

面向数控机床的机械设计规范智能校验系统设计与实践

姜雅群

浙江欣兴工具股份有限公司 浙江嘉兴 314000

摘要：数控机床作为现代制造业的核心装备，其机械设计质量直接影响加工精度、生产效率和设备可靠性。传统的人工校验机械设计规范方式效率低、易出错，难以满足复杂多变的设计需求。本文基于人工智能与知识工程技术，设计并实现了面向数控机床的机械设计规范智能校验系统。详细阐述系统的设计需求、架构、关键技术以及功能模块，通过实际案例验证系统的有效性和实用性。该系统能够自动识别设计图纸和文档中违反设计规范的问题，提供准确的校验结果和改进建议，显著提高数控机床机械设计的质量和效率，为制造业智能化发展提供技术支撑。

关键词：数控机床；机械设计；系统设计

引言

在现代制造业转型升级的背景下，数控机床凭借其高精度、高效率 and 自动化的特点，成为机械加工领域的核心设备。数控机床的机械设计涉及机械结构、传动系统、控制系统等多个方面，设计过程中需严格遵循一系列行业标准、规范和企业内部技术要求。然而，随着数控机床功能不断拓展、结构日益复杂，设计规范的内容也愈加丰富，传统依靠人工比对设计文档与规范条款的校验方式，存在效率低下、易受主观因素影响、难以发现潜在设计问题等弊端，导致设计错误难以及时纠正，进而影响机床性能，增加研发成本和周期。因此，开展面向数控机床的机械设计规范智能校验系统研究，对提升我国数控机床设计水平、增强制造业核心竞争力具有重要的现实意义和应用价值。

一、系统设计需求分析

（一）功能需求

面向数控机床的机械设计规范智能校验系统的功能需求涵盖设计文档解析、规范知识管理、智能校验、结果展示与反馈及系统集成五大核心方面。在设计文档解析上，系统需具备自动读取解析二维图纸、三维模型和技术文档的能力，精准提取零部件尺寸、材料属性等关键设计信息；规范知识管理方面，要支持对国家标准、行业标准、企业标准等各类设计规范进行结构化存储，实现分类管理与动态更新，便于用户便捷查询维护条款；智能校验功能则需依据规范自动校验提取的设计信息，精准识别尺寸不合理、公差配合不当等违反规范的设计

问题；结果展示与反馈环节，以直观可视化界面呈现校验结果，标注问题位置，同时提供详细规范依据与改进建议，助力设计修改；系统集成方面，能够与 AutoCAD、SolidWorks 等常用 CAD 设计软件及企业 PDM 系统无缝集成，达成设计数据实时交互与共享，全方位满足数控机床机械设计规范校验的业务需求。

（二）性能需求

系统性能需满足多维度要求：准确性方面，确保校验结果精准可靠，最大限度降低误报与漏报率，精准识别设计规范问题；高效性层面，能够快速处理大规模设计文档与复杂模型的校验任务，契合项目时间节点；稳定性上，保证系统在长时间高负荷运行状态下持续稳定工作，杜绝死机、崩溃等异常情况；扩展性要求系统架构具备良好的开放性与灵活性，便于后续新增设计规范、功能模块，以及集成新的设计软件。

二、系统架构设计

（一）总体架构

面向数控机床的机械设计规范智能校验系统采用分层架构设计，各层紧密协作实现系统功能。数据层负责存储设计文档数据（如二维图纸、三维模型文件、技术文档等）、经结构化处理后的设计规范知识数据，以及系统运行产生的中间数据和结果数据，采用关系型数据库（如 MySQL）与非关系型数据库（如 MongoDB）结合的存储方式，满足不同数据类型的存储需求；支撑层通过计算机视觉技术实现设计图纸图像识别与特征提取、利用自然语言处理技术完成设计文档和规范条款语义理解、借助知识图谱技术构建设计知识与规范的关联关系，为

系统运行提供基础技术支撑；核心层作为系统核心处理部分，包含设计文档解析模块、规范知识管理模块和智能校验模块，分别负责解析设计文档并提取信息、管理规范知识的增删改查及版本更新、将设计信息与规范知识匹配推理以完成校验；应用层则为用户提供便捷操作界面，支持设计文档上传、校验任务发起、结果查看、规范查询等功能，并通过API接口与CAD设计软件和PDM系统集成，实现数据交互与共享。

（二）系统网络拓扑结构

系统采用B/S（浏览器/服务器）架构，用户通过Web浏览器访问系统，无需在本地安装客户端软件，这极大降低了用户使用门槛，也便于系统的部署和维护。服务器端部署数据库服务器、应用服务器和文件存储服务器，三者分工明确又紧密协作：数据库服务器采用主从架构保障数据高可用，负责存储设计文档数据、规范知识数据等；应用服务器承载核心业务逻辑，处理用户请求与智能校验任务；文件存储服务器采用分布式存储技术，高效管理海量设计文档。网络通信采用TCP/IP协议，搭配SSL/TLS加密协议，确保数据传输的稳定性和安全性。用户与服务器之间通过企业内部局域网或互联网进行连接，借助负载均衡技术实现流量分配，实现远程操作和数据交互。

三、系统关键技术研究

（一）设计文档智能解析技术

在设计文档智能解析技术中，对于二维设计图纸，先运用图像预处理技术，包括灰度化、降噪、边缘检测等优化图纸图像质量，再借助ResNet、YOLO等卷积神经网络（CNN）模型，实现对图纸中几何图形、标注文字、符号的识别分类，进而提取图形尺寸、公差标注等关键信息；针对三维设计模型，通过SolidWorks API、UG Open API等CAD软件二次开发接口获取零部件结构、装配关系、材料属性、几何尺寸等信息，并利用轻量化技术转换模型格式，提升信息提取效率；在技术文档处理方面，运用自然语言处理技术进行分词、词性标注、命名实体识别、语义依存分析，结合BERT、GPT等预训练语言模型理解语义，提取关键概念和技术参数，建立与设计规范的关联。

（二）设计规范知识图谱构建技术

在设计规范知识图谱构建技术中，首先通过命名实体识别、关系抽取等自然语言处理技术，从各类设计规范文本中自动抽取规范条款、适用条件、约束参数、相

关标准等关键知识点，获取结构化知识；接着运用实体对齐和属性对齐技术，对抽取的知识进行整合，消除重复与矛盾信息，将不同来源的知识统一表示，构建完整的设计规范知识体系；最后以三元组（实体，关系，实体）的形式构建设计规范知识图谱，直观展现知识间的关联关系，并利用图数据库（如Neo4j）进行存储，从而支持高效的知识查询与推理。

（三）智能校验推理技术

在智能校验推理技术中，规则推理将设计规范转化为由前提条件和结论构成的规则库，校验时将提取的设计信息与规则库前提条件进行匹配，满足条件即触发规则得出结论，如针对轴类零件直径尺寸设计，设定“若轴的工作载荷大于X，且材料为Y，则轴径应不小于Z”这类规则进行校验；案例推理则通过收集以往设计案例与校验结果建立案例库，新的校验任务下达时，利用相似度计算检索相似案例，参考其解决方案辅助当前设计问题的判断；混合推理充分结合规则推理与案例推理的长处，对于存在明确规范条款的问题优先采用规则推理，面对复杂且难以用规则描述的问题则借助案例推理，以此提升校验的准确性与效率。

四、系统功能实现

（一）设计文档解析功能

用户通过应用层简洁友好的界面上传设计文档，设计文档解析模块会基于文档类型的识别，精准调用适配的解析算法。对于二维图纸，在图像识别处理环节，先通过灰度化、降噪等预处理操作，提升图纸图像质量，增强特征清晰度；再借助卷积神经网络（CNN）模型，如ResNet、YOLO等，对图纸中的几何图形、标注文字、符号等元素进行深度识别和分类，精确提取图形尺寸、公差标注等关键信息，并将其转换为结构化数据。例如，在机械零件二维图纸解析中，能快速定位螺栓孔的直径、位置公差等数据。对于三维模型，利用CAD软件的二次开发接口，如SolidWorks API、UG Open API等，深度获取模型的零部件结构、装配关系、材料属性、几何尺寸等信息，并结合轻量化技术，将复杂的三维模型转换为便于传输和处理的格式，如3MF、OBJ等，大幅提高信息提取效率和系统处理速度。技术文档的解析则依托自然语言处理技术，先进行分词、词性标注、命名实体识别、语义依存分析等基础处理，再借助BERT、GPT等预训练语言模型，深入理解文档语义，精准提取关键技术参数和设计要求。如从一份机床电气设计说明书中，准

确提取出电机功率、控制电路电压等核心参数。

（二）规范知识管理功能

规范知识管理模块为管理员和用户提供了全面且灵活的操作功能。管理员可通过模块便捷地将新的设计规范条款添加到规范知识库中，在录入过程中，系统支持对规范条款进行结构化编辑，详细填写适用条件、约束参数、相关标准等信息，确保规范知识的完整性和准确性。对于已有的规范，管理员能够随时进行修改和更新，同时可以灵活设置规范的生效时间和适用范围，比如针对特定型号的数控机床设计规范，可限定其仅在某系列产品设计中生效。在版本管理方面，系统会自动记录每次规范修改的内容、时间和操作人员，方便进行版本回溯和对比。用户则可以通过关键词、标准编号、主题分类等多种方式快速查询规范知识。例如，设计人员在进进行机床主轴设计时，通过输入“主轴刚度要求”关键词，就能迅速检索到相关的设计规范条款，还能查看该规范的历史版本和关联标准，为设计工作提供全面参考。

（三）智能校验功能

智能校验模块作为系统的核心功能模块，从数据层高效获取设计信息和规范知识，综合运用智能校验推理技术开展校验工作。在规则推理阶段，系统将设计规范转化为丰富且严谨的规则库，每条规则均由前提条件和结论构成。以机床导轨设计为例，规则库中可能存在“若导轨长度大于5米，且精度等级为P级，则直线度误差应不超过0.02mm/m”这样的规则。校验时，智能校验模块会将提取的设计信息与规则库中的前提条件进行快速匹配，一旦满足条件便立即触发相应规则，迅速定位明显违反规范的问题，实现对设计的初步筛查。对于复杂问题或规则无法覆盖的特殊情况，案例推理则发挥重要作用。系统预先收集大量以往的设计案例和校验结果，构建起庞大的案例库。当遇到新的设计校验任务时，通过相似度计算算法，从案例库中精准检索相似案例。例如，在新型数控机床的复杂传动机构设计校验中，若规则推理无法有效判断，系统会检索类似结构的设计案例，参考其解决方案和经验，辅助当前设计问题的判断和解决。在整个校验过程中，系统会详细记录每一步校验操作的步骤和依据，自动生成包含问题描述、规范条款引用、问题位置标注等丰富内容的详细校验报告，为设计

人员提供清晰明确的修改方向。

（四）结果展示与反馈功能

应用层以直观、可视化的界面呈现校验结果。对于图纸和模型中的问题，采用高亮、标注等醒目方式，精准直观地显示问题位置。比如在二维图纸上，用红色高亮圈出尺寸标注错误的区域；在三维模型中，通过箭头标注和闪烁效果突出显示装配干涉部位。对于技术文档中的问题，则以简洁明了的列表形式呈现，列表中不仅包含问题描述，还直接链接到具体的规范条款和相关设计内容，方便设计人员快速查阅和理解。同时，系统基于强大的知识图谱和校验算法，根据校验结果提供针对性的改进建议。

结论

本文设计并实现的面向数控机床的机械设计规范智能校验系统，通过融合计算机视觉、自然语言处理、知识图谱等技术，实现了设计文档的智能解析、规范知识的有效管理和设计规范的自动校验。实践应用表明，该系统能够显著提高数控机床机械设计的质量和效率，降低设计成本和风险，为制造业智能化设计提供了可靠的技术支持。未来，随着人工智能技术的不断发展，可进一步优化系统的校验算法，提高对复杂设计问题的处理能力；加强与更多设计软件和企业信息系统的集成，拓展系统的应用范围，为数控机床行业的高质量发展贡献更大力量。

参考文献

- [1] 孟博洋, 孙文星, 岳彩旭, 等. 面向数字孪生的多轴数控机床建模及实时可视化仿真[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2025, 30(01): 148-156.
- [2] 伍倪燕, 陈琪, 刘培涛, 等. 面向数控机床的等距双NURBS刀具轨迹插补技术[J]. 机械设计与研究, 2024, 40(05): 138-143.
- [3] 张远. 面向智能制造的数控机床互联互通互操作方案设计[J]. 农业工程与装备, 2024, 51(03): 28-30.
- [4] 刘铭. 面向数控机床智能化故障诊断的知识图谱关键技术研究[D]. 华中科技大学, 2024.
- [5] 邱凯. 面向多域博弈协同的复杂产品再设计方法研究[D]. 兰州理工大学, 2023.