

# 数控机床电气设计数字化研究

魏亮 杨嘉俊

巨冈精工(宁夏)有限公司 宁夏 银川 750000

**摘要:** 随着智能制造时代的到来,数控机床电气设计数字化研究日益受到重视。本研究旨在探索通过应用数字化技术,包括电路图的国际化标准化设计、电气柜布局的3D模拟与自动化优化、以及PLC程序的仿真测试与简约化编程,以实现电气设计的高效、精确与智能化。研究成果将为数控机床的电气设计提供创新思路和技术支撑,推动制造业向智能化、高精度方向发展,助力企业提升核心竞争力。

**关键词:** 数控机床; 电气设计; 数字化

**引言:** 随着制造业智能化转型的加速,数控机床作为智能制造的核心设备,其电气设计的数字化已成为提升生产效率与精度的关键。本研究致力于探索数控机床电气设计的数字化方法和技术,旨在通过数字化手段实现电气设计的标准化、自动化与智能化,以提高设计效率,减少人为错误,保障加工精度与产品质量。同时,该研究也将为企业数字化转型提供有力支持,推动制造业高质量发展。

## 1 数控机床电气设计概述

### 1.1 数控机床的基本构成和工作原理

数控机床由机械结构、电气控制系统、伺服驱动系统等部分构成,其工作原理是通过预先编制的加工程序,经数控装置解读后,向伺服驱动系统发出指令,驱动执行部件按规定轨迹运动,实现自动化加工。(1)内部控制程序自动化运行是数控机床的核心特点。程序一旦输入,便能按设定逻辑连续执行,无需人工干预。它可精准控制坐标轴移动、主轴转速、进给速度等参数,且具备自动换刀、自动检测等功能,能应对复杂零件加工,保证加工过程连贯稳定,大幅减少人为操作误差。(2)电气控制系统需对冷却设备、开关和刀具等进行精准控制。冷却设备根据加工工况自动启停,及时带走切削热量,避免工件和刀具过热;各类开关负责设备启停、模式切换等操作,保障运行安全有序;刀具控制涵盖自动选刀、换刀及刀具参数调整,通过与程序协同,满足不同加工工序对刀具的要求。

### 1.2 电气控制系统的重要性

(1)电气控制系统直接影响数控机床操作性能。性能优良的系统能让操作更便捷,简化人工干预流程,降低操作难度。同时,它能确保各部件动作协调一致,提升设备运行稳定性和可靠性,减少故障停机时间,保障操作人员安全。(2)在产品质量方面,电气控制系统通

过精确控制加工参数,保证零件尺寸精度、形状精度和表面质量,降低废品率。在生产效率上,其高效的自动化控制可缩短加工辅助时间,实现多工序连续加工,提高设备利用率,从而显著提升整体生产效率,为企业创造更高经济效益。

## 2 数控机床电气设计数字化的理论基础

### 2.1 数字化技术的概念和应用范围

数字化技术是指将各类信息转化为数字信号,通过计算机、网络等技术进行处理、传输和应用的技术体系。它以数字编码为核心,依托算法和算力实现信息的高效处理与共享,具有精准性、可复制性和易扩展性等特点。在工业领域,数字化技术广泛应用于智能制造,如通过物联网对生产设备进行实时监控和数据采集,实现生产流程的智能化调度;在医疗领域,数字化技术推动了远程诊疗、医学影像数字化存储与分析,提升了诊断效率和准确性;在教育领域,在线教育平台、虚拟仿真实验借助数字化技术打破了时空限制,优化了教学资源配置;在金融领域,数字货币、智能风控系统等数字化应用,提高了金融交易的安全性和便捷性。而在数控机床电气设计中,数字化技术则为设计流程的革新提供了关键支撑。

### 2.2 电气设计数字化的原理和方法

(1)电路图的国际化、表格化是电气设计数字化的基础方法之一。国际化意味着遵循IEC等国际标准进行电路图设计,确保设计成果在全球范围内具有通用性和可读性,便于跨地域的技术交流与合作。表格化则是将电路图元件参数、连接关系等信息以表格形式呈现,使设计数据条理清晰,既方便设计人员快速查询和修改,也为后续的生产、调试提供了精准的依据,减少了因信息模糊导致的错误。(2)柜内布局的3D化、自动化借助三维建模软件实现。设计人员可在虚拟环境中构建

电气柜的三维模型,将各类电气元件按照实际尺寸和安装要求进行布局模拟,直观呈现元件的空间位置关系,提前发现布局冲突和空间浪费问题。自动化则通过软件的智能算法,根据元件的尺寸、散热需求等参数自动生成布局方案,大幅缩短布局设计时间,提高布局的合理性和规范性。(3) PLC程序的仿真化、简约化是提升程序可靠性和开发效率的重要手段。仿真化是利用虚拟调试软件,在程序编写完成后模拟实际运行环境,对程序的逻辑和功能进行测试,及时发现并修正错误,减少现场调试的时间和成本。简约化则要求在保证程序功能的前提下,简化程序结构,采用模块化设计,提高程序的可读性和可维护性,降低后续升级和修改的难度<sup>[1]</sup>。

### 3 数控机床电气设计数字化的实现

#### 3.1 电路图的国际化、表格化实现

(1) EPLAN等专业电气设计软件是实现电路图国际化、表格化的核心工具。这类软件内置了IEC、GB等国际和国家标准的符号库与设计规范,设计人员在绘制电路图时,可直接调用符合标准的电气符号,确保电路图的绘制符合国际通用规则。例如,在设计继电器、接触器等元件的连接线路时,软件能自动校验符号的规范性和接线逻辑的合理性,避免因符号不统一或接线错误导致的设计偏差。同时,软件支持多语言环境切换,可根据需求生成不同语言版本的电路图,满足跨国合作项目的沟通需求,真正实现了电路图的国际化设计<sup>[2]</sup>。(2) 借助EPLAN软件的自动化功能,封面、设备标识、电缆总览等表格能够实现自动生成。在项目初始化阶段,设计人员录入项目名称、编号、设计日期等基础信息后,软件可按照预设模板自动生成规范的封面,包含项目的核心信息和设计团队信息。对于设备标识表格,软件会实时同步电路图中所有设备的型号、规格、安装位置等参数,当电路图中的设备信息发生修改时,表格会自动更新,确保数据的一致性。电缆总览表格则能整合所有电缆的型号、长度、连接端点等信息,通过软件的统计分析功能,自动计算电缆的用量和布局路径,为采购和布线施工提供精准数据支持,大幅减少了人工编制表格的工作量和错误率。

#### 3.2 柜内布局的3D化、自动化实现

(1) SolidWorks Electrical、AutoCAD Electrical 3D等3D建模软件在电气柜布局中发挥着关键作用。设计人员可导入电气元件的3D模型库,这些模型包含精确的尺寸、安装孔位、散热参数等信息。在虚拟环境中,将断路器、接触器、端子排等元件按照电路图的连接关系放置到电气柜模型内,通过软件的碰撞检测功能,实时检

查元件之间、元件与柜体之间的空间冲突,如元件安装高度重叠、柜门关闭时与元件干涉等问题。同时,软件支持从不同视角观察布局效果,可模拟柜门打开、内部元件检修等场景,帮助设计人员优化元件的安装位置,确保后续施工的可行性。此外,3D模型还能与电路图进行关联,点击3D模型即可查看对应的电气连接关系,实现了电气设计的可视化和协同化。(2) 自动化布局算法的设计和实现是提升柜内布局效率的重要保障。算法的核心是基于元件的电气特性、物理参数和散热要求建立优化模型。首先,根据电路图确定元件之间的连接优先级,连接频繁的元件应尽量靠近布置,减少电缆长度;其次,考虑元件的重量和尺寸,较重的元件通常布置在柜体下方,避免柜体重心偏移;再者,依据元件的散热功率,将发热量大的元件(如变频器、伺服驱动器)布置在通风良好的区域,并与其他元件保持合理间距。通过遗传算法、模拟退火算法等智能优化算法对布局方案进行迭代计算,最终生成满足多项约束条件的最优布局方案。设计人员可通过调整算法参数(如权重系数、约束条件)对方案进行微调,实现自动化与人工优化的结合,大幅缩短布局设计周期<sup>[3]</sup>。

#### 3.3 PLC程序的仿真化、简约化实现

(1) S7-PLCSIM等仿真软件为PLC程序的测试提供了高效平台。在程序编写完成后,设计人员可在软件中搭建与实际数控机床一致的虚拟控制环境,包括输入信号(如按钮、传感器)、输出设备(如电机、电磁阀)以及中间变量的模拟。通过设置虚拟的工况参数(如主轴转速指令、进给信号),模拟数控机床的各种运行状态,如自动加工、手动调整、故障报警等。软件能实时监控程序的运行逻辑,记录各变量的状态变化曲线,帮助设计人员发现程序中的逻辑错误(如死循环、信号漏判)和时序问题(如动作顺序错误)。例如,在模拟自动换刀过程时,若程序中刀具定位信号未正确触发,仿真软件会即时显示信号缺失的报警信息,设计人员可直接定位到对应的程序段进行修改,避免了在实际设备上调试时可能出现的机械碰撞、设备损坏等风险,降低了调试成本<sup>[4]</sup>。(2) 程序优化和简约化需从结构设计和代码编写两方面入手。在结构设计上,采用模块化编程思想,将PLC程序划分为初始化模块、手动控制模块、自动运行模块、故障诊断模块等独立模块,每个模块负责特定功能,模块之间通过接口变量进行数据交互。这种结构不仅便于程序的编写和调试,还能提高程序的复用性,后续修改或升级时只需调整对应模块,无需改动整体程序。在代码编写上,遵循“最少指令完成功能”的

原则,简化逻辑判断流程,例如用结构化文本(ST)替代梯形图(LAD)编写复杂算法,减少指令行数;采用符号地址替代绝对地址,提高程序的可读性。同时,删除冗余代码(如重复的逻辑判断、未使用的变量),优化定时器、计数器的设置,避免资源浪费。通过代码审查工具对程序进行静态分析,识别潜在的优化点,最终实现程序的精简和高效运行,降低程序的维护难度和运行故障率。

#### 4 数控机床电气设计数字化的挑战与解决方案

##### 4.1 数字化技术应用的挑战

(1) 软件学习成本和技术更新速度是数字化技术应用面临的首要挑战。数控机床电气设计涉及的EPLAN、SolidWorks Electrical等专业软件功能复杂,界面操作逻辑与传统设计工具差异较大,设计人员需要花费大量时间学习软件的操作方法、功能模块及进阶技巧,尤其是对于经验丰富但数字化基础薄弱的老工程师,学习难度更大。同时,数字化技术迭代速度快,软件版本频繁更新,新功能、新算法不断涌现,如3D建模软件的渲染引擎升级、PLC仿真软件的逻辑分析功能优化等,设计团队需持续投入精力跟进技术变化,否则可能因技术滞后导致设计效率下降或方案不符合最新标准。(2) 数字化与实际操作之间的衔接问题也较为突出。在数字化设计阶段,虚拟环境中的参数设置、布局方案可能与实际生产场景存在偏差。例如,3D模型中模拟的电气柜布局虽通过碰撞检测,但实际安装时可能因元件制造误差、柜体加工精度不足导致装配困难;PLC程序在仿真环境中运行正常,却可能因现场传感器信号干扰、执行部件机械间隙等实际因素出现运行故障。此外,数字化设计生成的采购清单、布线图纸等数据,若不能及时、准确地传递给生产、调试团队,会导致设计与施工脱节,影响项目进度。

##### 4.2 解决方案

(1) 加强技术培训和更新是应对挑战的基础措施。企业可建立分层培训体系,针对新手设计人员开展

软件基础操作培训,通过案例教学、实操演练帮助其快速掌握核心功能;对于资深工程师,侧重软件高级功能和新技术应用培训,如邀请软件厂商进行EPLAN表格自动化生成、SolidWorks Electrical 3D碰撞检测等专项培训。同时,设立技术情报收集小组,实时跟踪数字化技术动态,定期组织内部技术交流会,分享软件更新要点和行业应用案例,确保团队技术能力与行业发展同步。

(2) 建立数字化与实际操作的协同机制能有效解决衔接问题。在设计阶段,邀请生产、调试人员参与方案评审,结合实际施工经验对数字化模型和参数提出修改建议,如根据装配工人反馈调整电气元件的安装间距。搭建数字化数据共享平台,将设计图纸、物料清单、仿真报告等信息实时同步至生产部门,确保数据传递的及时性和准确性。此外,建立“虚拟调试—现场验证”的闭环流程,在数字化仿真通过后,先进行小范围实物验证,记录实际与虚拟的偏差数据,用于优化数字化模型和算法,逐步缩小虚拟设计与实际操作的差距。

##### 结束语

综上所述,数控机床电气设计数字化研究不仅优化了设计流程,还显著提升了设计效率与质量,是实现智能制造的重要基石。通过本研究,我们验证了数字化技术在电气设计中的巨大潜力,从标准化设计到智能化仿真,每一步都彰显了技术创新的价值。未来,我们将继续探索更多数字化工具与方法,以进一步推动数控机床电气设计的革新,为制造业智能化升级注入持续动力。

##### 参考文献

- [1]吴惠娟.PLC技术在车床控制系统设计中的应用[J].电子技术,2024,53(02):106-107.
- [2]仲文君.PLC技术在数控机床中的实践探讨[J].模具制造,2024,24(11):195-197.
- [3]官鑫.虚拟现实技术在机械设计优化中的应用[J].电子技术,2024,53(07):266-267.
- [4]赵永燕,李玲.虚拟样机技术在机械设计中的应用[J].农机使用与维修,2023,(05):89-91.