

文章编号: 1671-251X(2024)02-0147-07

DOI: 10.13272/j.issn.1671-251x.2023090033

基于应急预案的煤矿应急救援辅助决策系统设计

高洪波

(应急管理部信息研究院, 北京 100029)

摘要: 针对煤矿应急救援辅助决策系统中应急预案应用不足、应用效率低及系统生成的救援方案可执行性欠佳等问题, 提出了一种基于应急预案的煤矿应急救援辅助决策系统设计方法。该方法采用基于大语言模型的信息抽取技术, 从应急预案中提炼出关键任务要素, 如任务名称、触发条件、执行部门和任务内容等, 形成元任务, 并构建根据事故类型和级别对元任务进行分类存储的元任务库; 发生煤矿安全事故时, 运用基于 SBERT 模型的语义匹配技术, 根据现场收集的信息进行事故分类分级, 并从元任务库中筛选出与当前应急需求相符合的元任务集; 为提高任务的可行性, 将元任务与实时采集的现场数据结合, 通过指令模板构建具体的行动指令, 并利用任务规划技术对指令的优先级进行优化和调整, 生成切实可行的现场救援方案。基于应急预案的煤矿应急救援辅助决策系统充分利用了应急预案的规范化内容, 形成了与现场信息紧密结合、资源优化的救援方案, 进一步提高了救援决策的准确性、科学性和智能化水平。

关键词: 应急救援; 煤矿事故; 辅助决策; 应急预案; 信息抽取; 语义匹配; 任务规划

中图分类号: TD774

文献标志码: A

Design of coal mine emergency rescue auxiliary decision system based on emergency plan

GAO Hongbo

(Information Institute of the Ministry of Emergency Management of PRC, Beijing 100029, China)

Abstract: In the coal mine emergency rescue auxiliary decision system, there are problems such as insufficient application of emergency plans, low application efficiency, and poor execution of rescue plans generated by the system. In order to solve the above problems, a design method for a coal mine emergency rescue auxiliary decision system based on emergency plans is proposed. This method uses information extraction technology based on large language models to extract key task elements from emergency plans, such as task names, triggering conditions, executing departments, and task content. This method forms meta tasks, and constructs a meta task library that classifies and stores meta tasks based on accident types and levels. When a coal mine safety accident occurs, this method uses semantic matching technology based on the SBERT model to classify and grade the accident based on the information collected on site. The method selects the meta task set that matches the current emergency needs from the meta task library. To improve the feasibility of tasks, this method combines meta tasks with real-time collected on-site data, constructs specific action instructions through instruction templates. The method uses task planning techniques to optimize and adjust the priority of instructions, and generate practical and feasible on-site rescue plans. The coal mine emergency rescue auxiliary decision system based on emergency plans fully utilizes the standardized content of emergency plans, forming a rescue plan closely integrated with on-site information and resource optimization. The system further improves the

收稿日期: 2023-09-08; 修回日期: 2024-02-21; 责任编辑: 盛男。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(52374165)。

作者简介: 高洪波(1979—), 男, 北京人, 工程师, 硕士, 现从事安全生产信息化及应急管理技术研究与应用方面的工作, E-mail: hongbo_g@hotmail.com。

引用格式: 高洪波. 基于应急预案的煤矿应急救援辅助决策系统设计[J]. 工矿自动化, 2024, 50(2): 147-152, 160.

GAO Hongbo. Design of coal mine emergency rescue auxiliary decision system based on emergency plan[J]. Journal of Mine Automation, 2024, 50(2): 147-152, 160.



扫码移动阅读

accuracy, scientificity, and intelligence level of rescue decision-making.

Key words: emergency rescue; coal mine accidents; auxiliary decision; emergency plan; information extraction; semantic matching; task planning

0 引言

煤矿生产过程常伴随着安全风险和事故隐患。在煤矿事故发生时,迅速而有效的应急救援是保障人民群众生命安全和减少经济损失的关键。然而,煤矿事故救援工作既复杂又危险,对救援人员的专业知识和快速决策能力提出了极高的要求。传统的煤矿应急救援决策主要依赖于人工经验和现场指挥,在面临信息匮乏和时间紧迫的情况下,难以迅速做出准确的决策,而主观判断容易导致误判和错误决策。因此,煤矿应急救援工作迫切需要高效、科学的辅助决策系统。

目前,已有研究致力于煤矿应急救援辅助决策技术的探索。这些研究主要集中于应急预案的数字化技术、基于历史案例的推理技术等。在应急预案的数字化技术方面,一些学者通过将煤矿应急预案的文本内容进行数字化,建立相应的数据库,实现煤矿应急预案的编制、审核、存储、浏览及智能查询等功能,为煤矿应急救援提供了预案的快速生成和检索能力^[1-4]。然而,目前应急预案的数字化技术主要集中在应急预案本身的数字化处理,对于应急预案的智能化处理如指令构建、任务规划、方案生成等方面研究较为有限,导致应急预案在实际救援过程中应用不足、应用效率低,难以发挥其在实战中的作用。在基于历史案例的推理技术方面,一些研究通

过对历史事故案例进行分析、建模,并构建案例库和案例推荐系统,以在救援过程中匹配并推荐最相似的案例给指挥人员^[5-8]。然而,目前基于历史案例的推理技术推荐的历史案例虽具有一定的参考价值,但缺乏与事故现场信息和煤矿实际应急能力的综合考量,难以在复杂多变的决策过程中生成适用于现场实际情况且具备可执行性的救援方案。

为提高我国煤矿应急救援辅助决策系统的决策准确性、科学性和智能化水平,提出了基于应急预案的煤矿应急救援辅助决策系统设计方法。采用信息提取技术从煤矿应急预案中获取救援任务信息并建立元任务库。当煤矿发生安全事故时,系统采集事故信息,从元任务库中匹配筛选出相关的元任务,并结合煤矿安全监控、人员定位等系统的实时数据,形成详细且可执行的指令清单。通过任务规划技术对指令优先级进行规划,最终生成救援方案并发送给指挥人员。

1 系统业务流程设计

系统业务流程如图 1 所示,主要包括 5 个步骤:① 预案信息抽取与元任务库构建;② 事故信息提取与元任务筛选;③ 动态信息采集;④ 救援指令构建;⑤ 任务规划。

1.1 预案信息抽取与元任务库构建

根据 GB/T 29 639—2020《生产经营单位生产安

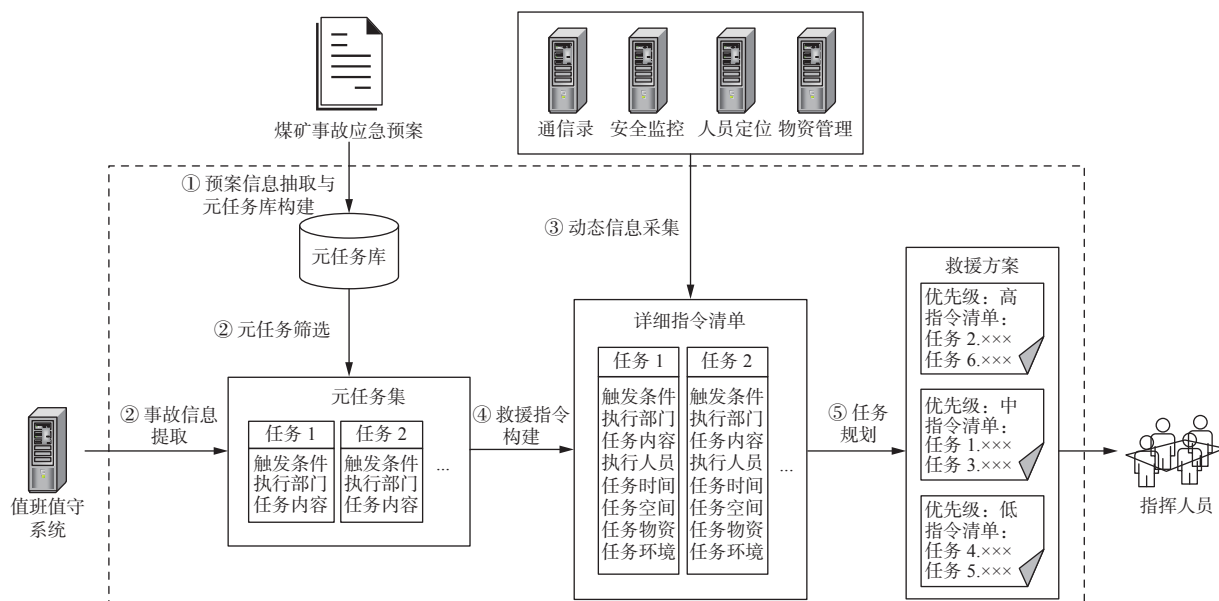


图 1 煤矿应急救援辅助决策系统业务流程

Fig. 1 Business flow of coal mine emergency rescue auxiliary decision system

全事故应急预案编制导则》的规定^[9],煤矿应急预案可分为综合应急预案、专项应急预案和现场处置方案。系统通过对应急预案的文本进行分析,运用基于大语言模型的信息抽取技术,从应急预案的组织机构及职责、应急响应、处置措施等文本内容中识别并提取关键的实体要素,并构建应急救援过程中的最小任务单元^[10],即元任务,包括任务名称、触发条件、执行部门和任务内容等属性。为了在事故发生时实现更高效的触发条件匹配、读取元任务和构建详细指令等功能,系统采用关系型数据库技术来存储和管理元任务,形成根据事故类型和级别对元任务进行分类存储的元任务库,同时采用索引优化和缓存机制,以减少磁盘 I/O 操作和网络传输延迟,确保快速检索和访问所需的元任务信息。

1.2 事故信息提取与元任务筛选

发生煤矿安全事故时,系统从煤矿值班值守系统中提取事故信息,包括事故类型、人员伤亡情况、事故内容、发生地点和发生时间等关键信息,并根据事故类型和人员伤亡情况对事故进行分类和分级。事故分类包括瓦斯、顶板、机电、放炮、水灾、火灾、运输和其他等 8 类事故。事故分级主要根据伤亡人数划分:若造成 30 人以上死亡,为特别重大事故;造成 10 人以上 30 人以下死亡,为重大事故;造成 3 人以上 10 人以下死亡,为较大事故;造成 3 人以下死亡,为一般事故。

事故分类分级后,系统利用语义匹配技术进一步从元任务库中筛选出与当前事故最匹配的元任务集。在语义匹配过程中,事故内容和任务触发条件的文本被转换为向量形式,通过计算相似度筛选出与当前事故匹配度最高的元任务。由于元任务是基于应急预案生成的,而应急预案是在事故发生前事先编制的,所以匹配出的元任务仅包含触发条件、执行部门和任务内容等信息,需通过救援指令构建过程对元任务补充行动地点、行动时间、执行人员及周边环境等现场动态信息,才能使救援指令具体化和可执行。

1.3 动态信息采集

由于井下现场环境复杂且事故态势瞬息万变,为确保救援任务的可行性和及时性,系统必须实时采集现场动态信息并融合到救援任务中。系统对接煤矿安全监控、人员定位、水文地质监控、顶板监控及矿用重大设备监控系统,实时采集事故区域的主要环境参数(如甲烷、一氧化碳、风速、烟雾等)、被困人员数量、人员位置信息、行走轨迹,以及水位、水温、顶板压力和井下重大设备的运行状态等动态

信息数据。由于安全感知数据产生频率高,系统采用 Kafka 消息队列作为数据传输媒介。动态信息数据经过 Flink 流式处理^[11]后被存入时序数据库中。系统与煤矿通信录系统进行接口对接,获取救援人员的联系方式和相关信息。系统与煤矿应急物资管理系统进行对接,获取可用的救援物资类型和库存数量等信息。这些数据通过 Kettle 数据抽取工具从源系统中提取,通过 ETL(Extract-Transform-Load)过程同步到系统中。系统通过整合来自不同系统的各类数据,构建全面且准确的现场动态数据集,以供后续的指令构建过程使用。

1.4 救援指令构建

煤矿应急救援方案的核心为救援指令集,因此,构建完整且明确的救援指令成为辅助决策过程的关键步骤。系统基于指令模板进行指令构建,模板的构成要素包括任务名称、触发条件、执行部门、执行人员、任务内容、任务周边环境、任务时间、任务空间及行动物资等,如图 2 所示。系统将采集到的静态信息和实时数据替换至指令模板的相应占位符中,生成详细的救援指令。在救援指令构建过程中,需确保替换的数据与模板中的占位符类型和格式相匹配,避免数据丢失或错误。

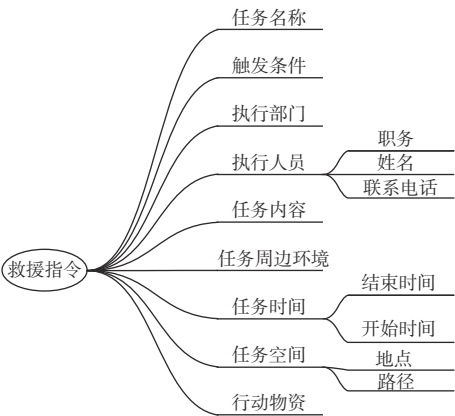


图 2 煤矿应急救援指令模板构成要素

Fig. 2 Coal mine emergency rescue instruction template components

1.5 任务规划

救援指令构建后,系统运用任务规划技术确定任务指令的优先级。任务规划技术是一种基于约束条件的优化算法,它根据任务的目标、资源限制、时间要求等因素来比较不同的任务组合,从而确定最优的任务执行顺序和资源分配方案,即形成救援方案。系统将救援方案推送给指挥人员,指挥人员可对其进行手动修订,一旦确认批准,方案即被下发给执行人员进行实施。随着事故应急处置工作的推进和现场情况的变化,系统的数据持续获取和指令动

态生成能力确保救援方案在不断变化的情况下保持高效和准确,直至应急救援工作结束。

2 系统架构设计

煤矿应急救援辅助决策系统架构如图 3 所示,自下而上依次为数据层、模型层、业务层、应用层、访问层。数据层负责采集和存储系统需要的应急预案、通信录、环境监测、人员定位、应急物资等数据。模型层主要部署大语言模型 ChatGLM^[12]及语义匹配模型 SBERT^[13]等,模型层基于从数据层获取的各类数据,通过数据标注、模型训练、模型发布、迭代优化等过程对模型进一步训练,为业务层提供支持。业务层实现主要业务逻辑,包括预案信息抽取、元任务库构建、事故信息抽取、任务匹配筛选、任务清单构建、任务清单规划、救援方案生成等。应用层承载系统的主要功能和应用服务,包括安全态势、数字预案、辅助决策、方案管理等功能模块。访问层实现指挥人员、救援人员等系统用户通过大屏端、PC 端、移动端等方式访问系统。

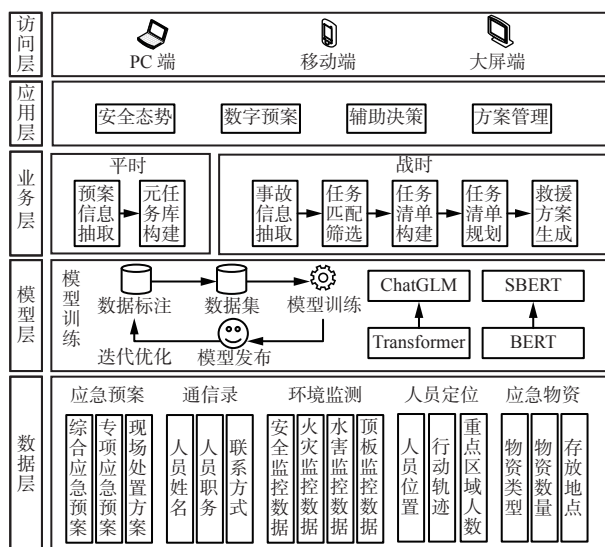


图 3 煤矿应急救援辅助决策系统架构

Fig. 3 Architecture of coal mine emergency rescue auxiliary decision system

3 系统功能模块设计

3.1 安全态势

安全态势功能模块通过对煤矿井下实时数据的监控、分析和可视化呈现,实现对煤矿安全态势的全面把握。实时数据包括系统接收的环境感知信息、人员定位信息、应急物资信息及事故信息。通过采用趋势分析和关联分析等方法深入挖掘和分析数据,形成安全态势分析结果,并以多维度的形式进行可视化展示。

3.2 数字预案

数字预案功能模块基于煤矿各类典型事故灾害预案实现快速生成数字化应急预案。预案编制必须严格遵循预先设定的数字化模板,确保预案的规范性和一致性。系统支持对预案进行修改、删除、查询等维护管理功能,同时也支持对纸质预案的导入和处理,方便预案管理。

3.3 辅助决策

辅助决策功能模块从值班值守系统获取事故信息,通过语义匹配技术从元任务库中筛选出与事故相关的救援任务,结合现场实时动态数据生成详细的任务指令集,应用任务规划技术在有限资源、时间要求等约束条件下对指令执行顺序进行优化和调整,形成包含详细任务指令、时间计划、资源需求等信息的高效科学的救援方案。

3.4 方案管理

方案管理功能模块实现救援方案的预览、查询和导出功能。预览功能帮助决策人员全面了解方案内容和细节;查询功能允许按照关键词和特定条件筛选救援方案,以协助做出科学的救援决策;导出功能支持将救援方案以不同格式(如 Word、PDF 等)进行分享和交流。此外,该模块还具备自动备份能力,以防止因系统故障等原因导致救援方案的丢失。

4 系统实现关键技术

4.1 基于大语言模型的信息抽取技术

信息抽取技术是一种处理自然语言文本的关键技术^[14-16],旨在根据特定的抽取需求从非结构化文本中提取出任务所需的实体、关系和属性等关键信息,以结构化形式进行描述并存入结构化数据库中。信息抽取技术应用于元任务构建过程中从煤矿应急预案文本中抽取任务实体要素和任务筛选过程中从事故接报信息中抽取事故关键要素。

常用的信息抽取方法包括基于规则引擎、词典匹配或传统机器学习算法,这些方法通常需依赖领域知识、规则设计和手动特征工程。相比之下,以 GPT 为代表的大语言模型具有更高的自动化程度、更强的上下文理解能力、更少的数据需求、更好的灵活性^[17-19]。系统采用开源大语言模型 ChatGLM 实现信息抽取。ChatGLM 是一款基于 GLM 架构的大语言模型,由多个编码器和解码器组成,可支持本地部署,最多拥有 1 300 亿个参数。在预训练阶段,ChatGLM 使用了大量的无监督和有监督数据进行训练,从而学习到自然语言文本中的通用知识和语言规律。在微调阶段,通过使用煤矿应急救援领域的

数据集进行微调,模型能够强化领域知识,进一步提高信息抽取的质量。经过微调的 ChatGLM 模型在处理煤矿应急预案的实体要素抽取任务时,能够准确识别并提取出关键的任务要素,包括任务名称、触发条件、执行部门和任务内容等,即构建元任务,而在处理事故接报信息的事故关键要素抽取任务时,同样能够准确提取出事故类型、时间、地点及伤亡情况等关键信息,为事故分类分级和元任务的筛选奠定基础。

4.2 基于 SBERT 模型的语义匹配技术

语义匹配技术实现根据煤矿事故信息从元任务库中筛选元任务。系统采用孪生网络 SBERT 模型进行语义相似度计算,以提升语义匹配的准确性和效率。SBERT 是一种基于预训练语言模型 BERT^[20]实现的句子级嵌入模型,通过对输入的句子进行编码,生成语义丰富的句子向量表示,并用于语义相似度计算。

SBERT 模型结构如图 4 所示,SBERT 模型的子网络均使用 BERT 模型,且 2 个 BERT 模型共享参数。在语义匹配的过程中,系统首先从煤矿事故接报信息中提取关键文本要素,将其输入到 BERT 模型中,并应用池化策略(pooling)生成句子表示向量 u 。同时,系统还将各个元任务触发条件文本输入 BERT 模型中,通过池化策略生成句子表示向量 v 。通过对煤矿事故接报信息与元任务触发条件的余弦相似度进行计算($\text{cosine-sim}(u, v)$),实现精准、高效的语义匹配。

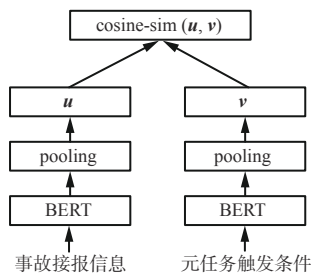


图 4 SBERT 模型结构
Fig. 4 SBERT model structure

4.3 任务规划技术

在完成基本任务指令列表创建之后,由于多个任务之间可能存在时间或资源依赖关系,且现有应急资源有限,可能无法完全满足所有任务的需求。所以,有必要将这些任务按照优先级进行划分,以确保高优先级任务优先执行。

系统采用层次任务网络(Hierarchical Task Network, HTN)^[21-22]规划器 JSHOP2 来实现救援任务规划。JSHOP2 具有灵活的规划语言和丰富的规划

功能,能够有效应对复杂的任务规划需求。其规划过程如下:

1) 领域建模。在 JSHOP2 中,定义救援任务的领域模型,包括操作(Actions)和谓词(Predicates)。操作描述可执行的救援任务,如现场侦察、瓦斯排放、人员搜寻等,谓词描述救援任务中的状态和约束,如可用的应急物资数量、遇险人员位置信息等。

2) 问题建模。在 JSHOP2 中,定义具体的救援任务问题,包括初始状态和目标状态。初始状态描述救援任务的触发条件,如瓦斯爆炸、水害、火灾等不同事故情景下的现场环境和人员状况;目标状态描述救援任务的期望目标,如控制灾情、救出被困人员等。

3) 规划策略制定。JSHOP2 规划器使用启发式搜索算法,重点关注如何合理调配有限的队伍、物资、设备等应急资源,解决任务间的时间和资源依赖关系,并生成符合实际情况的救援方案。

4) 优先级规划。在问题模型中,为每个任务操作定义优先级属性,以指定任务的优先级,如优先确保遇险人员的生命安全、维持通风系统的正常运行等。

5) 解决方案生成。当 JSHOP2 规划器找到一个可行的解决方案时,系统将解析该方案,并生成规划结果,包括每项任务的执行顺序、责任归属团队及预期的完成时间等。

通过使用 JSHOP2 规划器,系统可根据任务的优先级和约束,生成适应紧急情况的任务规划解决方案,从而可高效地管理和分配有限的资源,确保高优先级任务得到及时执行。

5 结论

1) 煤矿应急救援辅助决策系统业务流程主要包括:预案信息抽取与元任务库构建、事故信息抽取与元任务筛选、动态信息采集、救援指令构建、任务规划。系统架构自下而上依次为数据层、模型层、业务层、应用层、访问层。

2) 应用基于大语言模型的信息抽取技术,实现从应急预案中自动识别和提取关键任务要素,并建立元任务库,形成后续救援任务规划和决策的数据基础,提升了应急预案信息的易用性和检索效率。

3) 应用基于 SBERT 模型的语义匹配技术,迅速而精准地从元任务库中筛选出与当前事故情景高度相关的任务集合,加快了响应时间,增强了救援计划的相关性与适应性。

4) 通过预设的指令模板生成结合现场数据与元任务信息的行动指令,通过任务规划技术对指令的

执行顺序进行优化和调整,形成更具可操作性和高效率的救援方案。

参考文献(References):

- [1] 刘常昊,郑万波,杨志全,等.区域煤矿智慧应急管理信息平台的多层次数字预案信息系统[J].能源与环保,2020,42(12):124-129.
LIU Changhao, ZHENG Wanbo, YANG Zhiqian, et al. Multi-level digital pre-plan information system of regional coal mine intelligent emergency management information platform[J]. China Energy and Environmental Protection, 2020, 42(12): 124-129.
- [2] 杨梦,周恩波.煤矿智能应急预案生成系统设计与关键技术[J].煤矿安全,2018,49(7):96-98.
YANG Meng, ZHOU Enbo. Design and key technologies for coal mine intelligent emergency plan generation system[J]. Safety in Coal Mines, 2018, 49(7): 96-98.
- [3] 陈波.基于“六化”目标导向的煤矿安全应急预案管理系统构建[J].煤,2020,29(9):71-72,75.
CHEN Bo. The construction of coal mine safety emergency plan management system based on "six" target-oriented[J]. Coal, 2020, 29(9): 71-72, 75.
- [4] 赖祥威,郑万波,吴燕清,等.矿山事故应急救援数字预案的任务协同流程网络模型及时效分析[J].计算机科学,2021,48(增刊1):596-602.
LAI Xiangwei, ZHENG Wanbo, WU Yanqing, et al. Task collaborative process network model and time analysis of mine accident emergency rescue digital plan[J]. Computer Science, 2021, 48(S1): 596-602.
- [5] 杨梦,周恩波.基于专家系统的煤矿事故现场处置方案自动生成系统研究[J].煤炭工程,2019,51(11):138-142.
YANG Meng, ZHOU Enbo. Automatic generation system of coal mine accident disposal scheme based on expert system[J]. Coal Engineering, 2019, 51(11): 138-142.
- [6] 赵红泽,张超力.煤矿应急物资需求预测与虚拟演练系统研究[J].煤炭工程,2021,53(4):172-176.
ZHAO Hongze, ZHANG Chaoli. Demand forecasting of coal mine emergency supplies and the virtual drill teaching system[J]. Coal Engineering, 2021, 53(4): 172-176.
- [7] 林麟.网络爬虫和案例推理技术在煤矿智能应急预案系统中的研究及应用[J].陕西煤炭,2021,40(2):38-42.
LIN Lin. Research and application of web crawler and case reasoning technology in mine intelligent emergency plan system[J]. Shaanxi Coal, 2021, 40(2): 38-42.
- [8] 王庆荣,马辰坤.面向案例消耗推理的应急物资预测[J].计算机工程与应用,2021,57(22):281-287.
WANG Qingrong, MA Chenkun. Forecast of emergency supplies for case consumption reasoning[J]. Computer Engineering and Applications, 2021, 57(22): 281-287.
- [9] GB/T 29639—2020 生产经营单位生产安全事故应急预案编制导则[S].
GB/T 29639-2020 Guidelines for enterprises to develop emergency response plan for work place accidents[S].
- [10] 魏涛,侯腊梅,张亚星,等.一种面向任务的作战指令生成方法[J].火力与指挥控制,2020,45(8):114-118.
WEI Tao, HOU Lamei, ZHANG Yaxing, et al. Method for generating task-oriented military instruction[J]. Fire Control & Command Control, 2020, 45(8): 114-118.
- [11] CARBONE P, KATSIFODIMOS A, EWEN S, et al. Apache flink: stream and batch processing in a single engine[J]. Bulletin of the IEEE Computer Society Technical Committee on Data Engineering, 2015, 36(4): 28-38.
- [12] DU Zhengxiao, QIAN Yujie, LIU Xiao, et al. GLM: general language model pretraining with autoregressive blank infilling[C]. The 60th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, Dublin, 2022: 320-335.
- [13] REIMERS N, GUREVYCH I. Sentence-BERT: sentence embeddings using siamese BERT-networks[C]. Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and the 9th International Joint Conference on Natural Language Processing, Hong Kong, 2019: 3980-3990.
- [14] 祝涛杰,卢记仓,周刚,等.文档级关系抽取技术研究综述[J].计算机科学,2023,50(5):189-200.
ZHU Taojie, LU Jicang, ZHOU Gang, et al. Review of document-level relation extraction techniques[J]. Computer Science, 2023, 50(5): 189-200.
- [15] 朱艺娜,曹阳,钟靖越,等.事件抽取技术研究综述[J].计算机科学,2022,49(12):264-273.
ZHU Yina, CAO Yang, ZHONG Jingyue, et al. Survey on event extraction technology[J]. Computer Science, 2022, 49(12): 264-273.
- [16] 梁建军,雷咸锐,吴斌,等.基于规则模式的瓦斯爆炸事故信息抽取技术[J].煤矿安全,2023,54(2):239-245.
LIANG Jianjun, LEI Xianrui, WU Bin, et al. Gas explosion accident information extraction technology based on regular model[J]. Safety in Coal Mines, 2023, 54(2): 239-245.

(下转第 160 页)

- combination weighting[J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45(12): 23-28.
- [13] 毕娟, 李希建. 基于博弈论组合赋权灰靶模型的煤矿安全综合评价[J]. 中国安全生产科学技术, 2019, 15(7): 113-118.
- BI Juan, LI Xijian. Comprehensive evaluation of coal mine safety based on grey target model with combination weighting of game theory[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2019, 15(7): 113-118.
- [14] 薛森, 李文平, 郭启琛, 等. 基于 FAHP- GRA 评价方法的顶板承压含水层富水性预测研究[J]. 金属矿山, 2018(4): 168-172.
- XUE Sen, LI Wenping, GUO Qichen, et al. Prediction of water abundance of the roof confined aquifer strata based on FAHP- GRA evaluation method[J]. Metal Mine, 2018(4): 168-172.
- [15] 吕志鹏, 吴鸣, 宋振浩, 等. 电能质量 CRITIC-TOPSIS 综合评价方法[J]. 电机与控制学报, 2020, 24(1): 137-144.
- LYU Zhipeng, WU Ming, SONG Zhenhao, et al. Comprehensive evaluation of power quality on CRITIC-TOPSIS method[J]. Electric Machines and Control, 2020, 24(1): 137-144.
- [16] 蒋仲安, 付恩琦. FAHP 法在矿井防尘供水管网综合性能评价中的应用[J]. 煤炭技术, 2017, 36(12): 114-116.
- JIANG Zhong'an, FU Enqi. Application of FAHP method in comprehensive evaluation of mine dust-proof water supply network[J]. Coal Technology, 2017, 36(12): 114-116.
- [17] 徐星, 田坤云, 赵新涛, 等. 基于折衷权重-模糊综合评价法 FCE 的煤矿水害安全评价[J]. 煤矿安全, 2017, 48(9): 241-244.
- XU Xing, TIAN Kunyun, ZHAO Xintao, et al. Coal mine water disaster safety evaluation based on compromise weight and fuzzy comprehensive evaluation method[J]. Safety in Coal Mines, 2017, 48(9): 241-244.
- [18] 王沛文, 林岩. 基于 ANP 与模糊 TOPSIS-RITIC 方法的不确定多属性决策模型[J]. 数学的实践与认识, 2021, 51(6): 157-169.
- WANG Peiwen, LIN Yan. Uncertain multi-attribute decision-making model based on ANP and Fuzzy TOPSIS-CRITIC method[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2021, 51(6): 157-169.
- [19] 姜洋. 基于群决策层次分析和因子分析的 CW-FCM 煤矿冲击地压评价模型[J]. 煤矿安全, 2019, 50(9): 187-191.
- JIANG Yang. CW-FCM evaluation model of rock burst in coal mine based on group decision analytic hierarchy process and factor analysis[J]. Safety in Coal Mines, 2019, 50(9): 187-191.
- [20] 胡云飞, 李重情, 褚恒滨. 基于改进未知测度的煤矿坚硬断层深孔爆破效果评价[J]. 中国矿业, 2023, 32(3): 80-85.
- HU Yunfei, LI Zhongqing, CHU Hengbin. Evaluation of deep hole blasting effect of hard fault in coal mine based on improved unascertained measure[J]. China Mining Magazine, 2023, 32(3): 80-85.
- (上接第 152 页)
- [17] RADFORD A, NARASIMHAN K, SALIMANS T, et al. Improving language understanding by generative pre-training[EB/OL]. [2023-08-21]. https://s3-us-west-2.amazonaws.com/openai-assets/research-covers/language-unsupervised/language_understanding_paper.pdf.
- [18] RADFORD A, WU J, CHILD R, et al. Language models are unsupervised multitask learners[EB/OL]. [2023-08-21]. <https://d4mucfpksyv.cloudfront.net/better-language-models/language-models.pdf>.
- [19] BROWN T B, MANN B, RYDER N, et al. Language models are few-shot learners[C]. The 34th International Conference on Neural Information Processing Systems, New York, 2020: 1877-1901.
- [20] DEVLIN J, CHANG Mingwei, LEE K, et al. BERT: pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding[C]. Conference on the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, Minneapolis, 2019: 4171-4186.
- [21] 邵天浩, 张宏军, 程恺, 等. 层次任务网络中的重新规划研究综述[J]. 系统工程与电子技术, 2020, 42(12): 2833-2846.
- SHAO Tianhao, ZHANG Hongjun, CHENG Kai, et al. Review of replanning in hierarchical task network[J]. System Engineering and Electronics, 2020, 42(12): 2833-2846.
- [22] 易侃, 张杰勇, 焦志强, 等. 基于层次任务网络的作战任务-系统功能映射方法[J]. 系统工程与电子技术, 2023, 45(10): 3183-3191.
- YI Kan, ZHANG Jieyong, JIAO Zhiqiang, et al. Combat task-system function mapping method based on hierarchical task network[J]. Systems Engineering and Electronics, 2023, 45(10): 3183-3191.