

地铁盾构施工安全管理知识图谱构建及应用研究

陈超逸

上海建科工程咨询有限公司 上海 200232

摘要: 本文针对地铁盾构施工过程中存在的安全问题,研究了地铁盾构施工安全管理知识图谱的构建,并在实际工程中进行了应用。首先介绍了知识图谱的相关概念和构建方法,通过文献调研和专家访谈,确定了地铁盾构施工安全管理知识图谱中的实体和关系,从而建立了知识图谱,并探索了其在盾构施工安全管理中的应用场景。最后,通过实际应用案例验证了地铁盾构施工安全知识图谱的有效性和可行性。证明通过对地铁盾构施工安全知识图谱的应用实践,可以有效地提高盾构施工的安全管理水平和工程质量。

关键词: 地铁盾构; 施工安全; 知识图谱; 应用研究

Construction and Application of Knowledge Map for Safety Management of Subway Shield Construction

Chaoyi Chen

Shanghai Jianke Engineering Consulting Co. LTD, Shanghai 200232

Abstract: In view of the safety problems existing in the process of subway shield construction, this paper studies the construction of subway shield construction safety management knowledge map, and has been applied in the actual project. Firstly, related concepts and construction methods of knowledge graph are introduced. Through literature research and expert interview, entities and relationships in knowledge graph of safety management of subway shield construction are determined, thus knowledge graph is established, and its application scenarios in safety management of shield construction are explored. Finally, the validity and feasibility of the knowledge map of subway shield construction safety are verified by practical application cases. It is proved that the safety management level and engineering quality of shield construction can be effectively improved through the application of knowledge graph of shield construction safety.

Keywords: Subway shield; Construction safety; Knowledge map; Applied research

前言

地铁交通作为城市快速交通的主要形式之一,近年来得到了迅猛的发展。而地铁盾构施工技术作为地铁建设的重要工程技术之一,其应用范围也在不断扩大。地铁盾构施工的复杂性和危险性使得施工安全成为一个备受关注的课题。地铁盾构施工安全管理方面的研究已有很多,刘维庆等^[1]采用事故树分析方法,研究了地铁盾构施工中地面沉降事故的根本原因,为事故的预防提供了理论基础。颜晓健^[2]以城市地铁盾构施工风险预警为研究对象,提出了一种基于模糊综合评价和模糊层次分析法的预警模型,为盾构施工风险的预防提供了实用方法。荣雅楠^[3]分析了盾构施工安全事故的发生原因,探讨了事故的防范对策。刘天雄等^[4]研究了复合地层盾构施工的安全影响因素及其致因机理,为盾构施工中的风险评估提供了理论支持。黄俐^[5]以北京地铁

盾构施工沉降风险为研究对象,构建了评价模型,并提出了防范措施。但这些安全管理研究所涵盖的知识面可能不够全面或不够简洁直观。

知识图谱是一种基于语义网络的知识表示和知识管理技术,它能够海量、复杂的知识信息组织成一个可视化的图形模型,并通过知识推理和自然语言处理等技术,使用户可以通过简单的查询语句获得精确、高效的信息检索结果^[6]。国内外学者对于知识图谱技术的研究已经取得了较大进展,王莉^[6]通过构建知识图谱,实现了城市轨道交通建设安全管理的智能化,为实现盾构施工安全管理的信息化提供了思路。汪新宇等^[7]提出了一种基于知识图谱的风险预警模型,通过案例分析验证了该模型的实用性。董兴芝^[8]以智能高铁安全保障为研究对象,探讨了知识图谱构建和应用关键技术。王乾坤等^[9]利用可视化分析方法,研究了基于知

识图谱的地铁施工安全问题。姜天文^[10]研究了条件性知识图谱构建及其应用方法，提出了一种基于多元条件的知识图谱构建方法。可以看出知识图谱在诸多领域中的应用日益广泛，如医疗、金融、教育等，但在地铁盾构施工安全管理中的应用尚处于起步阶段。

本文基于文献调研和专家访谈构建了一个地铁盾构施工安全管理知识图谱，包括机具、人员、安全事故等多个实体和实体之间的关系。在此基础上，本文提出了安全风险评估、安全教育培训等多个应用场景，并通过实际案例验证了知识图谱的可行性和有效性。

1 地铁盾构施工安全管理知识图谱构建方法

地铁盾构施工安全管理知识图谱是一种基于知识图谱技术的地铁盾构施工安全信息化管理平台，它能够通过对地铁盾构施工安全的各个方面进行知识建模，将知识与数据进行结合，实现对地铁盾构施工安全管理的全面掌控和高效管理。

常见的知识图谱的构建方法主要分为手工构建法、专家意见法、自动构建法、综合方法等，每个方法的优缺点总结如表1所示。（见表1）

地铁盾构施工安全知识图谱的构建是一个复杂和耗时的过程，需要结合多种构建方法和技术手段，才能够构建出精确和完整的知识图谱。但是，一旦构建完成，它将成为地铁盾构施工安全管理的重要工具，能够帮助管理人员全面掌握和管理地铁盾构施工安全，提高地铁盾构施工的安全性和效率。

因为相关资料和数据有限，本研究采用了一种基于文献调研和专家意见法的手工构建方法，通过对地铁盾构施工安全管理相关知识的收集和整理，构建了一张地铁盾构施工安全管理知识图谱。具体步骤包括：确定知识图谱的需求和范围；知识采集和分类；定义实体和关系类型；建立知识图谱模型；验证和维护知识图谱。

表1 常见的知识图谱的构建方法及优缺点

方法	内容	优点	缺点
手工构建法	主要通过人工对地铁盾构施工安全领域的专业知识进行梳理和整理，构建起完整的知识体系，并将知识体系转化为知识图谱的结构和语义关系	能够将知识表达的精确性和完整性都达到较高的水平	需要耗费大量人力物力，并且需要不断地更新和维护
专家意见法	邀请地铁盾构施工领域的专家对相关领域的知识进行评估和整理，构建起完整的知识体系，并将知识体系转化为知识图谱的结构和语义关系	能够依托专家的专业知识，快速准确地构建出地铁盾构施工安全知识图谱	专家的数量和专业领域的覆盖面可能存在局限性
自动构建法	基于机器学习和自然语言处理技术，主要通过对大量文本、图像和多媒体信息进行分析和学习，自动抽取地铁盾构施工安全相关的知识，并将其转化为知识图谱的结构和语义关系	能够大幅降低构建知识图谱的成本	精确性和完整性可能存在一定的误差，需要人工干预和修正
综合方法	将手工构建法、专家意见法和自动构建法相结合，通过相互补充和协同，构建出更加精确和完整的知识图谱。具体操作上，可以先通过手工和专家意见法构建起一个初步的知识图谱框架，然后再利用自动构建法进行补充和优化	能够在保证知识精确性和完整性的同时，又能够大幅降低构建知识图谱的成本和时间	对专业性和技术性要求较高

1.1 确定知识图谱的需求和范围

本研究所建立的知识图谱主要目标是为了给地铁盾构工程的安全管理提供管理工具和依据，即提供一个全面的、易于理解的知识库，以帮助盾构施工中的安全管理人员更好地理解 and 掌握盾构施工的安全管理知识，并帮助他们更有效地规避施工过程中的风险和危险。所需要涉及的知识范围主要包括地铁盾构施工中的4M1E等安全相关内容，如盾构施工的基本原理和流程、危险源和风险控制措施、安全管理法规和标准、安全检测和监测技术、安全事故案例分析、安全培训和教育等。

1.2 知识采集和分类

收集和整理与地铁盾构施工安全相关的各种信息、文献、规范和标准等。相关的信息来源有：（1）政府机构的网站和公告。（2）相关协会和行业组织。（3）相关企业和机构的网站和资料。（4）学术文献和专业书籍。（5）新闻报道和事故案例。具体的信息来源如表2所示。（见表2）

根据搜集到的知识和信息，对其进行分类整理，明确不同的知识点和知识之间的关系，形成结构化的数据库。例如对搜集到的地铁盾构事故案例进行人工进行清洗，获得的数据有：事故类型、事故原因、事故时间、地点、温度、降水、季节、受伤情况、死亡情况、经济损失情况、建设单位、总承包单位、监理单位等。

1.3 定义实体和关系类型

根据以上收集整理的地铁盾构施工安全管理相关领域知识，确定知识图谱需要包含的实体，如表3所示。（见表3）

在初步调研的基础上，需确定知识图谱中的实体及其属性和关系。在地铁盾构施工安全知识图谱中，实体包括人、物、场所等，属性包括实体的基本信息、安全措施等，关系包括实体之间的安全联系、安全关联等。以下为各实体之间关系的简单描述：

表2 地铁盾构施工安全管理相关信息来源

序号	类别	具体信息来源
1	国家、省市级政府网站、交通运输部网站等政府机构官网	例如国务院网站、中华人民共和国交通运输部、国家发展和改革委员会、中华人民共和国工业和信息化部、中华人民共和国住房和城乡建设部、北京市人民政府网站、上海市人民政府网站、广东省人民政府网站、深圳市人民政府网站等。
2	盾构机械制造厂家的官方网站和资料	例如中交重工集团有限公司、中国铁建重工集团有限公司、中铁机械股份有限公司、中国中铁股份有限公司、上海建工机械有限公司、山东中能重工集团有限公司的官网等。
3	工程建设标准规范	例如《铁路隧道盾构法技术规程》、《铁路技术管理规程》、《盾构法隧道施工及验收规范》、《盾构法隧道防水技术规程》、《预制混凝土衬砌管片生产工艺技术规程》、《盾构隧道管片质量检测技术标准》等。
4	中国盾构协会网站等协会网站	例如中国盾构网、盾构在线、盾构世界网、中国隧道网、盾构与地下工程论坛、盾构建设网、盾构技术网、盾构机网、盾构科技网等。
5	学术数据库和搜索引擎	例如中国知网、万方数据、维普资讯、谷歌学术、Web of Science、SpringerLink、Scopus等。
6	相关新闻网站	例如新华网、人民网、央视新闻、中国新闻网、搜狐新闻、腾讯新闻、新浪新闻、网易新闻、凤凰网新闻等。
7	安全管理类网站	例如中国安全生产网、安全技术网、中国安全网、中国安全生产信息网、中华安全网、中国安全科技信息网等。

表3 地铁盾构施工安全管理知识图谱实体类型

序号	实体分类	描述
1	工程安全管理体系	指地铁盾构施工安全管理体系的各项要素，包括安全管理规章制度、安全检查、安全监测和控制措施、安全培训和教育等方面的内容。
2	施工机具	指用于地铁盾构施工的各种设备，包括盾构机、掘进机、钻机、测量仪器、安全设备等结构、性能和安全要求等方面的内容。
3	工程材料	指用于地铁盾构施工的各种材料，包括钢材、混凝土、水泥、管件、保护材料等。
4	施工工艺和流程	包括施工过程中的关键节点、工艺流程、作业方式、质量控制等方面的内容。如地铁盾构施工中所采用的各种工艺，包括盾构掘进工艺、土压平衡掘进工艺、液压掘进工艺等。
5	安全管理人员和参建方	人员指参与盾构施工的各类人员，包括工程管理人员、技术人员、作业人员、安全监督员等的职责、要求和资格等方面的内容。参建方包括建设单位、设计单位、监理单位、施工单位等的业绩和资质水平等。
6	安全风险	指地铁盾构施工中存在的各种潜在安全隐患和事故风险。包括安全事故和事件的分类、发生原因、影响范围、应急措施、事故隐患、安全违规行为等等方面的内容。
7	安全检测和监测	包括盾构安全检测和监测的内容、方法、数据处理和分析等方面的内容。
8	安全规范和标准	指地铁盾构施工相关的各种法规和标准，包括国家和地方安全管理制度和标准、行业标准、相关法规和规定等方面的内容。
9	安全技术和装备	包括盾构施工过程中安全技术和装备的研发、应用和更新等方面的内容。
10	安全措施	指地铁盾构施工中采取的各种安全措施，包括技术措施、管理措施、教育培训措施等。

●工程安全管理体系可以包含多个安全规范和标准，以及多种安全技术和装备的应用和更新，同时需要施工工艺和流程中的安全检测和监测措施，以确保施工机具和工程材料的安全使用和处理。

●安全管理人员和参建方需要了解和遵守工程安全管理体系中规定的安全规范和标准，同时需要具备一定的安全技术知识和技能，以确保施工机具和工程材料的安全使用和处理，减少安全风险的发生。

●安全措施需要考虑到工程安全管理体系中的安全规范和标准、施工机具和工程材料的安全性能、施工工艺和流程中的安全检测和监测措施等因素，以确保施工过程中的

安全和稳定。

●安全风险需要通过安全检测和监测来及时发现和预防，同时需要制定和执行相应的安全措施，确保施工过程中的安全和稳定。

●施工机具和工程材料需要满足工程安全管理体系中的安全规范和标准，同时需要施工工艺和流程中的安全检测和监测措施，以确保施工过程中的安全和稳定。

1.4 建立知识图谱模型

根据以上搜集整理的地铁盾构施工安全管理相关信息，以实体为节点，以关系为边，构建知识图谱，将实体和关系以图形化的形式表达出来，可以使用各种可视化工具，

如MindManager、Visio等。本研究中采用Visio进行地铁盾构施工安全管理知识图谱的构建。在构建知识图谱时遵循数据隐私保护的原则，对敏感信息进行了脱敏处理。例如，地铁盾构施工的施工阶段主要分为盾构始发与到达、盾构正常掘进和特殊节点工程，表达方式如图1所示；排渣的预警指标主要分为排土量、添加剂注入率和改良土砂坍落度，表达方式如图2所示。两图中由一个节点引出的多个相同的的关系，为了显示方便，在统一表达关系后边才进行分开引出。

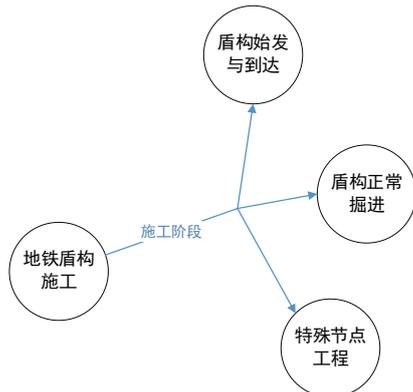


图1 地铁盾构施工阶段知识图谱表达

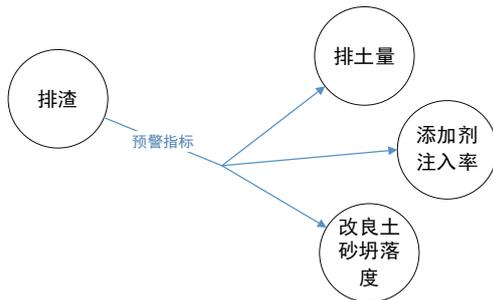


图2 排渣预警指标知识图谱表达

1.5 验证和修正知识图谱

因为建立的知识图谱是采用手工搭建法，可能会存在少量偏差，采用专家意见法对初步构建的地铁施工安全管理知识图谱进行验证和修正。可以通过专家讨论、实地考察、数据分析等方式进行验证。邀请领域内的专家对知识图谱进行评审和建议，专家可以是地铁盾构施工安全领域内的专业人士、研究者或者是知识图谱领域的专家。通过专家的评审和建议，可以进一步完善和优化知识图谱，提高知识图谱的准确性和实用性。

本研究采用问卷调查和专家访谈的方式，征询了20位在盾构施工领域内有二十年以上工程经验的专家的意见，验证该知识图谱的有效性和准确性，并对于专家提出的建议，及时进行修正和调整。得到了如图3所示的地铁盾构施工安全管理知识图谱。本研究还采用了交互式的方式，将构建好的知识图谱在实际的地铁盾构施工中进行应用，结合实际情况进行调整和更新，不断优化知识图谱的内容和结构。（见图3）

2 地铁盾构施工安全管理知识图谱应用研究

2.1 地铁盾构施工安全管理问题分析

地铁盾构施工是一项复杂的工程，其施工安全管理存在以下问题：（1）信息不对称。由于参与盾构施工的各方单位和人员众多，信息流动不畅，信息不对称的问题较为严重，难以及时准确地掌握工程安全状况。（2）安全管理体系不完善。目前地铁盾构施工安全管理主要依靠单一的安全管理体系，存在规章制度不完善、监管不到位等问题。（3）安全责任落实不到位。由于地铁盾构施工涉及多个单位和人员，安全责任分散，责任落实不到位，安全隐患难以有效管控。

2.2 地铁盾构施工安全管理知识图谱的应用场景

针对地铁盾构施工中存在的施工安全管理问题，可以借助知识图谱来提供解决措施。应用场景主要有以下几个方面：

●盾构施工前的风险评估：通过知识图谱的可视化展示，可以帮助管理人员和工程师全面了解盾构施工的各种风险，通过分析进行针对性的风险评估和预警，识别潜在的安全风险，并制定相应的措施进行管控。

●盾构施工中的实时监测：利用传感器和其他数据采集技术，将实时监测数据与知识图谱相结合，可以实现对盾构施工过程中各种安全问题的监测，从而及时发现和处理安全隐患。

●盾构施工后的安全分析：通过知识图谱对盾构施工过程中的各种数据进行分析，可以发现安全事故发生的规律和原因，为后续的施工安全管理提供参考依据。

●盾构施工人员培训：通过知识图谱对盾构施工安全知识进行分类和整理，并进行可视化展示，为新员工提供培训和教育，帮助他们快速掌握盾构施工安全知识，帮助工程参与方了解盾构施工的安全规范、流程和技术，提高安全意识和管理水平，提高工作效率和安全性。

2.3 地铁盾构施工安全管理知识图谱应用实例

在实际工程中，应用该知识图谱可以较为准确地识别施工现场存在的安全风险，并提供相应的管理策略和应对方案。与传统的安全管理方法相比，该知识图谱具有智能化、高效性、准确性等优势，可以有效提高地铁盾构施工安全管理的水平。本研究将构建出的知识图谱在上海某地铁盾构施工工程进行了应用测试和评估，检查知识图谱的准确性和实用性是否达到预期目标。

为了评估知识图谱应用的效果，本研究设计了两份问卷调查，一份面向施工人员，一份面向施工管理人员，向使用者了解其对知识图谱的易用性、信息准确性、搜索效率等方面的满意度进行了调查。调查结果显示：82%以上的施工管理人员认为该知识图谱“方便易懂”，且对安全管理工作的开展有“较大帮助”；68%以上的施工人员认为借助该知识图谱比传统安全教育方式更加“直观、容易理解”

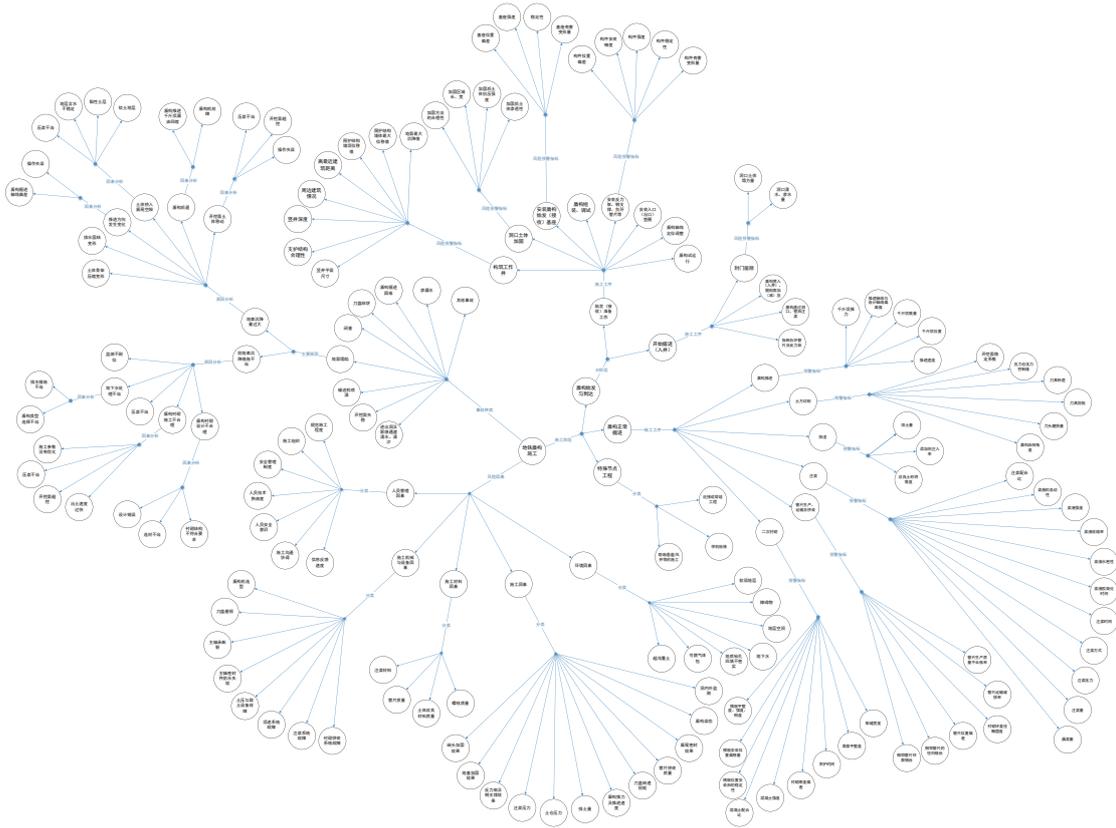


图3 地铁盾构施工安全管理知识图谱

，且“使用便捷”。此外，本研究还统计了在项目上进行知识图谱的应用前后的安全违规行为频次，在施工内容和进度相差不大的三个月内，违规频次下降了36%。证明通过对地铁盾构施工安全知识图谱的应用实践，可以有效地提高盾构施工中各方单位和人员安全意识和管理水平，而且可以为监管部门提供科学准确的决策支持。

3 结论与展望

本文基于知识图谱技术，针对地铁盾构施工安全管理存在的问题，提出了一种基于知识图谱的地铁盾构施工安全知识图谱的构建和应用方法。在知识图谱中构建了地铁盾构施工的4M1E等方面的知识，并且将这些知识进行了关联和归纳，形成了一张完整的地铁盾构施工安全知识图谱，通过专家意见及时调整和更新知识图谱的内容和结构。并通过在工程案例中的应用实践，验证了其在盾构施工安全管理中的可行性和有效性。该研究成果为地铁盾构施工安全管理提供了有效的决策支持和管理方法，具有广泛的应用前景和推广价值。希望能够为相关领域的研究者提供一些参考和启示。

随着科技的不断发展，知识图谱技术在盾构施工安全管理中的应用前景广阔。未来，可以结合机器学习等人工智能技术，进一步完善地铁盾构施工安全知识图谱的构建和应用，使其能够实现自主学习和优化，提高安全管理的效率和准确性。也可以与人工智能技术相结合，实现对盾构施工中的安全隐患自动识别和预警；还可以与虚拟现实技术相结合，实现盾构施工安全培训的虚拟化和个性化。

参考文献：

- [1] 刘维庆, 赵雅云, 孙赫梓. 地铁盾构施工风险的事故树分析——以地面沉降事故为例[J]. 石家庄铁道大学学报(社会科学版), 2016, 10(1): 21-25.
- [2] 颜晓健. 城市地铁盾构施工风险预警研究[D]. 重庆交通大学, 2012.
- [3] 荣雅楠. 盾构施工安全事故案例分析研究[J]. 市政技术, 2019, 37(4): 125-128.
- [4] 刘天雄, 陈辉华, 李瑚均. 复合地层盾构施工安全影响因素及安全事故致因机理[J]. 铁道科学与工程学报, 2020, 17(1): 266-272.
- [5] 黄俐. 北京地铁盾构施工沉降风险机理研究及评价模型构建[D]. 中国矿业大学(北京). 2012.
- [6] 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.
- [7] 汪新宇, 白成芳. 基于知识图谱的一种风险预警模型实证研究[J]. 河北科技大学学报(社会科学版). 2023.
- [8] 董兴芝. 面向智能高铁安全保障的知识图谱构建及应用关键技术研究[D]. 中国铁道科学研究院. 2022.
- [9] 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.
- [10] 姜天文. 条件性知识图谱构建及其应用研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2021.