床液压系统中,

专家系统控制可以根据系统的故障信息和运行状态,提供相应的故障诊断和控制策略。

应用实例:以某数控机床的液压系统为例,开发了基于专家系统的故障诊断系统。当系统出现故障时,故障诊断系统可以根据采集到的故障信息,如压力异常、温度过高等,结合专家知识库中的规则进行推理,判断故障的类型和原因,并提供相应的解决方案。通过实际应用,该故障诊断系统能够准确快速地诊断出系统的故障,提高了机床液压系统的可靠性和维护效率。

## 4 应用效果分析

### 4.1 性能提升

通过应用智能控制技术,机床液压系统的性能得到了显著提升。模糊控制、神经网络控制和专家系统控制等方法都能够有效地处理系统的非线性、时变性和不确定性问题,提高了系统的控制精度和稳定性。

### 4.2 自适应能力增强

智能控制系统具有自适应能力,能够根据系统的运行状态和环境变化自动调整控制参数。在机床液压系统中,当负载、油温等条件发生变化时,智能控制系统能够及时调整控制策略,保证系统的正常运行<sup>[4]</sup>。

### 4.3 维护成本降低

专家系统控制方法可以提供故障诊断和控制策略,帮助维修人员快速准确地定位和解决系统故障。这减少了系统的停机时间,降低了维护成本,提高了机床液压系统的使用效率。

## 结束语

智能控制在机床液压系统中的应用研究,为解决传统控制方法面临的难题提供了有效途径。随着人工智能和物联网技术的不断发展,智能控制在机床液压系统中的应用前景将更加广阔。未来,应进一步深入研究智能控制技术,不断优化控制算法,提高系统的智能化水平,推动机床液压系统向更高性能、更节能环保、更智能化的方向发展,为制造业的转型升级提供有力支持。

## 参考文献

- [1]张国志,王晓波.数控机床液压驱动系统的优化设计与应用[J].机械工程学报,2022,58(3):45-53.
- [2]李素玲,陈志涛.液压驱动技术在排屑系统中的应用研究[J].工程机械,2021,32(7):68-75.
- [3]黄涛,龚晓彤.智能化液压控制技术的进展与挑战[J].自动化技术与应用,2023,42(6):99-106.
- [4]单士海,赵树岩,郭玉英.数控重型曲轴旋风机床床头液压原理研究[J].中国重型装备,2021,000(004):51-53.