doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2025.06.014

基于知识图谱的地铁施工质量验收标准的知识组织与应用

王兴鹏[1]，籍仲轩[1]，王为鑫[2]
（1. 石家庄铁道大学管理学院，石家庄 050043；2. 中铁十四局集团有限公司，济南 250014）

摘　要：为了有效整合地铁施工质量验收标准的知识，解决目前地铁施工质量验收标准的知识组织方式单一、知识孤立且零散的问题，在收集国家和代表性城市发布的地铁施工质量验收标准基础上，利用生成式 AI 模型进行知识要素提取，并利用图数据库软件构建知识图谱，提出基于知识图谱的多维知识检索和节点重要性评价方法。以地铁明挖法车站施工为例，利用上述方法对该单位工程的质量验收各阶段的关键知识进行深入分析，并提出验收建议。地铁施工质量验收标准知识图谱可以提供全面的质量验收知识支持，对于提高地铁施工质量验收标准的知识管理水平和知识利用能力具有重要参考价值。

关键词：城市轨道交通；施工质量验收标准；知识组织；知识图谱；生成式 AI
中图分类号：U231　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1672-6073(2025)06-0107-09

Knowledge Organization and Application of Metro Construction Quality Acceptance Standards Based on Knowledge Graphs

WANG Xingpeng[1], JI Zhongxuan[1], WANG Weixin[2]
(1. School of Management, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043;
2. China Railway 14th Bureau Group Co., Ltd., Jinan 250014)

Abstract: This paper aims to effectively integrate knowledge from metro construction quality acceptance standards and address the current issues of singular knowledge organization methods, as well as isolated and fragmented knowledge. Based on the collection of metro construction quality acceptance standards issued by national and representative municipal authorities, generative AI was employed to extract key knowledge elements. A knowledge graph was then constructed using graph database software, and a multidimensional knowledge retrieval method along with node importance evaluation were proposed. Taking the construction of metro open-cut stations as an example, the proposed methods were applied to conduct an in-depth analysis of key knowledge at various stages of quality acceptance for this unit project, and acceptance recommendations were provided. [Conclusion] The knowledge graph of metro construction quality acceptance standards can offer comprehensive knowledge support for quality acceptance, providing significant reference value for improving the knowledge management level and utilization capability of metro construction quality acceptance standards.

Keywords: urban rail transit; metro construction quality acceptance standards; knowledge organization; knowledge graph; generative AI

收稿日期：2025-04-22　修回日期：2025-07-22

第一作者：王兴鹏，男，博士，教授，主要研究方向为安全风险管理，xingpengwang@163.com
通信作者：籍仲轩，男，硕士研究生，研究方向为安全风险管理，442657728@qq.com

基金项目：石家庄铁道大学研究生创新资助项目(YC202532)
引用格式：王兴鹏，籍仲轩，王为鑫. 基于知识图谱的地铁施工质量验收标准的知识组织与应用[J]. 都市快轨交通，2025，38(6)：107–115.
WANG Xingpeng, JI Zhongxuan, WANG Weixin. Knowledge organization and application of metro construction quality acceptance standards based on knowledge graphs[J]. Urban rapid rail transit, 2025, 38(6): 107–115.

随着城市轨道交通建设规模的扩大和施工技术复杂性的增加，施工质量验收的范围逐步扩大。地铁施工质量验收标准为城市轨道交通工程质量验收提供了重要遵循和知识支持，它包含大量质量验收相关知识，这些知识具有门类广、细节多、关联关系复杂等特点。而目前相关标准和规范多是以纸质或电子文档形式进行管理，信息化程度低，知识组织形式单一，知识孤立且零散，缺乏关联和整合，这导致在日常施工中，验收人员无法快速、准确、全面地获取质量验收相关知识，给质量验收工作带来困难，不利于施工项目的顺利进行。因此，采用先进的知识组织方法和技术对地铁施工质量验收标准的知识进行重新组织和整合具有重要意义。

在知识组织领域，常见的方法主要包括分类法与本体论。分类法是将信息资源按照特征进行系统分类，有助于根据特征快速检索知识。文玉锋等[1]针对古籍文献探讨了知识组织从静态检索向动态表征转变的实现路径。王燕红等[2]基于证据知识元开展知识组织研究，凭借定义和描述特定领域概念及其关系对文献进行系统分类。徐雷等[3]对科技文献内容进行系统分类与组织。本体论则是对特定领域中的概念以及概念间关系进行定义描述，有助于发现知识之间的内在逻辑。胡正银等[4]针对面向科学知识发现的造血干细胞知识图谱构建展开研究。翟可欣等[5]借助定义描述不同学科领域概念及其关系。崔靖华等[6]在基于 BIBFRAME 的馆藏书目数据知识组织研究中，运用本体论方法，对馆藏书目数据实施语义化组织。

新兴的知识图谱技术融合了分类法和本体论的优势，打破了传统知识组织方法的局限性，既可对文档内容进行快速检索，又可对错综复杂的文档数据进行有效加工、处理、整合，帮助人们更好地理解和利用复杂的知识领域。目前知识图谱已广泛应用于医疗[4]、金融[7]等多个领域。近年来，在工程建设领域的应用也日渐增多，主要集中在安全风险与工程事故的知识建模与分析中[8-11]。知识图谱在工程建设领域的应用方兴未艾，将其应用于工程建设标准和规范的研究成果较少，大都停留在对相关知识进行结构化表达，缺少对知识的进一步关联分析和挖掘，而针对地铁施工质量验收标准的应用研究更是鲜见。因此，本文针对地铁施工质量验收标准的知识组织和管理问题，提出一种基于知识图谱的地铁施工质量验收标准知识组织的解决方案，并对其应用进行探讨，实现相关知识的多维关联检索和施工关键环节识别与分析，可更好地提升验收知识管理效率，强化验收标准的知识检索与应用能力。

1 研究思路与数据来源

1.1 研究思路

本文研究分为三个主要步骤：①数据采集。收集地铁施工质量验收的相关标准，并对标准内容进行光学字符识别(optical character recognition，OCR)和处理，得到有关地铁施工质量验收标准的文本数据。②知识图谱构建。运用自然语言处理技术抽取文本数据中的实体及实体间关系，并通过图数据库 Neo4j 构建和存储知识图谱。③知识图谱的应用。基于构建的知识图谱对地铁施工质量验收标准进行多维关联查询，并对知识图谱中的节点重要性进行测度，在此基础上实现地铁施工关键环节的识别与分析。具体研究思路如图 1 所示。

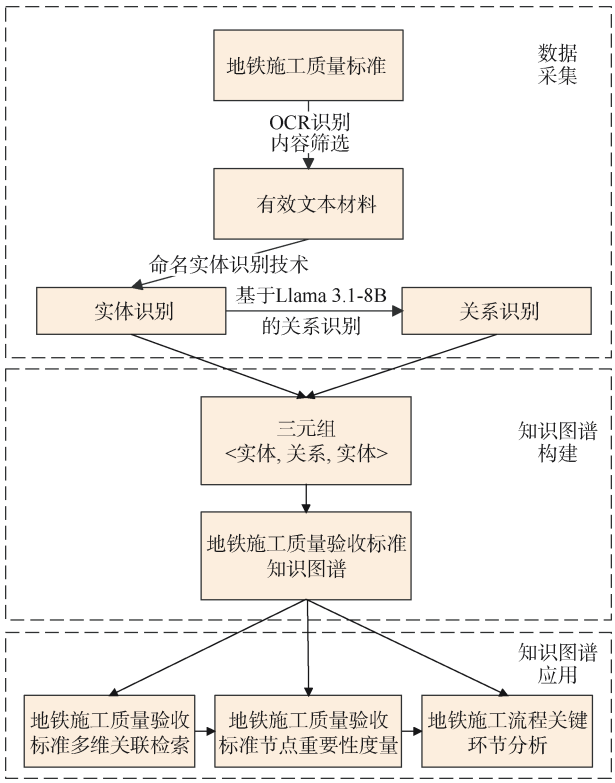


图 1 研究流程

Figure 1 Research flowchart

1.2 数据采集

本文搜集了住房和城乡建设部以及北京、河南、江苏等地官方发布的施工质量验收标准，然后基于文档结构进行内容筛选。去除封面、前言、目录等无法提取有效信息的内容后，汇总得到文本材料共计 87 万

字。表 1 为文件收集结果统计。

表 1　文件收集结果统计

Table 1　Statistics of document collection results statistics

类别	数量	代表文件
国家标准	10	《城市轨道交通综合监控系统工程施工与质量验收规范》(GB/T 50732—2011) 《城市轨道交通信号工程施工质量验收标准》(GB/T 50578—2018) 《盾构法隧道施工及验收规范》(GB 50446—2017)
地方标准	9	《地铁工程施工质量验收标准》(DBJ50/T-402—2021) 《城市轨道交通工程质量验收统一标准》(DB32/T 4062—2021) 《城市轨道交通车站工程施工质量验收标准》(DB11-T 1882—2021)
法律法规	1	《城市轨道交通建设工程验收管理暂行办法》建质〔2014〕42 号

地铁施工质量验收标准文件的内容结构基本一致，主要内容包括：总则、术语、基本规定、施工准备、安全风险控制、施工测量、不同施工方法的详细指导等，蕴含着大量地铁施工质量验收知识。

2　地铁施工质量验收标准知识图谱构建

2.1　地铁施工质量验收标准知识要素提取

地铁施工质量验收标准中的知识可以划分为多层级、多维度的概念节点，这些概念节点之间具有复杂的关系，从而形成复杂的知识网络。根据知识图谱构建需要，可将地铁施工质量验收标准知识划分为实体和关系两类知识要素，实体是指标准中的核心概念、技术术语和操作方法等具有实际意义的词汇或短语，关系则指这些实体之间的联系。然而，由于地铁施工质量验收标准的内容繁多，手动识别实体与关系的效率极低。因此，本文采用基于生成式模型进行实体和关系抽取的方法，将较长的文档内容分割为较小的语义单元，并对这些单元进行实体抽取，然后利用上下文中的句法结构和语义信息，自动识别出实体之间的关系，最终，生成〈实体，关系，实体〉知识图谱三元组。

本文通过地铁施工质量验收领域的专家意见总结整理出三类节点：施工项目类型节点、质量验收知识节点、质量验收阶段节点，并基于汇总得到的文本材料，将其切片后进行实体识别，然后基于生成式模型 Llama 3.1-8B 对实体间关系进行提取。部分实体和关系见表 2。表 2 中展示了施工项目类型节点、质量验收知识节点、质量验收阶段节点之间的关系。

表 2　部分实体和关系列表

Table 2　Partial list of entities and relationships

实体名称	实体类型	实体间关系
附属工程阶段	施工验收阶段	种植屋面-INCLUDES→附属工程阶段 种植屋面-INCLUDES→观察检查 种植屋面-INCLUDES→覆盖层施工不损坏防水层 种植屋面-INCLUDES→坡度尺检查 种植屋面-INCLUDES→坡度 1%～3%，挡墙泄水孔位置正确 种植屋面-INCLUDES→隔热屋面 隔热屋面-INCLUDES→种植屋面 隔热屋面-INCLUDES→蓄水屋面 隔热屋面-INCLUDES→架空屋面 建筑屋面-INCLUDES→隔热屋面 建筑屋面-INCLUDES→保温与隔热 建筑屋面-INCLUDES→基层与保护 建筑屋面-INCLUDES→瓦屋面与板面 建筑屋面-INCLUDES→防水与密封 建筑屋面-INCLUDES→细部构造 建筑屋面-INCLUDES→明挖车站工程 明挖车站工程-INCLUDES→建筑屋面
隔热屋面	子分部工程	
建筑屋面	分部工程	
明挖车站工程	子单位工程	
保温与隔热	子分部工程	
基层与保护	子分部工程	
瓦屋面与板面	子分部工程	
防水与密封	子分部工程	
细部构造	子分部工程	
覆盖层施工不损坏防水层	允许偏差	
坡度尺检查	检测方法	
坡度 1%～3%，挡墙泄水孔位置正确	主控项目	
蓄水屋面	分项工程	
架空屋面	分项工程	
观察检查	检测方法	

2.2　地铁施工质量验收标准知识图谱的生成与存储

图数据库是目前知识图谱存储和管理的主流方式，作为一种专门存储和管理网络数据的数据库系统，非常适合处理具有复杂关系的数据结构。本文采用图数据库软件 Neo4j 对地铁施工质量验收标准知识图谱进行存储和管理。具体而言，先将地铁施工质量验收标准中的实体定义为知识图谱中的节点，然后根据节点指代内容对节点类型进一步进行划分，最后通过提取到的三元组信息在两个节点之间创建有向边，从而形成知识图谱。基于表 2 中的实体与关系创建的知识图谱如图 2 所示。

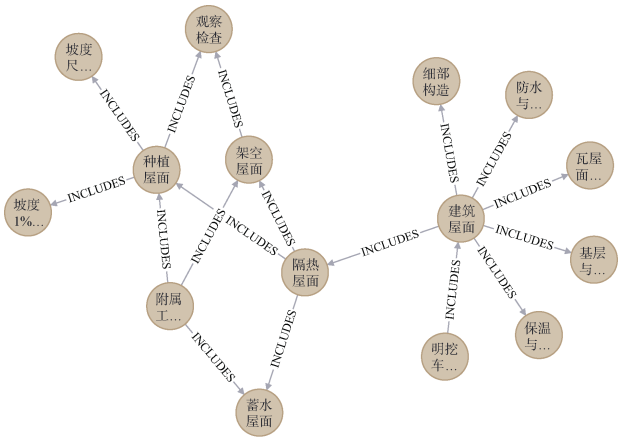


图 2　知识图谱节点关系示例

Figure 2　Knowledge graph node relationship example

诸如此类，根据上述收集的数据生成的地铁施工质量验收标准知识图谱中共包含 16 627 个节点、55 916 条边。节点间通过单向关系进行连接，描述了地铁施工质量验收标准各实体间的关联关系。

3 地铁施工质量验收标准知识图谱应用

构建的知识图谱实现了地铁施工质量验收标准中复杂知识体系的存储，在此基础上可以对相关知识进行多维关联检索和挖掘等应用。

3.1 地铁施工质量验收标准多维关联检索

多维关联检索指的是在地铁施工质量验收标准知识图谱内，依据特定主题从多个维度执行知识检索，为地铁施工质量验收提供相关知识。首先，按照质量验收的单位工程查找涉及的所有分项工程，将这些节点作为关键节点通过关系向外扩展获取与分项工程相关的质量验收知识节点和质量验收阶段节点，构建出一个围绕该单位工程的子知识图谱。图 3 展示了在地铁施工质量验收标准知识图谱中，“地铁明挖法车站施工”单位工程下进行多维关联检索后得到的子知识图谱。

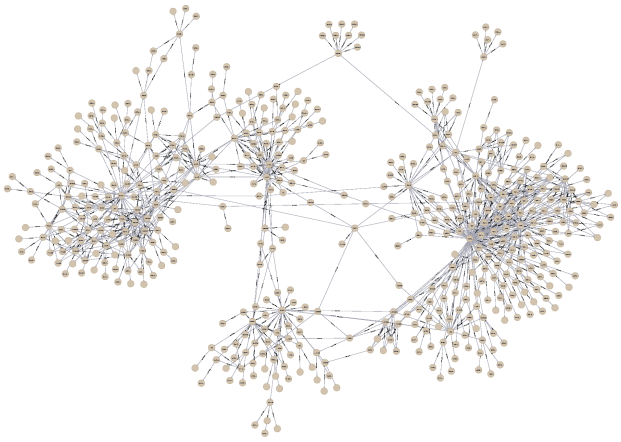


图 3 地铁明挖法车站单位工程的子知识图谱

Figure 3 Sub-knowledge graph of unit works for metro station constructed by cut-and-cover method

如图 3 所示，以“地铁明挖法车站施工”单位工程为核心构建的子知识图谱中共包含 517 个节点，1 005 条关系，展示了与地铁明挖法车站施工单位项目相关的各类节点。其中，包含“灌注桩排桩围护墙”“板桩围护墙”“咬合桩围护墙”等共计 228 个分项工程节点；包含“检验批划分”“构件要求”“原材料”等共计 173 个主控项目；包含“基坑回填阶段”“防水工程阶段”“结构施工阶段”等共计 6 个施工验收阶段节点。

3.2 地铁施工质量验收标准知识图谱节点重要性度量

由图 3 可以看出，各子分部工程下涉及的分项工程不同，不同施工验收阶段节点在图中与其他节点的关联程度有较大差异，也就是说在不同子分部工程、不同施工验收阶段中验收知识节点的重要程度存在差异。为了进一步对子图中的节点重要性进行度量，本文从隶属相关性和知识复杂性两个维度对知识图谱节点重要性进行度量。

隶属相关性反映分项工程节点与施工验收阶段的相关程度，这里通过对子知识图谱在施工验收阶段层面进行检索，得到涉及的分项工程节点，这些节点代表在该施工验收阶段下的分项工程。

知识复杂性反映某个子分部工程在施工质量验收时需要注意的知识的多少，通过节点度 D_A 来度量，其定义为

$$D_A = \sum_{a \in A} |E_a|$$

式中，$|E_a|$是与节点 a 直接相连的边的数量；A 为子分部工程及其下所有更细粒度的节点集。在地铁施工质量验收标准知识图谱中，D_A 越小，说明该子分部工程的注意事项越少，验收难度相对较低。与之相对，D_A 越大，说明该子分部工程的注意事项越多，验收难度相对较高。

3.3 地铁施工质量验收标准知识分析

地铁施工质量验收往往包含多个阶段，每个阶段要求的侧重点不尽相同，关键环节也会随之发生改变。因此，针对地铁施工验收中不同阶段的施工质量验收知识进行分析，挖掘关键环节的变化十分重要。本文以单位工程构建子知识图谱，利用节点重要性，并通过多维关联检索对地铁施工质量验收标准知识图谱中涉及的不同施工质量验收阶段进行检索，进而构建更细粒度的子知识图谱，并对子分部工程的质量验收标准知识进行分析，最终为地铁施工质量验收提供知识分析与建议。

3.3.1 地铁施工质量验收子知识图谱构建

本文以“地铁明挖法车站施工”单位工程进行多维关联检索后的结果为基础，将各施工质量验收阶段分别作为关键词对地铁施工质量验收标准知识图谱进一步进行检索，共涉及 6 个施工质量验收阶段，分别为“基坑支护与开挖阶段”“结构施工阶段”“防水工程阶段”“基坑回填阶段”“附属工程阶段”“监控量测阶段”，对应的子知识图谱如图 4～9 所示。如图 4～

图 9 所示，基坑支护与开挖阶段共涉及 48 个节点，67 条关系；结构施工阶段共涉及 192 个节点，395 条关系；防水工程阶段共涉及 85 个节点，153 条关系；基坑回填阶段共涉及 25 个节点，50 条关系；附属工程阶段共涉及 133 个节点，254 条关系；监控量测阶段共涉及 17 个节点，38 条关系。

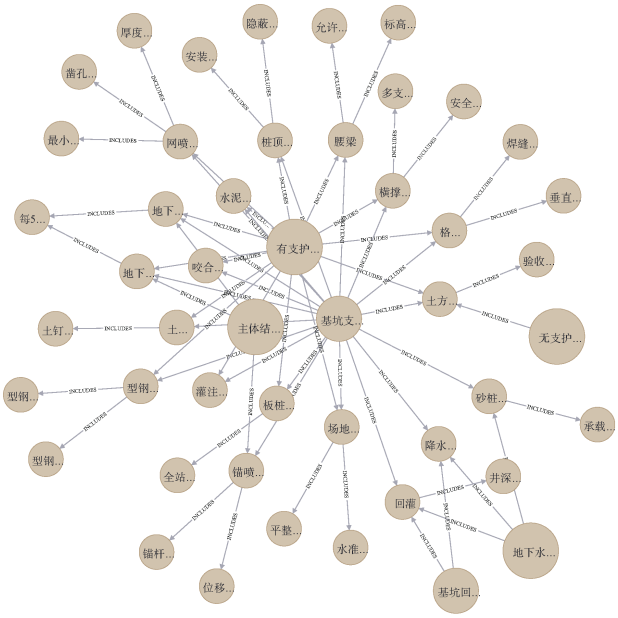


图 4 “基坑支护与开挖阶段”子知识图谱

Figure 4 Sub-knowledge graph for “foundation pit support and excavation stage”

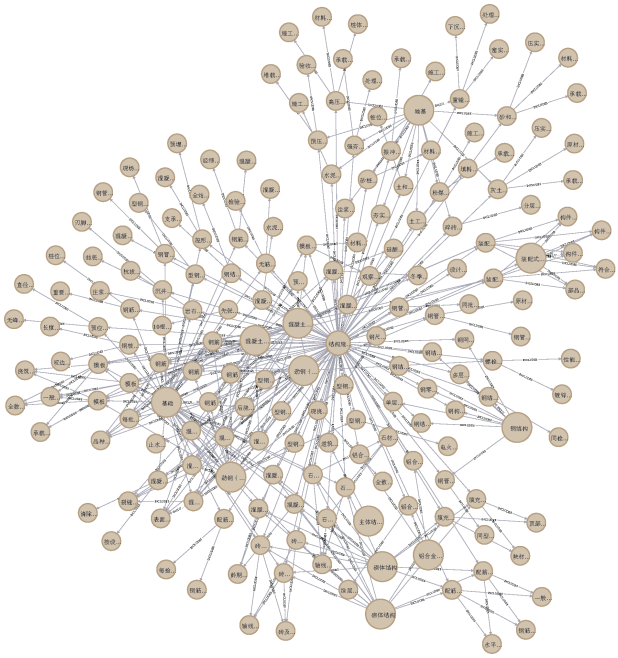


图 5 “结构施工阶段”子知识图谱

Figure 5 Sub-knowledge graph for “structural construction stage”

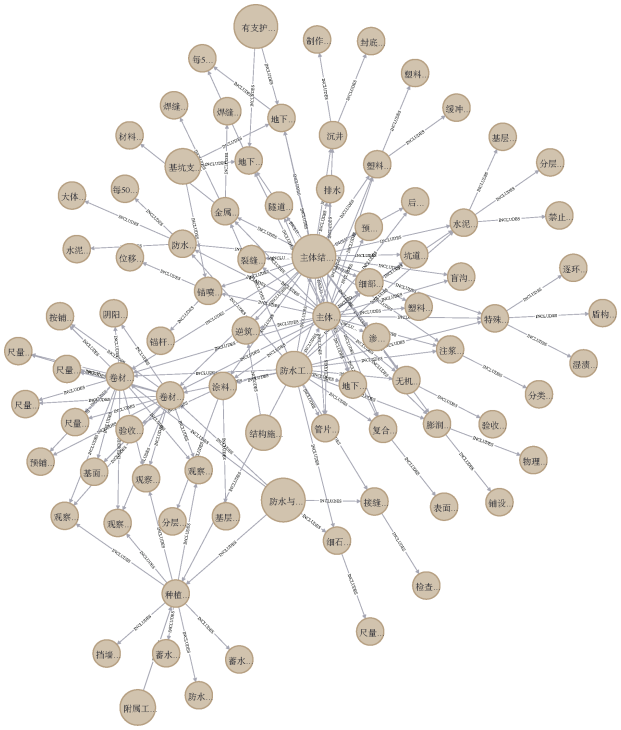


图 6 “防水工程阶段”子知识图谱

Figure 6 Sub-knowledge graph for “waterproofing engineering stage”

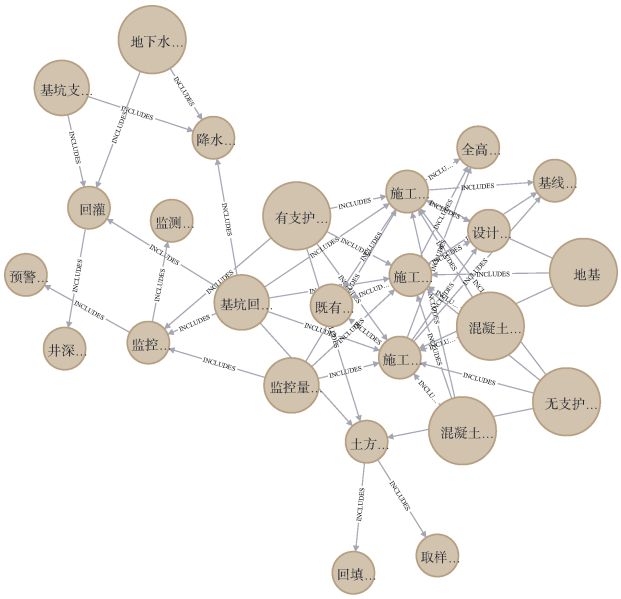


图 7 “基坑回填阶段”子知识图谱

Figure 7 Sub-knowledge graph for “backfilling stage of foundation pit”

根据各流程子知识图谱分别进行节点重要性度量，结果如表 3～表 8 所示。

根据表 3 可知，基坑支护与开挖阶段施工质量验收的关键环节涉及主体结构防水、有支护土方、无支护土方、地下水控制，且质量验收重点在有支护土方

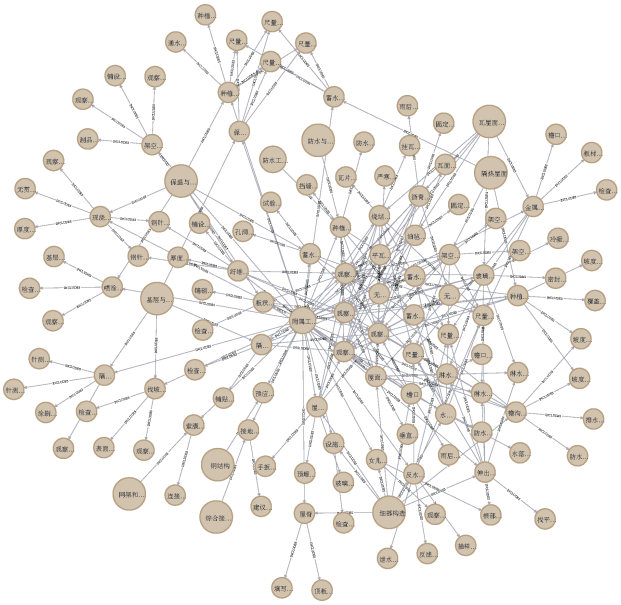


图 8 “附属工程阶段”子知识图谱

Figure 8 Sub-knowledge graph for “ancillary works stage”

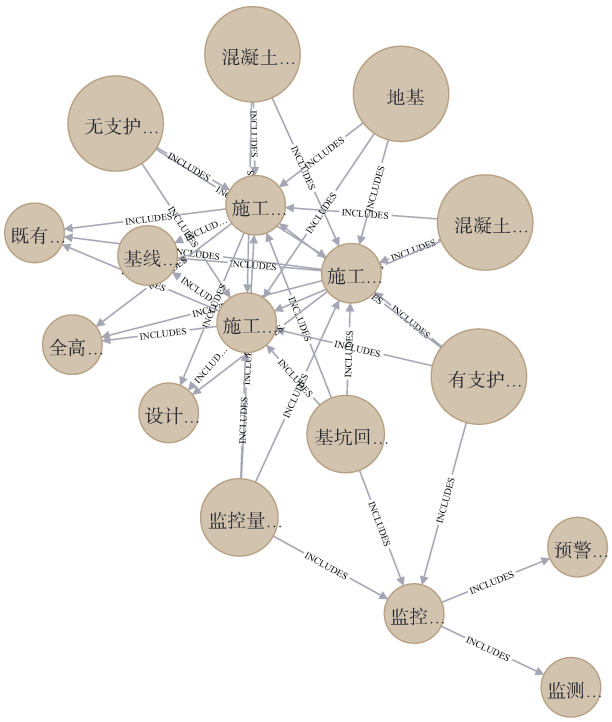


图 9 “监控量测阶段”子知识图谱

Figure 9 Sub-knowledge graph for “monitoring and measurement stage”

子分部工程上。其中，据图 4 所示：有支护土方涉及桩顶帽冠梁、网喷混凝土等分项工程节点；主体结构防水涉及砂桩排水、地下连续墙等分项工程节点；地下水控制涉及降水与排水、砂桩排水等分项工程节点；无支护土方涉及土方开挖分项工程节点。涉及的主控项目有网喷混凝土最小厚度、横撑支护多支点结构验算等；检测方法有凿孔法、全站仪监测垂直度等；允许偏差有型钢插入标高偏差、安装精度等；其他要求有安全系数、钢筋规格等。

表 3 基坑支护与开挖阶段节点重要性度量

Table 3 Measurement of node importance during foundation pit support and excavation stage

序号	节点名称	D_A
1	有支护土方	55
2	主体结构防水	15
3	地下水控制	10
4	无支护土方	4

表 4 结构施工阶段节点重要性度量

Table 4 Measurement of node importance during structural construction stage

序号	节点名称	D_A
1	基础	219
2	混凝土结构	145
3	劲钢(管)混凝土结构	119
4	砌体结构	73
5	地基	55
6	钢结构	22
7	装配式结构	9
8	铝合金结构	7
9	主体结构防水	3

根据表 4 可知，结构施工阶段施工质量验收的关键环节涉及基础、混凝土结构、劲钢(管)混凝土结构等共 9 个子分部工程，且质量验收重点在基础子分部工程上。其中，据图 5 所示，基础子分部工程涉及钢筋混凝土预制桩基础、岩石锚杆基础等分项工程节点。涉及的主控项目有抗拔承载力、型钢牌号、焊接材料等；检测方法涉及全站仪实测、经纬仪/钢尺检测等；允许偏差涉及现场拼装长度偏差、支承面标高偏差等；其他要求有重要工程焊缝探伤抽检、同批构件抽查等。

表 5 防水工程阶段节点重要性度量

Table 5 Measurement of node importance during waterproofing engineering stage

序号	节点名称	D_A
1	主体结构防水	135
2	防水与密封	49
3	有支护土方	10

根据表 5 可知，防水工程阶段施工质量验收的关

键环节涉及主体结构防水、防水与密封、有支护土方，且质量验收重点在主体结构防水子分部工程上。其中，据图 6 所示，主体结构防水子分部工程涉及隧道排水、地下连续墙防水等分项工程节点。涉及的主控项目有水泥用量、水胶比、材料缺陷控制等；检测方法涉及槽段抽查、逐环检查渗漏等；允许偏差涉及搭接宽度、胎体材料搭接等；其他要求涉及焊缝要求、涂层厚度要求等。

表 6　基坑回填阶段节点重要性度量

Table 6　Measurement of node importance during backfilling stage of foundation pit

序号	节点名称	D_A
1	有支护土方	43
2	无支护土方	38
3	混凝土结构	33
4	地基	33
5	地下水控制	7

根据表 6 可知，基坑回填阶段施工质量验收的关键环节涉及有支护土方、无支护土方、混凝土结构等共 5 个子分部工程，且质量验收重点在有支护土方子分部工程上。其中，据图 7 所示，有支护土方子分部工程涉及施工测量、监控量测等分项工程节点。涉及的主控项目有回填土料质量、管道及支护结构保护等；允许偏差涉及基线角度闭合差、全高垂直度等；其他要求涉及设计交桩记录、监理复测记录等。

表 7　附属工程阶段节点重要性度量

Table 7　Measurement of node importance during ancillary works stage

序号	节点名称	D_A
1	细部构造	87
2	瓦屋面与板面	55
3	保温与隔热	51
4	隔热屋面	27
5	基层与保护	25
6	防水与密封	11
7	综合接地埋设	3
8	网架和索膜结构	3
9	钢结构	2

根据表 7 可知，附属工程阶段施工质量验收的关键环节涉及细部构造、瓦屋面与板面、保温与隔热等共 9 个子分部工程，且质量验收重点在细部构造子分部工程上。其中，据图 8 所示，细部构造子分部工程涉及女儿墙和防撞墙、反水过水孔等分项工程节点。涉及的主控项目有连接件强度、预埋件位置等；检测方法涉及观察检查和隐蔽验收记录、针测法检查等；允许偏差涉及隔气层厚度、找坡层和找平层分格缝纵横间距等。

表 8　监控量测阶段节点重要性度量

Table 8　Measurement of node importance during monitoring and measurement stage

序号	节点名称	D_A
1	有支护土方	38
2	无支护土方	33
3	混凝土结构	33
4	地基	33

根据表 8 可知，监控量测阶段施工质量验收的关键环节涉及有支护土方、无支护土方、混凝土结构等共 4 个子分部工程，且质量验收重点在有支护土方子分部工程上。其中，据图 9 所示，有支护土方子分部工程涉及施工测量、监控量测等分项工程节点。涉及的主控项目有回填土料质量、管道及支护结构保护等；允许偏差涉及基线角度闭合差、全高垂直度等；其他要求涉及设计交桩记录、监理复测记录等。

3.3.2　地铁施工质量验收建议

通过对地铁明挖法车站施工单位工程各施工质量验收阶段的子知识图谱以及关键环节进行分析，可得到如下施工质量验收建议：

1) 基坑支护与开挖阶段，需通过精细化施工与严格验收保障其安全。竖向构件(如格构柱、灌注桩)施工时，应严格控制垂直度、焊缝质量及安装精度，并利用全站仪对每根桩进行监测。对于横撑与锚喷体系，需进行抗拔力抽检，开展多支点整体稳定验算，同时采用凿孔法在内检测喷混凝土厚度。土钉墙与型钢墙施工中，应确保型钢插入偏差控制在±30 mm 以内，垂直度≤1/200。地下水控制与防水工程协同推进也至关重要。降水回灌系统需监测井深偏差、水位变化及回灌效果，防止坑基渗漏。连续墙与防水层施工时，按槽段抽查墙身质量，强化钢筋隐蔽验收，保障防水连续性。开挖过程中，应实施动态管控，分层开挖时检查边坡坡度、基底平整度及支撑时效性，利用水准仪控制场地平整度偏差≤50 mm，并通过测绳、激光断面仪等工具实时监测位移量。

2) 结构施工阶段。质量验收需依据关键节点的重要性及具体指标进行精细化把控。基础施工应重点检

验地基承载力、基础尺寸偏差及混凝土强度，确保回填土压实系数≥0.95；混凝土结构需严格控制裂缝宽度、表面平整度及蜂窝麻面面积，冬期施工时混凝土入模温度≥5℃；劲钢(管)混凝土结构应重点验收焊缝质量及钢材防火厚度，确保混凝土保护层厚度偏差符合要求。砌体结构需检查灰缝砂浆饱满度、轴线位移及砖强度等级，确保水平灰缝钢筋保护层厚度≥15 mm；地基施工应验证压实系数及承载力，确保地基变形性能符合设计；钢结构验收需聚焦焊缝无损检测、构件安装精度及防腐涂层厚度；装配式结构应重点关注预制构件连接节点的灌浆饱满度及防水性能，确保构件安装垂直度符合要求；铝合金结构需检测焊接质量及表面防腐层附着力；主体结构防水则要严格检验防水层厚度及闭水试验结果。验收时应综合运用观感检查、实测实量与无损检测等方法，依据《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204—2015)等标准，确保各分项工程符合设计要求。

3) 防水工程阶段。对于主体结构，要确保混凝土无渗漏且达到一级标准，卷材/涂料防水层的淋水试验需合格；密封工程方面，材料的物理性能检测要达标，接缝处无渗漏，二级防水湿渍数量不超过 4 处/100 m^2；支护与排水部分，锚杆抗拔力抽检合格，排水系统通畅，包括挡墙泄水孔、盲沟铺设等要符合偏差要求。通过实施分层验收，涵盖基面处理、防水层施工、细部密封以及系统性检测等环节，形成闭环管理，从而确保防水工程能够满足设计的使用寿命以及运营过程中的安全需求。

4) 基坑回填阶段。质量验收需重点关注有支护土方、无支护土方、混凝土结构、地基及地下水控制等关键节点。其中，有支护土方验收的重要性最高，应严格检查其土方压实度，管道两侧及管顶 1.5 m 以上需用人工夯实细粒土，防止管道位移或损坏，柔性管道变形率需≤3%；无支护土方则需关注其平整度及坡度，确保回填材料符合设计要求；混凝土结构方面，施工测量需保证基线角度闭合差、高程闭合差符合要求，地基的承载力需达到设计标准，确保无软弱下卧层与不均匀沉降隐患；地下水控制需保证降水与排水效果，监测频率在开挖期每日 1 次。同时，监理应依据设计规范与验收标准，对各分项工程的允许偏差项目、主控项目进行检测，结合施工过程记录与试验检测报告，全面评估工程质量。

5) 附属工程阶段。质量验收需以细部构造为核心管控点，重点关注檐沟、水落口、女儿墙等部位的防水密封性，严格执行淋水/蓄水试验和节点尺寸检查。板面、保温与隔热作为次重点，须确保屋面铺装平整度、保温层厚度偏差及防滑措施符合设计，种植屋面需额外验证防水层耐穿刺性。层面防水工程主控项目必须零渗漏，建议对檐口 800 mm 卷材满粘、泄水孔疏水骨料填充等关键工艺进行隐蔽验收。同时，隔热层面和基层保护应强化坡度控制和覆盖层完整性检查，避免后凿孔洞。对钢结构、索膜重点核查连接件强度及传力可靠性；接地装置需按《地铁设计规范》(GB—50157)规范要求执行。验收过程应依托设计文件与施工记录，对高频检测项实行全覆盖。

6) 监控量测阶段。要严格把控监控量测分项工程的技术指标；同时，开挖期间要确保监测频率不低于每日 1 次；此外，支护结构位移数据必须严守设计允许偏差。另外，需重点关注测量精度，诸如基线角度闭合差、高程闭合差等硬性指标；施工前务必完成影响区域内建筑物及管线的地面标识并留存影像记录，以确保既有设施得到有效保护；还需着重核查设计交桩记录和监理复测记录等文件的完整性与签章有效性，以保障整个监控量测阶段的质量符合要求。

4 结论

针对目前地铁施工质量验收标准知识组织与应用问题，本文采用知识图谱技术实现了对地铁施工质量验收标准知识进行结构化组织和表示，并对其应用场景进行了初步研究。主要结论如下：

1) 基于国家和地方发布的地铁施工质量验收标准，利用生成式模型自动提取实体与关系，共识别出 16 627 个实体和 55 916 条关系，并依据这些实体和关系构建了地铁施工质量验收标准知识图谱。

2) 依据特定主题从多个维度检索生成子知识图谱为相关人员获取更全面质量验收知识提供支持。

3) 提出了多维度节点重要性度量指标，并基于此提出了对施工质量验收过程中关键环节进行识别与分析的方法，为地铁施工质量验收工作中关键环节的分析和知识挖掘提供支持。

综上所述，地铁施工质量验收标准知识图谱可为质量验收人员提供较为全面的验收标准知识和有效的分析手段，对于提升相关人员的知识应用能力和管理水平具有重要意义。本文对地铁施工质量验收知识图谱的应用仅进行了初步探索，未来可增加针对不同施工验收角色设计差异化的知识推送策略，提升应用针对性。

参考文献

[1] 文玉锋, 徐姣姣, 周文杰. 古籍文献知识组织由静态检索向动态表征趋向的理论解析[J]. 图书与情报, 2022(5): 10-16.
WEN Yufeng, XU Jiaojiao, ZHOU Wenjie. Theoretical analysis of knowledge organization tendency of ancient literatures from static retrieval to dynamic representation[J]. Library & information, 2022(5): 10-16.

[2] 王燕红, 姚凯波, 程为. 基于证据知识元的南海疆维权文献知识组织研究[J]. 情报科学, 2025, 43(2): 105-113.
WANG Yanhong, YAO Kaibo, CHENG Wei. The knowledge organization of South China Sea territory rights literature based on evidence knowledge elements[J]. Information science, 2025, 43(2): 105-113.

[3] 徐雷, 张亚菲, 叶均玲. 科技文献创新内容的识别、组织与应用进展[J]. 情报学报, 2024, 43(2): 237-250.
XU Lei, ZHANG Yafei, YE Junling. Advances in identification, organization, and application of innovative content in scientific literature[J]. Journal of the China society for scientific and technical information, 2024, 43(2): 237-250.

[4] 胡正银, 刘蕾蕾, 陈文杰, 等. 面向科学知识发现的造血干细胞知识图谱构建研究[J]. 数据与计算发展前沿, 2021(6): 81-97.
HU Zhengyin, LIU Leilei, CHEN Wenjie, et al. Generating a hematopoietic stem cell knowledge graph for scientific knowledge discovery[J]. Frontiers of data & computing, 2021(6): 81-97.

[5] 翟可欣, 袁靖舒, 袁满. 整合多学科理论的知识组织系统理论元模型研究[J]. 情报学报, 2024, 43(10): 1154-1165.
ZHAI Kexin, YUAN Jingshu, YUAN Man. Metamodel study of knowledge-organization-system theory integrating multidisciplinary theories[J]. Journal of the China society for scientific and technical information, 2024, 43(10): 1154-1165.

[6] 崔靖华, 朱学芳. 基于BIBFRAME的馆藏书目数据知识组织研究[J]. 图书馆杂志, 2024, 43(8): 34-45.
CUI Jinghua, ZHU Xuefang. Research on knowledge organization of bibliographic data in collections based on BIBFRAME[J]. Library journal, 2024, 43(8): 34-45.

[7] 许雪晨, 田侃. 智能投顾领域的知识图谱构建与应用研究[J]. 学习与探索, 2023(5): 122-133.
XU Xuechen, TIAN Kan. Research on the construction and application of knowledge map in the field of intelligent investment[J]. Study & exploration, 2023(5): 122-133.

[8] 王莉, 王建平, 许娜, 等. 基于知识图谱的地铁工程事故知识建模与分析[J]. 土木工程与管理学报, 2019, 36(5): 109-114.
WANG Li, WANG Jianping, XU Na, et al. Knowledge graph-based metro engineering accidents knowledge modeling and analysis[J]. Journal of civil engineering and management, 2019, 36(5): 109-114.

[9] 于松伟, 刘巍, 夏秀江, 等. 基于知识图谱的城轨大模型RAG检索增强知识库构建研究[J]. 都市快轨交通, 2025, 38(2): 1-7.
YU Songwei, LIU Wei, XIA Xiujiang, et al. Constructing a retrieval-augmented generation knowledge base for urban rail transit large language models: a knowledge graph-based approach[J]. Urban rapid rail transit, 2025, 38(2): 1-7.

[10] 王乾坤, 亢显卫, 朱科. 基于知识图谱的地铁施工安全研究可视化分析[J]. 土木工程与管理学报, 2022, 39(6): 1-8.
WANG Qiankun, KANG Xianwei, ZHU Ke. Visualization analysis of subway construction safety research based on knowledge graph[J]. Journal of civil engineering and management, 2022, 39(6): 1-8.

[11] HUO Xiaosen, YIN Yuan, JIAO Liudan, et al. A data-driven and knowledge graph-based analysis of the risk hazard coupling mechanism in subway construction accidents[J]. Reliability engineering & system safety, 2024, 250: 110254.

（编辑：傅依萱）