

大数据驱动的危险源辨识与动态风险评估方法

黄大勇¹, 胡海英²

1. 青岛灵符安全技术咨询服务有限公司, 山东 青岛 266199

2. 安德烈斯蒂尔动力工具(青岛)有限公司, 山东 青岛 266113

DOI:10.61369/ETQM.2025110027

摘 要 : 本文聚焦大数据驱动的危险源辨识与动态风险评估方法, 通过构建覆盖“人-机-环-管”全维度的数据体系, 结合显性与隐性危险源辨识模型、知识图谱技术, 实现了危险源的全面、精准与实时识别。在此基础上, 设计了以数据实时流动为核心的四层动态风险评估框架, 包括风险量化指标的动态计算、风险演化趋势预测等功能模块, 并进一步提出了支持该系统实现的五层架构与关键技术解决方案。该方法可显著提升风险识别的准确性与时效性, 为安全生产管理的智能化转型提供理论依据与技术支持。

关 键 词 : 危险源辨识; 动态风险评估; 大数据驱动; 知识图谱

Big Data-Driven Hazard Identification and Dynamic Risk Assessment Methods

Huang Dayong¹, Hu Haiying²

1. Qingdao Lingfu Safety Technology Consulting Service Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266199

2. Andreas Stihl Power Tools (Qingdao) Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266113

Abstract : This paper focuses on big data-driven hazard identification and dynamic risk assessment methods. By constructing a comprehensive data system that covers all dimensions of "human-machine-environment-management," combined with explicit and implicit hazard identification models and knowledge graph technology, it achieves comprehensive, accurate, and real-time identification of hazards. On this basis, a four-tier dynamic risk assessment framework centered on real-time data flow is designed, including functional modules such as dynamic calculation of risk quantification indicators and prediction of risk evolution trends. Furthermore, a five-tier architecture and key technical solutions supporting the implementation of this system are proposed. This method can significantly enhance the accuracy and timeliness of risk identification, providing a theoretical basis and technical support for the intelligent transformation of work safety management.

Keywords : hazard identification; dynamic risk assessment; big data-driven; knowledge graph

引言

近年来大数据技术凭借全维度数据整合、实时流处理、关联分析与趋势预测能力, 为突破传统安全管理瓶颈提供了新路径。但当前学界与产业界对大数据驱动的危险源辨识与动态评估研究, 仍存在数据体系标准化不足、隐性危险源关联模型泛化能力弱、动态评估指标与场景适配性差等问题, 尚未形成“辨识-评估-处置-迭代”的完整闭环。鉴于此, 本文以提升危险源辨识的全面性与风险评估的实时性、精准性为核心目标, 系统开展大数据驱动的危险源辨识与动态风险评估方法研究。构建人-机-环-管全维度数据体系, 设计显性与隐性危险源双轨辨识模型, 结合知识图谱实现风险信息结构化与跨场景复用; 进而搭建数据层-指标层-算法层-应用层联动的动态风险评估框架, 提出风险量化指标动态计算模型与多周期趋势预测方法; 通过设计并实现动态风险评估系统, 将理论方法落地为可操作的技术工具。本研究旨在为工业、工程建设等领域提供科学的风险管控方法论, 推动安全管理从“事后处置”向“事前预判、事中管控”转型, 提升整体风险防控能力。

一、大数据驱动的危险源辨识方法

（一）危险源辨识的数据体系构建

危险源辨识的范围必须覆盖组织内的作业活动、产品和服务的全过程，应考虑：所有常规、非常规的活动；所有进入作业场所人员（包括合同人员和访问者）的活动；所有作业场所内的设施（无论由组织还是由外界所提供）^[1]。大数据驱动辨识需以全来源、高质量、可复用数据体系为基石，解决数据来源、处理、存储核心问题。数据来源上打破孤岛，整合人-机-环-管全维度数据，各维度数据类型与用途不同，分别服务于人因、设备、环境、管理风险识别；原始数据需经清洗、集成、变换预处理以保障可用性；存储管理按数据类型选适配方案，兼顾效率与成本，同时做好安全管控，符合相关法规要求。

（二）基于大数据的显性危险源辨识模型

显性危险源是指可直接观察、易量化的风险，核心是通过实时监测+阈值判断+分类识别，实现风险的即时发现、精准定位，其技术逻辑遵循数据实时输入→特征匹配/阈值比对→风险告警的流程，借助统计分析、机器学习、计算机视觉等技术直接识别显性风险信号^[2]。在典型模型与应用场景中，阈值监测模型以统计分析为核心技术，适用于设备参数超限、环境浓度超标的场景；分类识别模型依托传统机器学习，可用于人员违规行为分类、设备状态判断；图像识别模型则基于计算机视觉，适用于明火、烟雾、违规堆放等视觉可识别的风险场景^[3]。此外，显性危险源辨识模型还需具备实时性与可解释性双重特性，实时性方面，通过边缘计算技术将部分建模分析任务部署在传感器、摄像头等终端设备上，减少数据传输延迟，确保风险告警在秒级响应；可解释性方面，模型需输出风险识别的关键依据，帮助现场人员快速判断风险严重程度，避免无效告警。

（三）基于大数据的隐性危险源辨识模型

隐性危险源指难直接观察、需关联分析或趋势预测发现的风险，核心是通过多维度数据关联、趋势预测、异常模式挖掘提前识别潜在风险，技术逻辑为突破单一数据维度局限，挖掘数据隐性关联、分析风险趋势^[4]。典型模型中，关联分析模型可挖掘多因素联动隐性风险，如某煤矿借此发现特定设备、人员、环境因素组合会大幅提升故障概率；趋势预测模型能预测设备隐性老化等，如某电力公司用其提前1-3个月预测变压器绝缘老化风险；异常模式挖掘模型适用于未知隐性风险识别，如某车企借此发现机器人机械臂磨损问题。

（四）危险源知识图谱构建与应用

危险源知识图谱是将危险源数据、风险关联关系、安全知识以实体-关系-属性结构化存储，形成可查询、可推理、可复用的知识体系，核心在于解决风险信息碎片化，实现危险源全生命周期管理与跨场景风险关联分析^[5]。构建流程上，通过知识抽取从多源数据提取实体、关系、属性，经知识融合确保准确性，用图数据库存储，高效支持多跳查询与关联分析。应用场景包括风险溯源与根因分析、风险预警与联动处置、安全培训与知识复用，此外需通过人工反馈+自动更新机制持续迭代，保障知识时效性与完整性。

二、大数据驱动的动态风险评估方法

（一）动态风险评估的总体框架

动态风险评估总体框架以数据实时流动为核心，构建数据层-指标层-算法层-应用层四层联动体系，解决评估滞后、维度单一、与场景脱节问题，形成数据输入到风险输出闭环。数据层对接危险源辨识数据体系，获取人-机-环-管全维度实时数据，借边缘计算初步过滤数据，确保秒级传输延迟，提供高质量数据支撑。指标层建立动态可调整、场景适配的风险量化指标体系，按场景选核心指标，且指标可随场景或环境变化动态更新^[6]。算法层整合实时计算、机器学习等技术，具有并行计算能力，搭载多评估算法模块，可依场景灵活选算法方式。应用层以可视化仪表盘、实时告警等形式向不同用户输出评估结果，联动管控措施，并通过反馈机制将处置结果反向传至数据层、指标层，实现闭环迭代。

（二）风险量化指标的动态计算模型

风险量化指标的动态计算模型，核心是解决传统固定阈值计算无法反映风险动态变化的问题，通过实时数据驱动指标更新、多维度因子修正、场景化权重调整实现风险指标动态量化，确保指标值匹配当前风险状态^[7]。模型明确基础指标计算逻辑，针对状态类、变化率类、频次类等不同风险指标设计差异化实时计算方法。状态类指标以实时监测值与安全阈值的偏差程度计算，变化率类指标以单位时间内指标变化幅度计算，频次类指标以单位时间内事件发生次数与历史平均水平的对比计算。在此基础上，模型引入多维度修正因子动态调整基础指标值，比如夜间作业时给人员违规操作频次指标乘1.2修正系数，暴雨天气给边坡位移速率指标乘1.5修正系数，老旧设备给设备温度偏差指标乘1.3修正系数，修正后指标值按基础指标值 $\times(1+\text{各修正因子系数之和})$ 计算，综合反映多因素对风险的动态影响。

（三）风险演化趋势分析与预测

风险演化趋势分析与预测，核心是解决仅关注当前风险状态、无法提前预判未来风险的问题，通过历史数据规律挖掘、实时趋势捕捉、多场景预测实现对风险未来演化趋势的预判，为主动管控提供依据，包含趋势分析、预测模型、场景化预测调整三大核心模块^[8]。趋势分析模块先挖掘历史风险数据，识别风险演化典型模式与周期性特征，存入风险规律知识库；再结合实时数据判断当前风险演化阶段，通过趋势斜率计算量化演化速度，明确风险变化态势。预测模型模块按短、中、长周期选择适配模型，短期用时间序列分析模型，适配高实时性场景；中期用机器学习模型，综合多因素预判；长期用系统动力学+机器学习融合模型，模拟风险因素相互作用。场景化预测调整模块针对外部环境突变、内部场景调整等不确定性因素，引入对应修正因子调整预测结果，同时支持人工干预修正。

三、动态风险评估系统设计与实现

（一）系统总体架构设计

动态风险评估系统采用感知层-数据层-平台层-应用层-展示层五层架构设计，通过分层解耦实现数据可扩展、功能可复用、技术可迭代，且与前文动态风险评估方法的数据-指标-算

法-应用逻辑深度对齐。感知层作为数据入口，采集人-机-环-管全维度实时数据，适配多类型采集设备与协议，并具备边缘预处理能力，平衡数据实时性与有效性^[9]。数据层作为数据仓库，承接感知层数据，采用混合存储架构，同时实现数据标准化与关联，内置数据质量监控模块，对应评估框架的数据层能力。平台层作为核心引擎，以微服务架构集成动态指标计算模型、机器学习评估算法、趋势预测模型，拆分出指标计算、算法评估、趋势预测、知识图谱四大微服务，支持配置指标公式、选择算法类型、实现增量训练，还具备分布式计算能力，保障评估实时性。应用层作为功能载体，按用户角色与业务场景拆分功能，实现风险处置闭环，并支持场景化配置，对应评估框架的应用层能力。展示层作为交互窗口，采用多端适配设计，支持自定义可视化，直观呈现评估结果。

（二）核心功能模块设计

动态风险评估系统的五大核心模块围绕数据-评估-预测-处置流程设计，既独立功能又联动运行。数据接入与预处理模块是数据保障，支持多协议接入，通过规则引擎完成数据清洗，凭关键ID关联多源数据，实时监控数据质量，确保数据处理延迟≤10秒、每秒处理10万条以上数据。动态指标管理模块是量化核心，支持自定义指标，实时计算指标值，管理时间/环境/设备状态等修正因子，按层次分析法+实时反馈配置场景化权重，落地风险量化指标动态计算模型^[10]。综合风险评估模块是评估核心，支持选择适配算法并配置参数，每1-5分钟实时评估输出风险概率，按动态阈值划分风险等级，分析风险排名前3-5核心风险源，自动生成实时与周期性评估报告，落地机器学习综合评估算法。风险趋势预测与告警模块是预判核心，分析历史数据识别风险演化模式、展示风险趋势，支持短/中/长周期预测，可接入外部因素修正预测结果，按预测提前推送智能告警并配置角色优先级。风险处置与闭环管理模块是管控核心，中高风险告警时自动生成工单并分配责任人，跟踪处置过程，自动验证整改效果，定期分析处置效果，并将结果反馈至其他模块优化指标与算法，实现评估-告警-处置-验证闭环。

（三）关键技术实现

动态风险评估系统五大关键技术围绕核心需求适配，支撑架构各层运行。多源数据实时接入与边缘预处理技术，采用边缘网关+消息队列架构，网关解析多协议数据并做边缘预处理，云端Kafka集群支持高并发数据接入，搭配5G/工业以太网网传输与断网缓存机制，解决多设备高并发接入与数据有效性问题；分布式实时计算技术基于Apache Flink实现，搭建集群并设计不同作业模式——动态指标计算用流处理、综合风险评估用流处理和批处理混合模式、趋势预测用窗口计算，借助Checkpoint保障数据一致性，通过SQL接口实现可视化配置，解决海量数据快速处理与实时计算需求；机器学习模型工程化技术采用“TensorFlow/PyTorch+TensorFlow Serving+MLflow”栈，实现离线训练+增量更新，模型容器化部署并配负载均衡，集成SHAP工具保障可解释性，解决模型训练、部署与迭代问题；知识图谱融合与查询优化技术基于Neo4j，通过ETL+NLP提取并融合知识，设计索引与路径算法优化查询，搭配可视化界面，解决危险源知识结构化存储与高效查询问题；多端可视化与告警推送技术用ECharts+Vue3+Uniapp+消息中间件，Web端做详细可视化与报表配置，移动端聚焦告警与工单处理，大屏端展示全局信息，支持个性化告警配置，解决结果直观呈现与告警及时触达问题。

四、结束语

本文围绕传统安全管理中危险源辨识不全面、风险评估滞后且维度单一的核心痛点，系统构建了大数据驱动的危险源辨识体系、动态风险评估方法，并落地实现了相应的动态风险评估系统，形成了从理论方法到技术实践的完整研究链条。相信随着技术的持续迭代，本文研究成果将为工业、工程建设等领域的安全管理模式转型提供更坚实的支撑，推动安全管控向更智能、更主动的“事前预防”阶段迈进。

参考文献

- [1] 李争峰, 冯文萍, 张祖舜. 浅谈危险源辨识 [J]. 石油化工安全技术, 2006, 22(3): 30-34. DOI: 10.3969/j.issn.1673-8659.2006.03.011.
- [2] 张红婴. 重大危险源辨识浅析 [J]. 硅谷, 2008(18): 186-186. DOI: 10.3969/j.issn.1671-7597.2008.18.147.
- [3] 危险源辨识和风险评价 [C]//中国造船工程学会修船技术学术委员会2004年年会论文集. 北京: 中国造船工程学会, 2004: 19-21.
- [4] 刘竞辉. 起重机作业重大危险源辨识 [J]. 设备管理与维修, 2023(8): 16-18. DOI: 10.16621/j.cnki.issn1001-0599.2023.04D.07.
- [5] 崔玉生, 孙金荣, 程路, 等. 如何进行危险源辨识 [C]//2011年全国冶金安全环保学术交流会议论文集. 2011: 221-224.
- [6] 孙建华. 浅谈施工现场危险源辨识 [J]. 城市建设理论研究(电子版), 2012(32).
- [7] 杨白羽. 浅析危险源辨识的重要性 [J]. 管理观察, 2010(33): 241. DOI: 10.3969/j.issn.1674-2877.2010.33.169.
- [8] 丁平华. 浅谈危险源辨识和风险评价 [J]. 煤炭科技, 2004(2): 51-52. DOI: 10.3969/j.issn.1008-3731.2004.02.029.
- [9] 姜远志. 浅谈危险源辨识与安全评价 [J]. 中国科技财富, 2011(24): 278. DOI: 10.3969/j.issn.1671-461X.2011.24.241.
- [10] 北京辰安科技股份有限公司. 区域动态风险评估方法及装置: CN202311757256.2[P]. 2024-03-22.