

基于知识图谱的电网工程建筑信息模型 质量检查方法

姜文明¹, 齐立忠², 张 苏², 荣经国², 武宏波², 左 超¹, 张晓龙¹

(1. 中国建筑科学研究院有限公司 北京构力科技有限公司, 北京 100013; 2. 国网经济技术研究院有限公司, 北京 102209)

摘要: 利用知识图谱技术改进了建筑信息模型(BIM)的质量审查方法, 选取电网工程的 BIM 模型为研究对象, 开发了基于知识图谱的 BIM 模型检查系统, 以验证其是否符合电网工程相关规范和标准。以某电气工程项目的 BIM 模型为案例, 生成了检验报告, 结果验证了本文方法的可行性和实用性。该技术为建筑设计与信息技术的深度融合提供了新的方向。

关键词: 工程管理; 知识图谱; 电网工程; 建筑信息模型; 检查方法

中图分类号: TP311 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5497(2024)03-0807-08

DOI: 10.13229/j.cnki.jdxbgxb.20230781

Quality inspection method of electric power engineering building information model based on knowledge graph

JIANG Wen-ming¹, QI Li-zhong², ZHANG Su², RONG Jing-guo²,
WU Hong-bo², ZUO Chao¹, ZHANG Xiao-long¹

(1. Beijing Glory PKPM Technology Co., Ltd., China Academy of Building Research, Beijing 100013, China; 2. State Grid Economic and Technological Research Institute Co., Ltd., Beijing 102209, China)

Abstract: Using knowledge graph technology to improve the quality review method of building information model, the BIM model of power grid engineering was selected as the research object, and a BIM model inspection system based on knowledge graph was developed to verify whether it meets the relevant specifications and standards of power grid engineering. By using the BIM model of a certain electrical engineering project as a case study, an inspection report was generated, and the results verified the feasibility and practicality of this method. This technology provides a new direction for the deep integration of architectural design and information technology.

Key words: project management; knowledge graph; electric power engineering; building information model (BIM); inspection method

收稿日期: 2023-07-25.

基金项目: 国家电网公司科技项目(5200-202156486A-0-5-ZN).

作者简介: 姜文明(1991-), 男, 博士研究生. 研究方向: CAD、BIM 技术与研究开发.

E-mail: jiangwenming@cabrtech.com

通信作者: 张苏(1989-), 女, 高级工程师, 博士. 研究方向: 电网工程大数据, 电网工程 BIM 技术国产化, 电力遥感.

E-mail: zhangsu615@163.com

0 引言

当前,社会经济水平稳步提高,电能作为生产生活中不可或缺的重要能源之一,能够极大地保障人们的各项需求,保障城市正常运行。随着社会电力需求的增加,电网工程的规模也逐年增大,对电网工程建设提出了更高的要求。随着电网工程规模的不断扩大和复杂性的增加,传统电网工程检查方法已经无法满足快速发展的需求。建筑信息模型(Building information model, BIM)技术作为一种集成建模工具,整合了建设过程各阶段的信息,提供了一种全面而精确的工程数据模型,可以极大地提高工程设计和施工效率。

然而,现有的BIM模型质量水平参差不齐,存在质量差、不规范以及不符合国家、行业、企业的建筑信息模型标准等问题,极大程度地影响了模型交付质量。当前的BIM模型检查方式多采用手动检查,效率低且工作量大,容易造成遗漏。电网工程具有规模大、周期长、技术复杂等特点,因此从设计、施工到竣工验收的建筑全生命周期将会产生大量数据^[1]。由于国家电网公司的各个系统之间相互独立,缺少统一的知识库对行业标准的相关数据进行梳理和贯通^[2]。因此,确保电网工程BIM模型的可靠性和精准性成为了一项非常重要的任务。为满足电网工程建设项目信息化发展的需求,需要规范BIM模型的建造过程,推动电网工程的BIM模型质量检查标准化、智能化发展。

本文基于知识图谱技术,研究了电网工程BIM模型质量检查方法。首先,采用知识图谱对电网工程的相关规范和标准进行分析,将电网工程相关的知识抽象为节点,抽取建筑规范和行业标准中的实体、属性和关系信息,处理文本数据,构建规范知识图谱。其次,开发电网工程BIM模型质量检查系统,通过对比BIM模型中的属性和知识图谱的知识库内容,快速检验BIM模型潜在的错误或不一致性,生成检查报告并定位模型存在问题的位置。本文研究成果能够扩展知识图谱在电网工程领域的应用,具有积极的理论意义和实践意义。

1 研究现状

1.1 电网工程领域知识图谱研究现状

知识图谱是将知识进行整理、分类和链接,最终以图形结构形式呈现的语义网络,该网络由节

点和边组成,网络节点表示实体、概念或属性,边表示它们之间的关系。知识图谱的基本单位是“实体-关系-实体”或“实体-属性-属性值”组成的三元组^[3]。实体代表现实世界的具体事物,关系代表实体之间的联系,属性用于描述实体的特征。

目前,国内外已有许多关于知识图谱在电网工程领域的研究成果。研究者们不断探索如何优化知识图谱的构建算法、提高其运算效率,并且提出了许多创新应用案例。周义棋等^[4]提出采用知识图谱构建电网紧急预案,提高了电网突发事件的处理效率。Zhang等^[5]基于知识图谱构建了一个异构电网系统框架,该框架使用了两种方法,分别是带有概念漂移检测的增量学习方法和基于逆向验证的迁移学习方法。结果表明,该框架能够优化传统的机器学习(Machine learning, ML)算法,实用价值更高。Yin等^[6]融合相关规则和知识,采用TextRank算法和语法规则分析方法构建知识图谱,开发了一个电网模型,该模型有助于人机双方对电网的相互理解。闪鑫等^[7]结合人工智能技术,探究了新一代人工智能技术对电网调控运行的重要驱动作用,表明知识图谱能够成为电网工程调度的智能辅助决策技术。

1.2 BIM模型质量检查研究现状

BIM模型质量检查的核心是合规性检查,目前该领域的研究重点是根据设计规范对模型进行检查。周逸苇等^[8]基于Web of Science核心数据库的相关文献,开展了BIM的自动合规性审查研究综述,分析了现有基于BIM的自动合规性审查研究内容并讨论了未来研究方向。吴松飞等^[9]梳理归纳了BIM技术相关的安全检查应用研究和相关技术,如规则翻译、模型准备等;针对当前规范检查存在的问题,提出了未来研究方向,包括全生命周期的安全检查系统、开发规则翻译技术或框架等。张伟胜^[10]通过收集并分析事故案例,对事故原因以及影响因素进行归纳整理,从而建立安全知识规则,又在此基础上结合BIM技术,构建基于BIM的安全规则识别系统,为设计师提供施工安全知识、降低事故发生率。Kim等^[11]将脚手架纳入对建筑施工影响范围内的考虑,构建基于规则的自动规划脚手架系统用于解决脚手架设计规划和采购问题。Martins等^[12]基于BIM技术,开发了应用程序,创建数据库和用户界面,进行建筑给水管网设计的自动检查。

然而,关于知识图谱在电网工程领域BIM模型质量检查的研究相对较少。因此,本文基于知识图谱和BIM技术,研究了电网工程领域BIM模型的质量检查方法。通过从电网工程设计标准和规范中提取概念实体、属性、关系、规则等,建立了电网工程知识图谱。创建了BIM模型质量检查系统,提取了BIM模型数据并与知识图谱进行对比分析,实现了电网工程BIM模型合规性的自动检查。

2 基于知识图谱的电网工程BIM模型检查方法

2.1 知识图谱的构建过程

知识图谱能够以结构化的形式表示概念与实体的复杂关系。在电网建设中,知识图谱可以将各类电力设备及其相关信息整合为一个结构化的知识体系。知识图谱的构建过程包括知识获取、知识抽取、知识融合和知识存储,如图1所示。

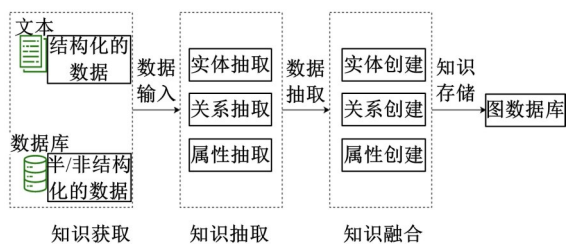


图1 知识图谱构建过程

Fig. 1 Construction process of knowledge map

2.1.1 知识获取

知识的获取资源包括结构化数据、半结构化数据和非结构化数据^[13]。本文研究的知识来源为电网工程领域的国家规范、行业标准指南以及相关技术文献和专业出版物,如《民用建筑电气设计标准》(GB51348—2019)、《建筑电气工程施工质量验收规范》(GB50303—2015)、《35~110 kV变电站设计规范》(GB50059—2011)、《110~750 kV架空输电线路设计规范》(GB50545—2010)等这些文档提供了建立知识图谱所需的基础信息和指导。通过对文档数据进行清洗和预处理获取知识,包括去除噪声、标准化格式、提取关键信息等过程。

2.1.2 知识抽取

知识抽取是自然语言处理(Natural language processing, NLP)的重要分支^[14],它是指从半结构化和非结构化数据的自然语言文本中提取特定信息或知识的过程,包括实体识别、属性抽取、关系

抽取和事件抽取。实体识别和关系抽取是最重要的两个部分^[15]。通过自然语言处理技术对文本数据进行实体识别,识别出非结构化文本中的实体对象。然后,采用文本分析和数据挖掘技术,从非结构化自然语言文本中提取出实体之间的关系。信息抽取是构建知识图谱的关键步骤,通过从海量数据中提取信息,能够实现知识的结构化。通过信息抽取可以帮助人们从大量文本数据中快速提取有用信息,提高信息处理的效率和准确性。可以使用NLP技术对文本进行分词、词性标注、实体识别等处理。

2.1.3 知识融合

知识融合是指将不同来源的知识图谱中的实体、关系和属性进行整合,以生成一个更全面、一致和准确的知识图谱。知识融合的方法可以分为基于规则的方法和基于统计的方法:基于规则的方法依赖于领域专家定义的规则和知识,通过规则匹配和逻辑推理进行融合;基于统计的方法则通过分析和挖掘多个知识图谱中的统计信息(如实体共现和关系频率等)进行融合。

2.1.4 知识存储

将实体和关系表示成图的形式,并将其存储在图数据库中,使用图的节点表示实体、使用边表示实体之间的关系。图数据库是一种非关系型数据库,可以解决现有关系数据库的局限性。通过图数据库能够简单、快速地展现复杂层次结构关系。常用的图数据库软件为Neo4j,采用的数据存储类型为“节点+关系”^[16]。创建一个图形数据库存储和管理数据,定义实体类型、属性和关系,并将数据导入到图数据库中。

2.2 知识图谱的构建过程

电网信息模型(Grid information model, GIM),是国家电网有限公司为满足输变电工程三维设计的需要,统一模型构架和数据交互格式,实现工程全生命周期的数据共享而编制的三维标准^[17]。将GIM导入到BIMBase中对于承接电力行业模型具有非常重要的意义。导入GIM功能可以支持在工程环境中创建电力模型,并能支持查看、编辑等操作。随着国网三维数字化建设进程的发展推进,电网工程的设计成果均要求以GIM格式交付。GIM工程数据包含了电网工程全信息模型,极大地节约了三维工程交付所占用的空间;GIM作为电力行业的一种通用数据格式,解决了跨设

计软件模型文件不通用的问题,为将来的智慧化运行维护提供底层数据支撑。

为了构建知识图谱,需要广泛收集电网工程的相关数据,并对其进行整理和标准化处理,建立规则库。规则库中的数据包括电网设备的参数、材料特性、工程标准等。通过将这些数据与现有

电网知识进行关联,可以构建起一个全面且准确的知识图谱。

图 2 为电网工程知识图谱的构建流程,根据该流程将 BIM 模型文件转换成 GIM 文件进行信息提取,基于规则库进行规范检查,判断 BIM 模型是否符合规范。

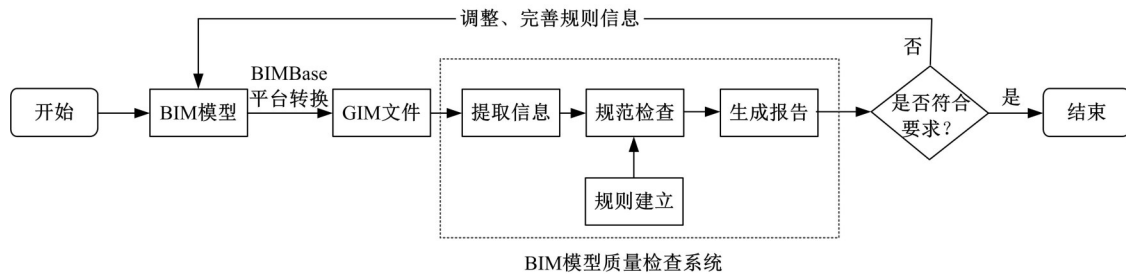


图 2 电网工程知识图谱构建流程

Fig. 2 Construction process of power grid engineering knowledge map

2.2.1 数据提取

首先,使用 BIMBase 将电气工程的 BIM 模型转换成 GIM 文件格式,从该文件中提取相关数据,包括构件属性、空间关系、材料信息、构件间的连接关系等信息。将提取的 BIM 数据转换为适合知识图谱的数据格式,如资源描述框架(Resource description framework, RDF)或网络本体语言(Web ontology language, OWL)。RDF 是一种用于描述资源的框架,它使用主语-谓词-宾语的三元组结构表示知识。RDF 数据可以使用 RDF/XML、Turtle、N-Triples 等格式进行存储和交换。OWL 是一种用于表示本体的语言,它建立在 RDF 之上,提供了更丰富的建模能力,包括定义类、属性、关系等。OWL 可以使用 RDF/XML、Turtle 等格式进行存储和交换。

2.2.2 规则建立

在电气工程领域,规范是确保项目顺利进行和安全运行的关键因素之一。电气工程规范涵盖了从设计、施工到维护的各个方面,对于确保电气设备和系统的可靠性和安全性至关重要。通过自然语言处理和机器学习技术,对收集到的规范文档进行知识抽取和标注,识别文本中的关键概念、术语、定义和关系,将其转化为结构化的数据形式。使用实体识别技术将文本中的电气设备、系统和标准名称提取出来,将其与相应的定义和属性关联起来。根据电气工程规范,定义检查规则判断 BIM 模型是否符合规范,包括构件要求、尺寸标准、电气布局等。将规范定义导入到知识图谱中,作为规则库。

BIM 模型的不同对象可以表示为图谱中的节点,并且各个对象之间的关系可以表示图谱中的边。通过分析电气工程的规范条文,可以获得实体与实体以及实体与属性之间的关系。本文使用 Neo4j 软件构建电气工程规范的知识图谱,如图 3 所示。该图谱是对电气工程的金属导管、电缆桥架、母线槽等铺设间距和要求所构建的知识图谱。

2.2.3 规范检查

知识图谱是一种用于组织和表示知识的图形化工具,它能够帮助人们更好地理解和应用特定领域的知识。为了构建电气工程的知识图谱,首先,需要收集和整理大量的电气工程知识,定义实体类别、属性和关系,并将提取的 BIM 模型数据存储到知识图谱中。将收集到的 BIM 模型数据表示为知识图谱中的节点和关系,将生成的知识图谱进行可视化。使用知识图谱中的数据和规则库,对 BIM 模型进行规范检查。将待检查的 BIM 模型导入到知识图谱中,获取 BIM 模型数据,应用检查算法对模型进行规范检查,比对实际构件属性与规范要求,检查错误、确定不符合要求的构件等,检查涵盖模型的完整性、一致性、符合性等方面。

首先,进行规则匹配,采用计算机技术建立规则库与 BIM 模型信息的匹配关系,包括模型构件的类别、名称、属性、材质等参数信息。其次,进行规则执行,通过提取电气工程 BIM 模型的几何信息,如构件之间的间距,将模型构件的间距与规范要求的间距进行对比,判断构件铺设是否符合规范。最后,采用 BIMBase 软件开发 BIM 模型质量检查系统,进行电气工程 BIM 模型的规则检查和

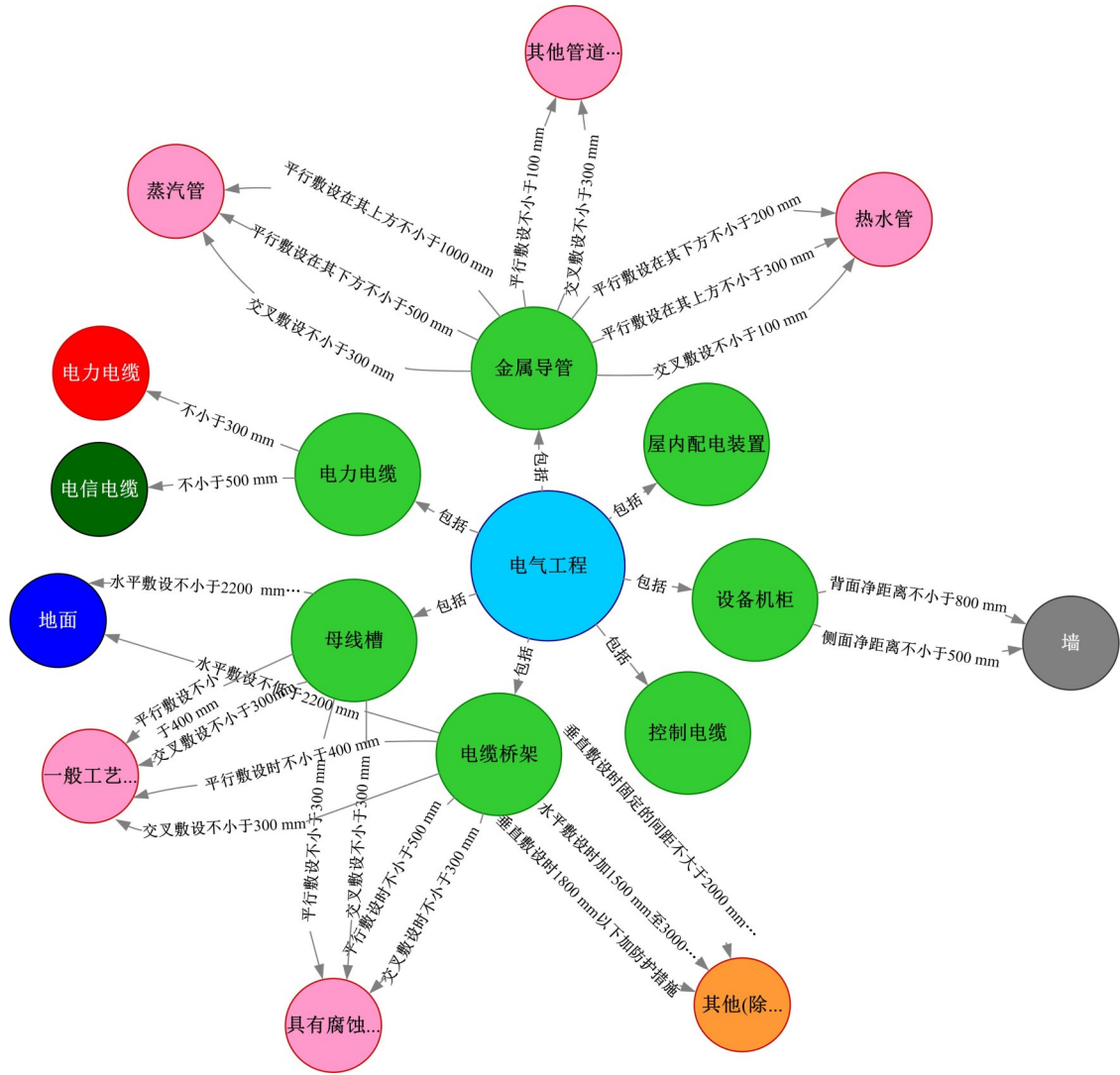


图 3 电气工程规范知识图谱

Fig. 3 Knowledge map of electrical engineering specification

应用。在检查完成后,输出规范检查的结果,标识出不符合规范要求的构件,并生成相关报告。

3 电气工程 BIM 模型质量检查系统开发组织及开发框架

3.1 系统开发的实施组织

本文研究成果是国家电网公司科技项目“电网工程 BIM 关键技术国产化研究与应用”的核心成果之一,由国网经济技术研究院有限公司和中国建筑科学研究院有限公司联合攻关,并组织国网地方电力公司等多家单位,组成“产学研”联合团队,以解决国家重大基础设施的自主 BIM 软件“卡脖子”问题。

围绕“电网工程 BIM 关键技术国产化研究与应用”课题拟解决的电网工程三维设计和移交交

付方面的问题,涵盖了电气设计、照明设计、总图设计、建筑设计、结构设计、水暖设计、移交等变电站全专业设计模块,以及 GIM 模型的移交和多方协同工作需求。本文系统开发组织分工如图 4 所示。在组织分工上,国网经济技术研究院为主要的的需求提出方;中国建筑科学研究院为主要的功能开发方;国网地方电力公司则承担了实际工程测试检验和落地应用转化工作。

3.2 系统开发的功能需求及流程

根据系统需求,移交模块主要实现模型解析、导出和质检 3 大方面的功能。为此,先将前期设计阶段的 BIM 模型转换成 GIM 文件格式;再使用 GIM 规范检查工具,检查模型的属性规范性、属性值合规性、图元合规性等多种规范性和逻辑性错误。模型质量检查的主要工作包括以下 3 个方面。

(1)图元合规性:检查各类设备是否由基本图

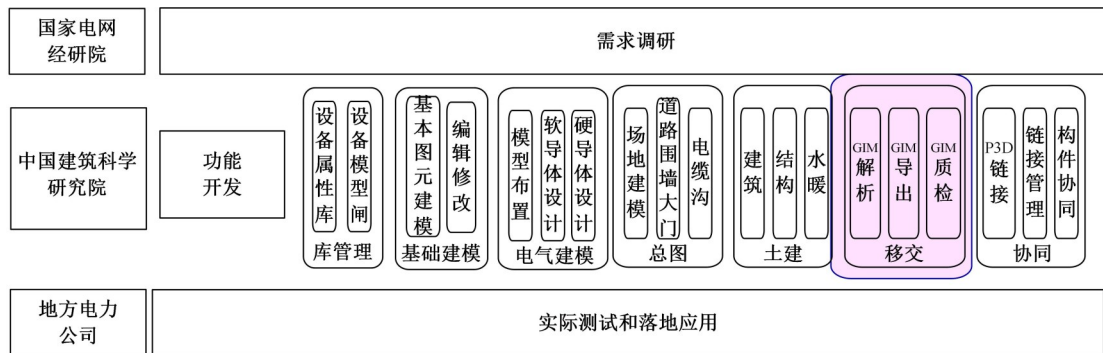


图4 系统开发组织分工

Fig. 4 Division of research organization

元构成。

(2) 构件完整性: 检查各类设备中子部件是否完整, 包括构件建模层级是否正确以及部件名称是否统一, 部件名称需和对应设备的几何细度表中“建模内容”保持一致。

(3) 属性合规性: 检查层级属性和设备属性的合规性, 设备属性或子部件是否为空, 属性值是否符合类型要求: ①检测要求属性项名称和规范保持一致; ②属性项数量和规范不得少于规范要求数量, 支持属性项拓展; ③属性值按照工程实际填写并完整录入。

BIM模型的质量检查流程如图5所示。

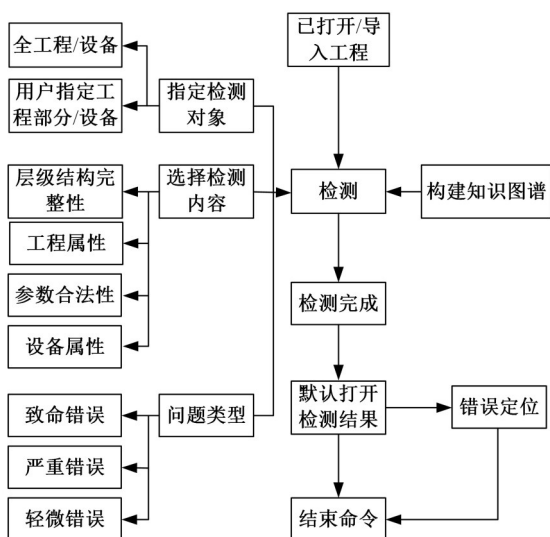


图5 BIM模型质量检查流程

Fig. 5 Quality inspection process of BIM model

4 电气工程BIM模型质量检查系统的功能实现与测试

4.1 检查系统功能界面

4.1.1 GIM工程导入

在“设计移交”→“GIM交付工具”界面增加

“导入GIM工程”按钮, 如图6所示。在模型导入后, 可以在工程组件库中看到所有导入的组件, 并对其进行属性查看和编辑等。在左侧属性面板中, 能够显示导入GIM文件中的各构件相关属性信息, 在其实例属性中平铺显示其中英文名称和对应的属性值, 如图7所示。



图6 功能按钮设置

Fig. 6 Function button setting

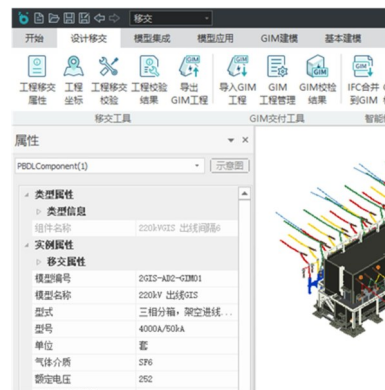


图7 设备属性信息

Fig. 7 Equipment attribute information

4.1.2 GIM文件校验修复

在菜单栏中开发了“设计移交”模块, 如图8所示。设计移交下, 分为“移交工具”、“GIM交付工具”、“智能修复”、“属性”4个子项。“GIM交付工具”



图8 GIM工具模块

Fig. 8 Equipment attribute information

工具”子项中包括了“GIM 校验结果”,“智能修复”子项中包括了“GIM 文件校验修复”,为用户提供2种不同导出模式,分2个按钮进行操作。

点击“GIM 文件校验修复”按钮,开启流程。通过选择 GIM 文件、校验规则、是否同步修复文件、选择校验报告导出路径,进行全部校验,如图9所示。



图9 GIM文件校验界面

Fig. 9 GIM file verification interface

需要说明的是,根据国家电网的开发需求调研,基于知识图谱形成的规范检查“问题类型”分为三大类:①致命错误定义:此类错误无法做GIM解析,不能显示在模型中;②严重错误定义:此类错误会导致构件丢失或显示错误,属性缺失;③轻微错误定义:此类错误会导致构件解析不规范,但不会影响构件的信息,建议进行修复。该检查系统能够提供问题类型的注释,在“问题类型”后增加一个“?”符号,当用户鼠标悬浮在“?”上时,显示注释“不同问题类型的定义”,当用户单击“?”时,弹出对话框,用户点击“×”后可以回到GIM检测的对话框。

在GIM检测完成后,单击“GIM 校验结果”按钮,在界面右侧会弹出检测结果对话框,如图10所示。检测结果对话框是嵌在界面中的,不占据模型显示窗口,效果类似于左侧的视图浏览,并提供了问题筛选、处理建议和问题定位等工具。

(1)筛选模式:该系统提供“错误级别”和“处理结果”两种筛选模式。

(2)检测结果处理建议:可以根据问题类型的规范条文说明,自定义该检测结果的处理详情,便于在筛选中明确错误是否修改完善。

(3)定位功能:单击具体问题的“定位”按钮时,模型应该实时跳转到该问题的位置,实现结果和模型的联动性。

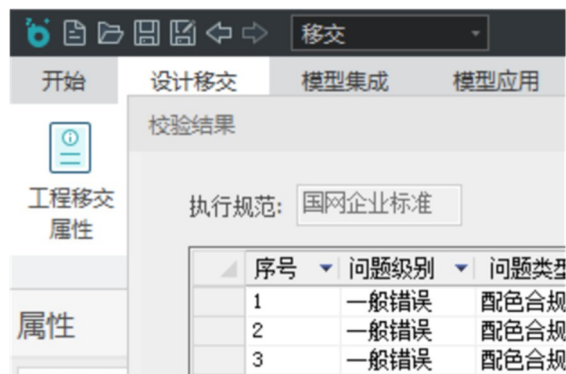


图10 检测结果对话框

Fig. 10 Test results dialog box

4.2 模型质量检查校验报告

根据开发需求,GIM模型文件检测完成之后生成的校验报告,如图9所示。默认的存储路径为导入的GIM文件同级路径。用户点击选中任一报告按钮后,界面锁定并弹出对话框,最后一项“存储路径”,用户可以点击“浏览”按钮,对存储路径进行选择。

模型质量检查校验报告导出完成后,在命令行提示“导出完成”。检测报告包括模型完整性、模型合规性、图元合规性和属性完整性等模型质量检查结果。

5 结束语

本文将知识图谱技术应用于电网工程领域,基于海量的规范文本数据构建该领域的知识图谱,解决现有BIM模型检查效率低、检验错误或遗漏等技术问题,实现智能、可持续的电网发展。本文基于知识图谱技术,建立了电气工程的规范知识库,创建了电气工程BIM模型质量检查系统,检验模型不符合规范的地方并生成报告,同时进行错误定位。因此,采用知识图谱进行电气工程BIM模型的质量检查,能够建立起一个集成和易于访问的知识资源,为电气工程师和专业人士提供更好的支持和指导,有助于提高电气工程项目的质量和安全性,推动行业发展和创新。

参考文献:

- [1] 蒋玮,周颖,陈舒淇,等. 电网建设工程数据挖掘及知识图谱构建技术研究[J]. 电力信息与通信技术, 2021, 19(2): 15-22.
Jiang Wei, Zhou Ying, Chen Shu-qi, et al. Research on data mining and knowledge map construction technology of power grid infrastructure projects[J]. Elec-

- tric Power Information and Communication Technology, 2021, 19(2): 15-22.
- [2] 王渊, 彭晨辉, 王志强, 等. 知识图谱在电网全业务统一数据中心的应用[J]. 计算机工程与应用, 2019, 55(15): 104-109.
Wang Yuan, Peng Chen-hui, Wang Zhi-qiang, et al. Application of knowledge map in power grid full-service unified data center[J]. Computer Engineering and Application, 2019, 55(15): 104-109.
- [3] 沈伟豪, 钟燕飞, 王俊珏, 等. 多模态数据的洪涝灾害知识图谱构建与应用[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2023, 48(12): 2009-2018.
Shen Wei-hao, Zhong Yan-fei, Wang Jun-jue, et al. Construction and application of knowledge map of flood disaster based on multimodal data[J]. Journal of Wuhan University (Information Science Edition), 2023, 48(12): 2009-2018.
- [4] 周义棋, 刘畅, 龙增, 等. 电网应急预案知识图谱构建方法与应用[J]. 中国安全生产科学技术, 2023, 19(1): 5-13.
Zhou Yi-qi, Liu Chang, Long Zeng, et al. Construction method and application of power grid emergency plan knowledge map[J]. China Safety Production Science and Technology, 2023, 19(1): 5-13.
- [5] Zhang S J, Zheng G Q, Liu L, et al. A machine learning based knowledge graph framework for heterogeneous power grid systems[C]//IEEE International Conference on Consumer Electronics and Computer Engineering (IC-CECE), Guangzhou, China, 2021: 119-123.
- [6] Yin T, Lu N. Knowledge graph model of power grid for human-machine mutual understanding[C]//Chinese Automation Congress (CAC), Shanghai, China, 2021: 6165-6169.
- [7] 闪鑫, 陆晓, 翟明玉, 等. 人工智能应用于电网调控的关键技术分析[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(1): 49-57.
Shan Xin, Lu Xiao, Zhai Ming-yu, et al. Analysis of key technologies of artificial intelligence applied to power grid regulation[J]. Power System Automation, 2019, 43(1): 49-57.
- [8] 周逸苇, 王广斌, 曹冬平. 基于BIM的自动合规性审查研究综述[J/OL]. [2024-02-19]. <https://doi.org/10.15951/j.tmgcxb.22121210>
- [9] 吴松飞, 邓逸川, 申琪玉, 等. BIM支持的施工安全规范合规检查研究综述[J]. 图学学报, 2018, 39(6): 1156-1164.
Wu Song-fei, Deng Yi-chuan, Shen Qi-yu, et al. BIM-supported research on compliance inspection of construction safety standards[J]. Journal of Graphics, 2018, 39(6): 1156-1164.
- [10] 张伟胜. 集成BIM与安全规则的不安全设计因素自动识别机制研究[D]. 北京: 清华大学土木水利学院, 2015.
Zhang Wei-sheng. Research on automatic identification mechanism of unsafe design factors integrating BIM and safety rules[D]. Beijing: School of Civil Engineering, Tsinghua University, 2015.
- [11] Kim K, Teizer J. Automatic design and planning of scaffolding systems using building information modeling[J]. Advanced Engineering Informatics, 2014, 28(1): 66-80.
- [12] Martins J P, Monteiro A. LicA: a BIM based automated code-checking application for water distribution systems[J]. Automation in Construction, 2013, 29: 12-23.
- [13] 蒲天骄, 谈元鹏, 彭国政, 等. 电力领域知识图谱的构建与应用[J]. 电网技术, 2021, 45(6): 2080-2091.
Pu Tian-jiao, Tan Yuan-peng, Peng Guo-zheng, et al. Construction and application of knowledge map in power field[J]. Power Grid Technology, 2021, 45(6): 2080-2091.
- [14] 排日旦·阿布都热依木, 吐尔地·托合提, 艾斯卡尔·艾木都拉. 基于深度学习的实体关系抽取方法研究[J]. 计算机工程与科学, 2023, 45(5): 895-902.
Pairidan Abdul Reyimu, Tuerdi Tuoheti, Escar Amudula. Research on entity relationship extraction method based on deep learning[J]. Computer Engineering and Science, 2023, 45(5): 895-902.
- [15] 宋云华. 面向知识图谱扩充的非结构化文本知识抽取研究[D]. 湘潭: 湘潭大学信息工程学院, 2020.
Song Yun-hua. Research on unstructured text knowledge extraction for knowledge map expansion[D]. Xiangtan: College of Information Engineering, Xiangtan University, 2020.
- [16] 安芃, 胡振中, 林佳瑞, 等. 知识图谱对工程安全管理的智能支持方法研究[J/OL]. [2023-07-15]. <https://linjiarui.net/files/2022-11-19-intelligent-decision-support-for-construction-safety-based-on-knowledge-graph.pdf>
- [17] 齐立忠, 张苏, 张亚平, 等. 基于GIM模型的输电线路通道隐患快速检测[J]. 电力建设, 2023, 44(1): 100-108.
Qi Li-zhong, Zhang Su, Zhang Ya-ping, et al. Rapid detection of hidden dangers in transmission lines based on GIM model[J]. Electric Power Construction, 2023, 44(1): 100-108.