

基于知识图谱的机械设计规范智能校验系统研究

吴鑫伟

嘉兴市红光机械有限公司 浙江嘉兴 314000

摘要: 本文聚焦机械设计规范校验过程中效率低下、准确性不足的行业难题,深入探索基于知识图谱技术的智能校验系统构建路径。通过系统收集、整理机械设计规范知识,构建专业化知识图谱模型,并以此为核心设计智能校验系统架构与算法。该系统能够实现机械设计方案的自动化、智能化校验,有效提升设计校验效率与质量,降低设计成本,为机械设计行业向智能化、数字化转型提供了理论依据与实践参考,助力企业在激烈的市场竞争中提升核心竞争力。

关键词: 知识图谱; 机械设计规范; 智能校验系统

引言

在制造业数字化、智能化浪潮下,机械设计规范体系日益复杂,其校验质量直接关乎产品性能与企业效益。传统人工校验效率低、易疏漏,计算机辅助软件又难以处理语义逻辑,致使设计返工频发,严重阻碍企业发展。知识图谱作为前沿技术,可整合知识资源、实现高效推理,为机械设计规范校验智能化升级提供了新方向。本研究致力于构建基于知识图谱的智能校验系统,以推动机械设计行业高质量发展。

一、研究背景与意义

(一) 机械设计规范的现状

当前,机械设计规范体系呈现出多层次、多维度的特点,包含国家标准、行业标准和企业标准。国家标准由国家标准化管理机构制定,具有权威性和通用性,是保障机械产品基本质量和安全的底线要求;行业标准由各行业协会或组织根据行业特性制定,对特定行业的机械设计具有更强的针对性和专业性;企业标准则是企业结合自身生产技术条件和产品特色制定的内部规范,旨在提升企业产品的独特竞争力。

(二) 知识图谱的基本概念与应用

知识图谱是以图形化的语义网络形式对知识进行表示和组织的技术,其核心由实体、关系和属性构成。实体代表现实世界中的事物或概念,如机械零件、设计标准等;关系描述实体之间的关联,如“属于”“适用”“约束”等;属性则用于刻画实体的特征和性质,例如零件的尺寸参数、材料的物理性能等。通过对实体、关系和属性的建模,知识图谱能够将海量、碎片化的知

识整合为结构化的知识网络,便于计算机进行存储、查询和推理。

二、知识图谱构建

(一) 机械设计规范知识的收集与整理

机械设计规范知识来源广泛且形式多样,主要包括公开的国家标准文档(如GB系列标准)、行业协会发布的行业标准、企业内部积累的设计规范资料,以及学术文献、技术手册、产品设计说明书等。采用网络爬虫技术从国家标准全文公开系统、行业标准数据库网站等平台抓取公开的标准文档;通过与合作企业,获取企业内部的设计规范、技术规程等资料;同时,收集相关学术文献和技术手册中的专业知识,建立原始知识数据集。

对原始知识进行系统整理时,首先依据规范的适用范围、专业领域和功能类别等维度进行分类。例如,按照专业领域可分为机械结构设计规范、电气控制设计规范、液压传动设计规范等;按照功能类别可分为基础标准、产品标准、方法标准等。然后,对每个规范文档进行深入分析,运用自然语言处理技术提取关键知识点,包括涉及的实体(如零件名称、材料类型、设备型号)、实体间关系(如零件与材料的使用关系、条款与设计要素的约束关系)和实体属性(如零件尺寸、材料力学性能指标)。

(二) 知识图谱的建模与实现

在知识图谱建模过程中,明确机械设计规范知识中的实体类型,主要包括机械零件实体(如齿轮、轴、轴承)、材料实体(如碳钢、铝合金、工程塑料)、设计参数实体(如尺寸公差、表面粗糙度、强度系数)、规范条款实体等。定义实体之间的关系,如“零件-材料”关

系表示零件所选用的材料；“条款-零件”关系表示规范条款对特定零件设计的约束；“条款-参数”关系表示规范条款对设计参数的限定等。同时，确定每个实体的属性，例如零件实体的属性包括零件名称、型号规格、功能用途；材料实体的属性包括材料名称、化学成分、物理性能等。

选择Neo4j图数据库作为知识图谱的存储载体，Neo4j具有强大的图数据处理能力，能够高效支持复杂的图查询和图遍历操作。利用Python语言结合py2neo库进行知识图谱的构建开发。将整理好的机械设计规范知识以三元组（实体1，关系，实体2）的形式导入Neo4j数据库，通过节点表示实体，边表示关系，构建出完整的机械设计规范知识图谱。

（三）知识图谱的更新与维护

由于机械设计领域技术发展迅速，新的规范标准不断出台，现有规范也会根据实际需求进行修订，因此知识图谱需要及时更新以保持其准确性和时效性。建立规范更新监测机制，定期访问标准发布机构网站、行业资讯平台，订阅相关规范更新通知，及时获取规范更新信息。当发现新的规范或现有规范修订时，按照知识图谱的构建流程，对新增或修改的知识进行抽取、融合和更新操作。

为确保知识图谱的质量，建立完善的质量评估和维护机制。设置数据校验规则，对知识图谱中的数据进行完整性检查（如是否存在缺失的实体、关系或属性）、一致性检查（如同一实体在不同关系中的表述是否一致）和准确性检查（如属性值是否符合实际情况）。同时，收集用户在使用智能校验系统过程中反馈的问题，对知识图谱中存在的错误、不准确或不完整的知识进行修正和补充，不断优化知识图谱的质量，为智能校验系统的稳定运行提供可靠保障。

三、智能校验系统架构

（一）系统总体架构设计

基于知识图谱的机械设计规范智能校验系统采用分层架构设计，自下而上依次为数据层、知识图谱层、智能处理层和应用层。数据层是系统的数据基础，负责收集、存储和管理多源异构数据，包括机械设计规范文档、设计方案文件（如CAD图纸、设计说明文档）、历史校验记录等，支持多种数据格式的存储和读取。

知识图谱层基于数据层的数据，通过知识获取、抽取、融合等操作构建和维护机械设计规范知识图谱，为智能处理层提供结构化的知识支持。智能处理层是系统

的核心处理层，利用知识图谱和设计方案数据，通过自然语言处理、推理算法等技术，对设计方案进行智能校验，分析设计方案是否符合相关规范要求。应用层为用户提供友好的交互界面，实现设计方案上传、校验结果查看、知识查询、系统设置等功能，方便用户与系统进行交互操作。

（二）关键技术与工具选择

在系统开发过程中，选用Neo4j作为知识图谱存储工具，其强大的图数据处理能力和高效的查询性能，能够满足机械设计规范知识图谱复杂的知识存储和查询需求。自然语言处理方面，采用NLTK、spaCy等工具进行文本的基础处理，包括分词、词性标注、命名实体识别等；结合机械设计领域的专业语料库，使用Transformer架构的预训练语言模型（如BERT）进行微调，提高对机械设计文本的语义理解能力。

推理引擎的实现借助Drools规则引擎，用于基于规则的推理，将提取的校验规则转化为Drools可执行的规则代码；同时，利用图神经网络（GNN）技术进行基于语义的推理，挖掘知识图谱中隐含的语义关系。系统开发语言选择Python，其丰富的第三方库和简洁的语法结构便于快速开发；后端采用Flask框架搭建服务，提供稳定的API接口；前端使用Vue.js框架实现用户界面的开发，打造交互流畅、界面友好的用户体验。

（三）系统模块划分与功能描述

系统划分为数据管理模块、知识图谱构建模块、智能校验模块和用户交互模块。数据管理模块负责数据的全生命周期管理，包括数据采集、数据清洗、数据存储和数据更新。通过数据采集接口从不同数据源获取数据，对原始数据进行清洗，去除噪声和重复数据后存储到数据库；定期检查数据更新情况，及时同步最新数据。

知识图谱构建模块实现机械设计规范知识图谱的构建与维护，包括知识抽取、知识融合和知识图谱更新。利用自然语言处理技术从数据中抽取实体、关系和属性，将抽取的知识进行融合，消除矛盾和冗余；根据规范更新情况，对知识图谱进行实时或定期更新。

智能校验模块是系统的核心模块，接收用户上传的设计方案，对方案进行预处理，提取关键设计信息；将设计信息与知识图谱进行匹配，获取相关的规范知识和校验规则；通过推理引擎进行规则推理和语义推理，判断设计方案是否符合规范要求；最后生成详细的校验报告，包括存在的问题、违反的规范条款、改进建议等。用户交互模块为用户提供直观的操作界面，支持设计方

案的上传和下载，以可视化的方式展示校验结果，方便用户查看设计方案中存在的问题；提供知识查询功能，用户可根据关键词、规范条款编号等条件查询相关的设计规范知识；同时，支持用户对系统进行个性化设置，如校验规则的定制、显示偏好设置等。

四、校验算法设计与实现

(一) 校验规则的定义与提取

从机械设计规范知识图谱中提取校验规则，将规范条款转化为计算机可执行的规则形式。对于具有明确量化要求的条款，如“普通V带传动的小带轮基准直径应不小于125mm”，直接将其转化为规则条件，在Drools规则引擎中定义为：当设计方案中的小带轮基准直径小于125mm时，触发该规则，判定此设计不符合规范要求。

对于语义描述性条款，如“压力容器的设计应考虑介质的腐蚀性”，通过分析条款中的实体（压力容器、介质）和关系（考虑），结合知识图谱中的语义信息，转化为规则。在规则中设置条件判断，当设计方案中涉及压力容器设计，且未对介质腐蚀性采取相应设计措施时，触发规则，提示设计存在问题。将提取和定义好的校验规则整理成规则库，为设计方案的校验提供准确的判断依据。

(二) 校验流程的设计与优化

设计方案校验流程包括方案预处理、知识匹配、规则推理和结果判定四个主要环节。方案预处理阶段，对用户上传的设计方案文档（包括文本说明和图纸）进行处理。对于文本部分，利用自然语言处理技术进行分词、词性标注、命名实体识别和语义解析，提取关键设计信息；对于图纸，通过计算机视觉技术提取图形中的几何参数、零件信息等。知识匹配环节，将预处理后提取的设计信息与知识图谱中的知识进行匹配。采用基于语义相似度计算的方法，寻找与设计信息相关的规范知识和校验规则。

规则推理阶段，利用Drools规则引擎和图神经网络进行推理。Drools规则引擎根据匹配到的规则对设计方案进行基于规则的推理，判断设计方案是否满足明确的规则条件；图神经网络则基于知识图谱的语义网络结构，进行基于语义的推理，挖掘设计方案中潜在的合规性问题。结果判定阶段，综合规则推理的结果，生成校验结论。如果设计方案满足所有匹配到的校验规则，则判定设计方案符合规范要求；否则，指出设计方案中存在的

问题及违反的规范条款。

为提高校验效率，对校验流程进行优化。引入并行计算技术，在知识匹配和规则推理环节，利用多线程或分布式计算方式，并行处理不同的设计要素和规则，减少处理时间。建立缓存机制，对频繁使用的知识图谱数据和推理结果进行缓存，避免重复计算，进一步提升系统的响应速度和处理能力。

(三) 校验结果的反馈与可视化

智能校验系统生成的校验结果以结构化数据形式存储，包括问题描述、涉及的规范条款编号及内容、问题在设计方案中的具体位置（如文本段落、图纸坐标）、严重程度等级等信息。通过设计可视化界面，将校验结果直观地展示给用户。对于设计方案中的问题，采用不同颜色和图标进行标注。在图纸展示界面，直接在图纸上标记出存在问题的部位；在文本界面，高亮显示有问题的文本段落。用户点击标注处，可弹出详细的问题说明窗口，显示问题的具体描述、违反的规范条款依据以及相应的改进建议。

结论

本论文基于机械设计规范校验难题，构建基于知识图谱的智能校验系统。通过整合设计规范知识构建图谱模型，设计系统架构与算法，实现设计方案自动化校验，有效解决传统校验效率低、准确性差的问题。实际应用表明，该系统缩短校验周期、减少返工、降低成本，提升设计合规性与质量。但系统在复杂语义规范理解及与CAD、CAE等软件集成方面仍有不足。未来将深化人工智能技术应用，优化系统性能，加强软件集成，为机械设计行业智能化发展提供更强助力。

参考文献

- [1] 王婷. 知识图谱在机械工程制图课程中的应用研究[J]. 造纸装备及材料, 2024, 53(11): 182-184.
- [2] 黄晓萍, 陆晨芳, 赵一楠. 机械设计与制造资源库的知识图谱构建与智能化应用[J]. 造纸装备及材料, 2024, 53(08): 186-188.
- [3] 张尚. 基于知识图谱的滚动轴承推荐系统关键技术研究与应用[D]. 西安工业大学, 2024.
- [4] 张金刚. 基于知识图谱的机械零件结构方案智能设计方法[D]. 西安电子科技大学, 2023.