

# 知识图谱对工程安全管理的智能支持方法研究

安 芑<sup>1</sup>, 胡振中<sup>1</sup>, 林佳瑞<sup>2</sup>, 伍 震<sup>1</sup>, 于言滔<sup>3</sup>

(1.清华大学深圳国际研究生院, 广东 深圳 518055; 2.清华大学土木工程系, 北京 100084;  
3.香港科技大学土木与环境工程系)

**【摘 要】**工程安全管理的数字化转型需要以知识支持为导向。针对建筑行业积累的大量安全生产资料, 知识图谱技术的引入可实现数据集成向知识集成的转换, 提升信息的价值密度和应用广度。本研究选取公路工程安全领域为研究对象, 通过构建知识图谱的方法为工程安全管理提供知识支持, 并基于 BIM 模型实例, 展示知识图谱在实际场景下对安全管理的引导作用。

**【关键词】**知识图谱; 公路工程; 安全管理; 智能支持

## 1 引言

现阶段, 传统的工程建设领域正面临数字化、信息化的转型升级: 以 BIM、GIS、物联网、区块链、人工智能为代表的数字技术逐步在工程建造中得到应用, 工程管理的平台化、集成化趋势面向全生命周期扩展。在“工程+IT”的新型发展环境下, 机器辅助的风险评估、隐患排查、方案编制、管理决策等技术前景为工程安全管理水平的提升带来新的契机。

目前, BIM、GIS 等模型富集了工程项目的多维度信息, 而基于模型信息的智能化应用场景则需要以知识支持为导向。经过长时间的发展和沉淀, 建筑业积累了大量的安全生产资料, 包括各类规范、标准、项目文件、监测数据等格式多样的数据, 可作为知识的来源。从数据的集成转化为知识的集成, 有助于信息价值密度的提升和智能化应用潜力的发掘。

知识图谱是推进知识富集的关键技术。它基于“实体-关系-实体”三元组实现数据的连接, 形成网状知识结构<sup>[1]</sup>。基于海量数据, 知识图谱技术可实现知识的自动化提取、加工、推理和融合<sup>[2]</sup>, 并以结构化的形式储存、呈现客观世界中的概念及逻辑。

运用知识提取的方法构建领域知识图谱, 关联 BIM 模型中的构件和信息, 可推动模型的自动化审查, 辅助安全生产方案的制定。本研究选取公路工程安全领域为研究实例, 基于规范文本数据构建大型知识图谱, 并面向实际应用场景进行知识图谱的加工和组织, 进而以桥梁公路的 BIM 模型为应用实例, 探究领域

知识图谱与 BIM 模型的关联为工程安全生产带来的价值。

## 2 研究现状

知识图谱由概念、实体、关系和属性等元素构成，在逻辑上分为数据层、本体层两个层次（图 1）。本体层用于规定知识的架构体系，一般是组织性较好的层状结构；数据层用于组织具体的知识，为网状拓扑结构<sup>[3]</sup>。按照顺序的不同，知识图谱的构建可采用由本体层到数据层、由数据层到本体层两种方法，均需要经历由非结构化转化为结构化数据的知识提取的过程。知识提取包含信息抽取、知识融合、知识库构建三个步骤，以下依次概述。

信息抽取包含实体抽取、关系抽取两个部分，均经历了基于规则和模板、基于机器学习、基于深度学习的发展历程。在建筑领域的研究中，利用 BiLSTM-CRF<sup>[4]</sup>算法进行实体识别，再结合卷积神经网络相关算法进行关系抽取的深度学习框架近年来较为常见，如王莉<sup>[5]</sup>将此方法应用于城市轨道交通安全管理知识图谱的构建，李新琴<sup>[6]</sup>在设备诊断中用此方法从故障文本信息中提取知识。

知识融合是将多源、异构的原始数据集形成的差异化知识统一至一个知识框架，需要经过本体融合和数据融合。本体融合构建的是本体层的映射关系，分为本体集成和本体映射<sup>[7]</sup>。数据融合实现数据层中多元数据集间的融合，包含实体和关系的融合。Mendes<sup>[8]</sup>提出了开放数据集成框架，推动了数据融合的标准化的。

知识库构建是将知识提取得到的网状结构最终存储于图数据库中。常用软件为 Neo4j 图数据库，采用“节点+关系”的数据存储类型。图数据库的表示形式包括可视化图形、表格、CSV、JSON 等。

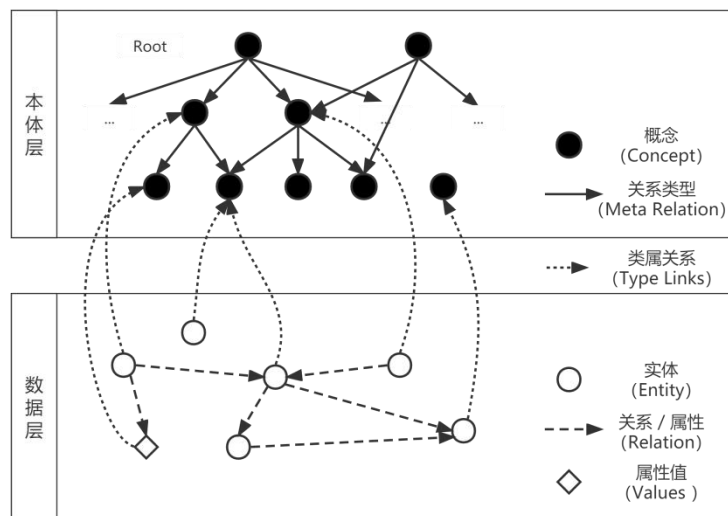


图 1 知识图谱的逻辑结构

### 3 研究方法

知识图谱技术是本研究的核心方法。本研究选取公路工程为研究领域，基于搜集的海量规范数据，采用以本体层指导数据层的方式构建知识图谱，为安全生产提供知识支持。实现步骤分为本体层的构建、数据层的构建、本体层和数据层的融合。

本体层的构建基于工程安全管理的核心概念与关系体系，采用多维度层状建模的方式总结出公路工程安全领域抽象化的概念体系，共分为6个主要维度。进而参考规范、指南、项目资料，基于类属和组分关系将各维度扩展为多层级的层状分类体系，作为知识图谱的本体层。扩展后的公路工程安全领域知识体系最大层级为7层，共包含390个有效节点（表1）。

表1 层状分类体系各维度的层级和节点数量统计

维度	层级数量	节点数量
特性维度	6	43
过程维度	6	66
管理维度	3	14
组织维度	3	12
对象维度	6	82
要素维度	7	173

数据层的构建是基于搜集的海量规范文本数据，编写算法提取公路工程领域的安全知识。图2展示了该算法的流程：输入规范文件后，依次进行规范文本提取、章节解构、复句分解、语句分词、知识提取等操作，将文本内容拆解为<实体、关系、实体>三元组形式的知识结构，最后对生成的知识图谱进行可视化。在此流程中，本体层转化为TXT格式的专业词库，导入LTP语言技术平台<sup>[9]</sup>，用作指导性字典，使语句分词提取的实体名词契合本体层中的节点，为数据的融合和关联提供条件。

将知识提取得到的知识结构导出为实体（Node）和关系（Edge）的集合，分批次导入Neo4j图数据库进行储存；进一步通过Cypher语句操作完成实体和数据的合并，得到知识图谱的数据层。经过统计，本研究的数据层有近30万个有效的实体结点。

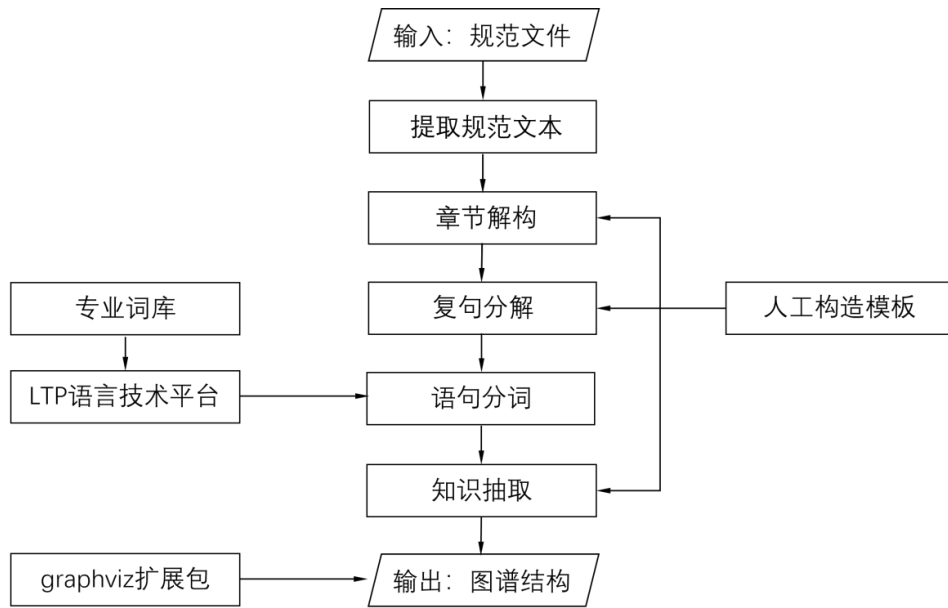


图 2 公路安全领域知识提取流程图

最后实现知识图谱本体层和数据层的融合。在 Neo4j 数据库中进行本体层和数据层同名实体的关联，成功建立大量连接（图 3），间接验证了本体层知识结点的有效性。关联后的数据储存于 Neo4j 图数据库，即为本研究生成的公路工程安全领域大型知识图谱。

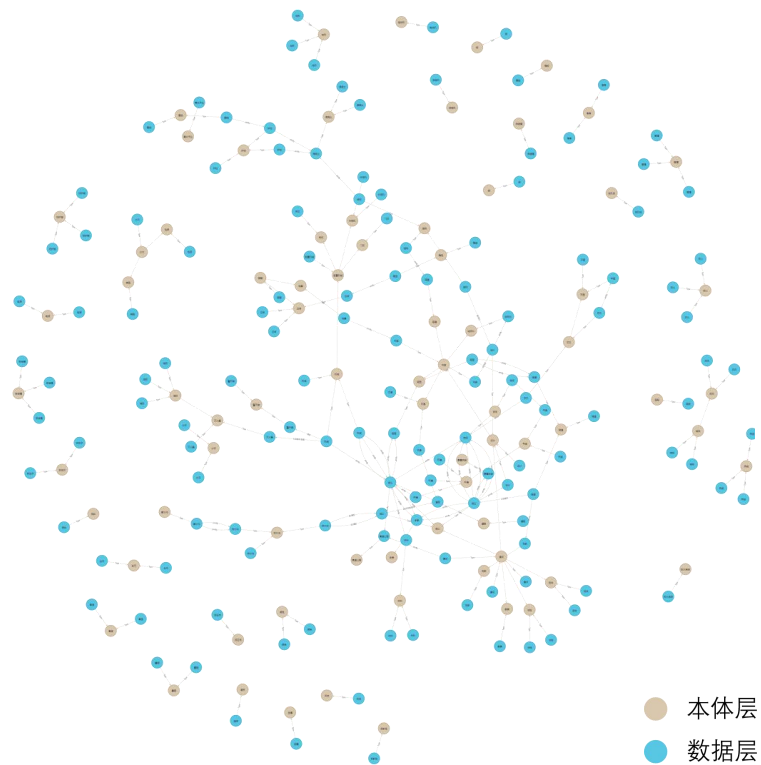


图 3 本体层、数据层融合结果局部图

## 4 应用实例

通过本体层、数据层的构建和关联，本研究得到了完整的知识图谱架构。本小节将结合一座立体交叉的桥梁公路的 BIM 模型，分析知识图谱对工程安全管理的智能支持方法，展示本研究的应用前景。

### 4.1 基于知识图谱的智能化搜索

传统的规范文件检索方式基于关键词的查找、溯源，返回未经加工过的、庞杂的文本信息，不便于信息的高效获取和智能化应用；且由于自然语言表达具有多样、复杂的特点，这种方式的查准率和查全率普遍较低。

智能化搜索技术基于结构化知识数据库，将指令中的核心语义映射至数据库中的实体或关系；再依据图谱中的语义结构，返回有组织结构化知识。本研究应用的智能搜索技术为关键词检索，即基于目标词语自动化构造数据库查询语句，匹配数据库中相似度较高的实体，返回实体和相连的关系。借助知识图谱本体层对数据层的引导，检索出的知识结构可用层次化的逻辑形式进行展开（图 4）。

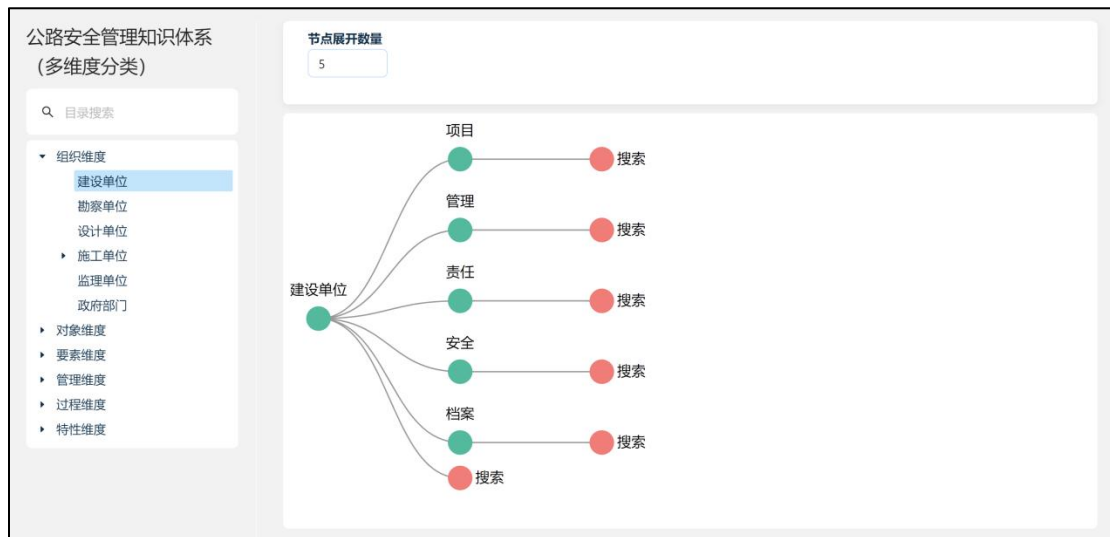


图 4 本体层引导的知识展开形式示意图

以 BIM 模型实例中包含的重要构件“连续钢箱梁”为例进行智能化检索，以知识名片的形式展示检索结果（图 5）。如图 5 所示，在构建的知识图谱中，“连续钢箱梁”的基本信息反映在类属、特点、组成、属性等结点中，以“包含”“判断”等逻辑形式连接知识单元，进一步可应用于模型构件、参数信息的审查和推断。规范中与“连续钢箱梁”相关的安全生产要求则反映在基于多维度分类体系展开的层状结构中，如图中的管理、施工、监测等维度及其子结构。这样的展开形式方便工程人员在编制方案、清单或从事相关作业时进行参考、检索，辅助工程的安全管理。

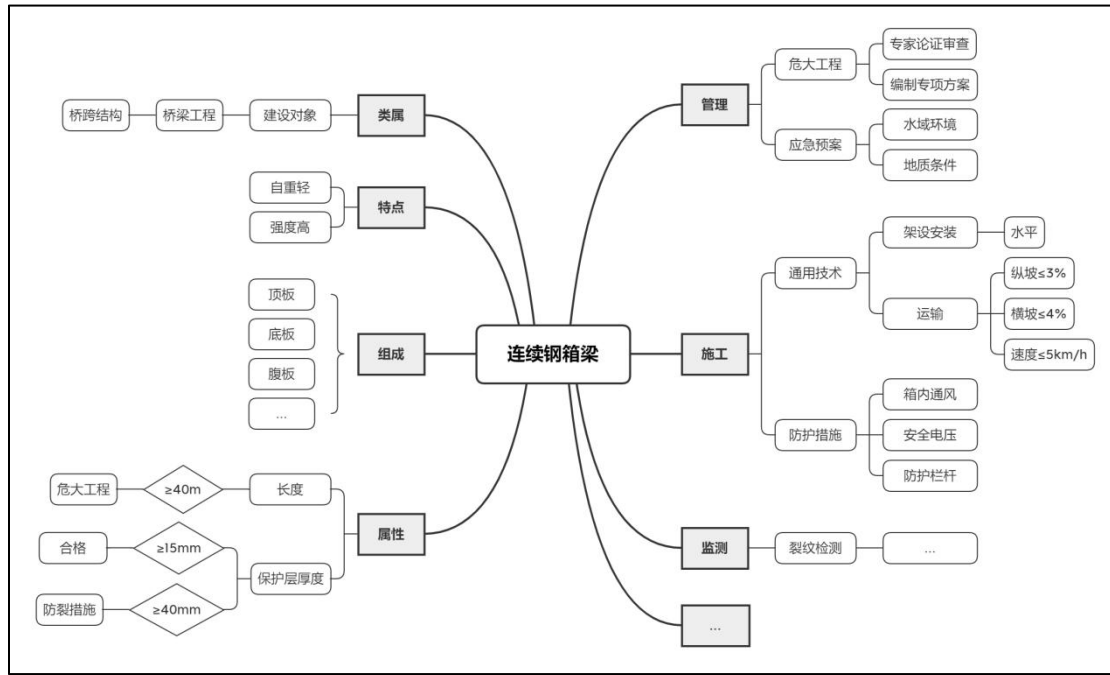


图 5 本体层引导的知识展开形式

## 4.2 基于智能化搜索的工程安全管理

利用智能化搜索的结果，本研究进而面向智能化风险管控的应用场景，将知识图谱应用于基于 BIM 模型的安全生产引导。

智能化风险管控基于海量知识数据和信息化技术，对工程中产生的各类安全数据进行排查，识别其中的隐患和风险。例如，当施工方案中的工序描述或安全措施与类似施工方案的常用模式不同或不满足规范中的约束条件时，能够及时给出安全预警信息，并提供可能的修改方案。

基于本研究的 BIM 模型实例，将智能化检索结果中的知识单元与模型信息进行有机关联，实现构件审查、安全生产指导等功能（图 6）。以“连续钢箱梁”构件为例，从 BIM 模型实例中，可获取构件名称、属性、参数等基本信息；导入智能化搜索得到的知识结构，可支持判断构件的组成、参数是否符合要求，捕捉构件的特征。例如图 6 中 BIM 模型显示该“连续钢箱梁”构件长度为 41m，检索知识图谱中的相关边界条件（ $\geq 40m$ ），可判定该构件的吊装属于危险工程；推断结果和判断依据标注于“构件审查”一栏，方便管理人员关注到项目的安全生产隐患，辅助 BIM 模型的审查。

与此同时，关联的智能化搜索结果中，以多维度分类体系为引导的知识结构可用于层状展开，以便管理人员有侧重地掌握围绕该构件的安全生产要求及其来源，如图 6 中“安全生产要求”一栏所示。未来伴随着 BIM 技术面向全生命周期的扩展，层状体系下的知识结构亦可以与 BIM 模型实现更深层次的结合，应用

于工程隐患的排查、安全作业的实时提示等工程场景。

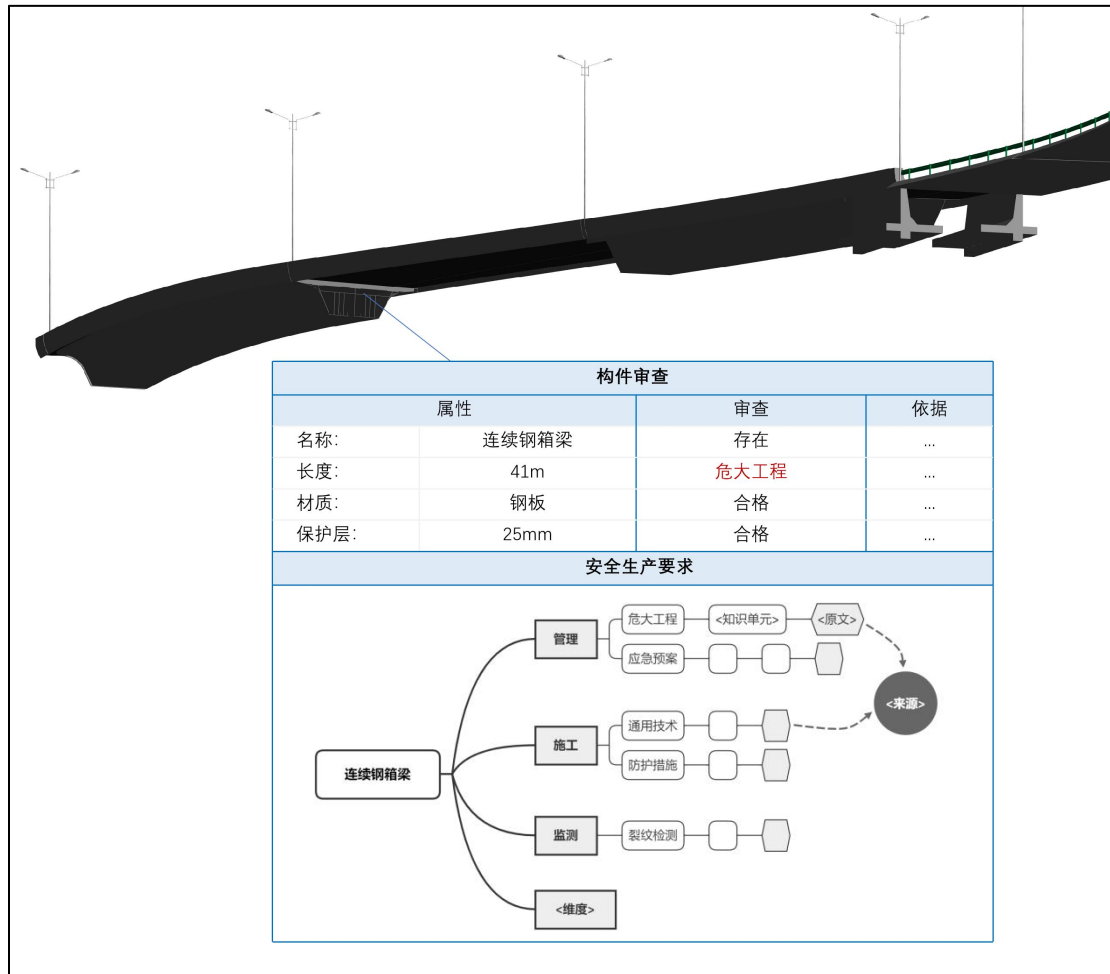


图 6 本体层引导的知识展开形式

## 5 总结

本文将知识图谱技术应用于公路工程安全领域，基于海量规范文本数据构建了领域大型知识图谱，储存于图数据库。进一步，将知识图谱应用于智能化检索，并与 BIM 模型进行关联，从构件审查、安全生产引导等维度阐明了该技术对于工程安全管理智能化的应用支持方法。

## 参考文献

- [1] 刘峤,李杨,段宏,刘瑶,秦志光.知识图谱构建技术综述[J].计算机研究与发展,2016,53(03): 582-600.
- [2] Al-Moslmi T , Ocaa M G , Opdahl A L , et al. Named Entity Extraction for Knowledge Graphs: A Literature Overview[J]. IEEE Access, 2020, 8(1):32862-32881.
- [3] 张吉祥,张祥森,武长旭,赵增顺.知识图谱构建技术综述[J/OL].计算机工程: 1-16.
- [4] Huang Z , Wei X , Kai Y . Bidirectional LSTM-CRF Models for Sequence Tagging[J]. Computer Science, 2015.
- [5] 王莉.基于知识图谱的城市轨道交通建设安全管理智能知识支持研究[D].中国矿业大学,2019.
- [6] 李新琴,史天运,李平,代明睿,张晓栋.基于文本的高速铁路信号设备故障知识抽取方法研究[J].铁道学报,2021,43(03):92-100.
- [7] YANNISKALFOGLOU, MARCOSCHORLEMMER. Ontology mapping: the state of the art[J]. The Knowledge Engineering Review, 2003.
- [8] Mendes, P.N., Mühleisen, H., Bizer, C.: Sieve: linked data quality assessment and fusion[C]// Proceedings of the 2nd International Workshop on Linked Web Data Management at Extending Database Technology. New York: ACM, 2012: 116-123.
- [9] Wanxiang Che, Zhenghua Li, Ting Liu. LTP: A Chinese Language Technology Platform. In Proceedings of the Coling 2010:Demonstrations. 2010.08, pp13-16, Beijing, China.