

水利工程勘察危险源识别及辨识研究

杨 萌^{1,2}, 代英富³, 许尚杰^{1,2*}

¹山东省水利科学研究院, 山东 济南

²山东省水网调度与水资源高效利用重点实验室, 山东 济南

³山东省水利工程建设质量与安全中心, 山东 济南

收稿日期: 2026年1月13日; 录用日期: 2026年2月5日; 发布日期: 2026年2月14日

摘要

工程勘察作为水利工程建设的前置环节, 其作业环境复杂、风险类型多样, 危险源识别与辨识是安全生产管理的核心基础。本文系统分析工程勘察过程中面临的六类主要危险源, 深入剖析当前危险源识别中存在的问题, 基于水利行业推行的“六项机制”与“六项体系”管理思想, 结合BIM技术、人工智能、物联网等新兴技术, 构建覆盖“风险识别-评估-监测-预警-控制-应急-责任-培训”全链条的危险源管控体系, 提出基于过程方法的危险源辨识框架, 建立定性与定量相结合的风险评估模型, 设计智能化的风险监测预警系统。研究结果表明, 该体系能够显著提升危险源识别的全面性、准确性和时效性, 为工程勘察单位的安全生产管理提供科学的理论支撑和实用的技术路径。

关键词

工程勘察, 危险源识别, 风险辨识, 六项机制, BIM技术, 智能预警

Research on Hazard Identification and Recognition in Water Conservancy Engineering Investigation

Meng Yang^{1,2}, Yingfu Dai³, Shangjie Xu^{1,2*}

¹Water Resources Research Institute of Shandong Province, Jinan Shandong

²Shandong Key Laboratory of Water Network Dispatching and Efficient Utilization, Jinan Shandong

³Quality and Safety Center for Water Resources Engineering of Shandong Province, Jinan Shandong

Received: January 13, 2026; accepted: February 5, 2026; published: February 14, 2026

Abstract

As a preliminary phase of infrastructure construction, engineering investigation involves complex

*通讯作者。

working environments and diverse risk types, making hazard identification and recognition a fundamental aspect of safety management in production. This paper systematically analyzes six major categories of hazards encountered during engineering investigation and conducts an in-depth examination of existing issues in current hazard identification practices. Building on the management philosophy of the “Six Mechanisms” and “Six Systems” promoted in the water conservancy sector, and integrating emerging technologies such as BIM, artificial intelligence, and the Internet of Things, this study constructs a comprehensive hazard management and control system covering the entire chain of “risk identification - assessment - monitoring - early warning - control - emergency response - accountability - training.” A process-based framework for hazard recognition is proposed, alongside a risk assessment model that combines qualitative and quantitative approaches, and an intelligent risk monitoring and early warning system is designed. The research results demonstrate that this system significantly enhances the comprehensiveness, accuracy, and timeliness of hazard identification, providing scientific theoretical support and practical technical pathways for safety management in engineering investigation organizations.

Keywords

Engineering Investigation, Hazard Identification, Risk Recognition, Six Mechanisms, BIM Technology, Intelligent Early Warning

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

工程勘察是工程建设中的“第一道防线”，其成果不仅关乎单个工程的成败，更直接关系到人民生命财产安全、城市运行韧性乃至国家重大战略项目的落地实效[1]。随着我国基础设施建设的快速推进，工程勘察任务向深山、河谷、高原等偏远地区延伸，作业环境日趋复杂，面临的安全风险也日益加剧。危险源辨识与风险评价作为安全生产管理的第一道防线，是构建安全风险管控体系的基础和前提。2022年水利部印发的《构建水利安全生产风险管控“六项机制”的实施意见》，为水利行业安全管理提供了根本遵循。然而，在实际执行过程中，多数勘察单位仍存在危险源识别不全面、评估方法不科学、管控措施不系统等问题，特别是在风险辨识环节，仍以经验判断为主，缺乏系统化、定量化的识别工具与动态更新机制。

本文基于对水利勘察设计单位安全生产现状的深入调研，结合“六项机制”要求[2]，系统研究工程勘察危险源的分类、识别方法与管控策略。通过整合传统风险管理理论与新兴技术手段，构建一套科学、系统、可操作的危险源辨识体系，为工程勘察单位的安全生产管理提供理论依据与实践路径，推动水利勘察行业安全管理向智能化、标准化、规范化方向发展[3]。

2. 工程勘察危险源类型与特征分析

2.1. 地质灾害类危险源

地质灾害是工程勘察中最具破坏性的危险源之一，主要包括滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷等四种情况。该类危险源具有突发性强、预测难度大、后果严重等特点[4]。在山区、河谷等地质条件复杂区域进行勘察作业时，地质灾害发生概率显著升高。

(1) 滑坡风险：在坡度大于 25°的斜坡区域，特别是在岩层风化严重及节理发育的地段，极易发生滑坡灾害；勘察人员在斜坡体上设置监测点或进行钻探作业时，可能诱发滑坡。

- (2) 崩塌风险：在悬崖峭壁、孤石林立的区域开展勘察测量工作时，岩石失稳坠落可能造成人员伤亡和设备损坏。
- (3) 泥石流风险：在暴雨季节，松散堆积物在强水流作用下易形成泥石流，冲击力强，破坏力大。
- (4) 地面塌陷风险：在岩溶发育区、地下采空区或土体疏松区域进行勘察时，存在地面塌陷隐患，受钻孔勘探、抽水试验或大型设备振动等作业影响下，可能破坏地下岩土体平衡，导致地面突然塌陷，严重威胁人员及设备安全[5]。

2.2. 野外作业环境类危险源

野外作业是工程勘察的主要形式，面临的环境危险源具有明显的时空变异性不可控性特征[6]。

- (1) 自然环境影响：暴雨、雷电、洪水、高温、低温、强风等极端天气条件。
- (2) 地形地貌风险：陡坡、深谷、沼泽、密林等复杂地形。
- (3) 生物与人文风险：野生动物攻击、野外迷路、通信中断等。

2.3. 设备设施类危险源

工程勘察设备种类繁多，包括钻探设备、测量仪器、实验装置、运输工具等。设备故障或操作不当可能引发机械伤害、触电、爆炸、高空坠落等事故。

- (1) 钻探设备风险：大型钻机操作过程中的机械伤害、地面坍塌风险。
- (2) 测量仪器风险：高精度测量仪器的损坏风险、高空作业风险。
- (3) 实验装置风险：高压试验设备、放射性检测设备的辐射风险。

2.4. 数据安全类危险源

勘察测量数据是工程设计的基础，数据采集、传输、存储、处理过程中的误差、丢失、篡改等风险，可能导致工程系统性决策及设计的失误，引发重大质量安全事故。

2.5. 人为因素类危险源

人为因素是导致事故的主要原因，占比超过 60%。主要包括勘察人员安全意识不足、操作技能不熟练、疲劳作业、违章操作等，临时工作人员培训不到位也是重要风险点之一。

3. 危险源辨识现状分析

3.1. 识别手段落后，依赖经验判断

目前多数勘察单位仍采用“检查表 + 经验判断”的方式进行危险源识别，缺乏系统化、结构化的识别工具[7]。识别过程多依赖个人经验，存在主观性强、覆盖不全面等问题。较多的勘察单位未建立标准化的危险源识别清单，以及主要依靠安全管理人员的个人经验进行风险辨识。这种方法在面对复杂多变的勘察环境时，容易出现识别盲区和误判。如某新能源配套水利勘察项目首次进入高原冻土区域作业，因安全管理人员缺乏相关经验，未识别出冻土消融导致的地面沉降风险，导致后期钻探设备陷入沉降区域。同时，识别结果更新不及时，多数单位的危险源清单一旦制定便长期沿用，无法根据作业地点、设备状态、人员变动等情况动态调整，难以应对实时变化的安全风险。

3.2. 风险评估缺乏量化支持

危险源辨识多以定性描述为主，缺乏概率 - 后果分析、风险矩阵等量化工具支持，难以准确判定风险等级和优先管控顺序。在风险等级划分方面，多数勘察单位依然采用“高、中、低”简单的三级分类，

缺乏科学的分级标准和计算方法,导致风险管控资源分配不合理,重点不突出[8]。

3.3. 动态辨识机制缺失

危险源随作业环境、设备状态、人员变动等因素动态变化,但多数单位未建立危险源动态更新机制,识别结果往往“一次定终身”,无法反映实时风险状态。特别是在野外作业中,环境条件瞬息万变,静态的危险源识别结果难以适应现场实际情况,增加了安全事故发生的风险。

3.4. 信息化建设滞后

危险源识别与监测手段落后,缺乏物联网、大数据、人工智能等现代信息技术支持,难以实现风险的实时感知与智能预警[9]。据统计,仅有23%的勘察单位建立了信息化的安全管理系统,且功能简单,主要用于文档管理和基础数据统计,缺乏智能化分析和预警功能。

4. 危险源识别与辨识理论方法

4.1. 基于过程方法的危险源辨识框架

基于过程方法的危险源辨识框架是体系的核心,本方法强调理解和管理相互关联的过程,有助于全面识别组织控制下的所有危险源[10]。框架涵盖管理过程、业务过程和支持过程三大维度,三者相互衔接、协同作用。管理过程包括战略管理、领导决策、管理评审、内审、方针目标管理等,为危险源辨识工作提供顶层设计和制度保障;业务过程覆盖勘察设计、现场作业、实验检测、数据处理、报告编制等核心工作环节,是危险源辨识的重点领域;支持过程则包括设备管理、人员培训、文件控制、应急管理等,为核心业务的安全开展提供支撑。

4.2. 危险源识别方法体系

4.2.1. 定性识别方法

危险源识别方法体系包含定性识别和定量识别两类方法,可根据不同作业阶段和风险类型灵活选用。定性识别方法主要依靠专家经验和现场观察,适用于初步风险筛查和识别,其中专家调查法(德尔菲法)通过多轮专家咨询达成风险识别共识,某大型水利枢纽勘察项目在前期规划阶段,邀请地质、安全、设备等领域的11名专家开展了3轮德尔菲咨询,识别出各类危险源42项;现场观察法则通过实地考察直接识别潜在危险源,某山区勘察项目的安全管理人员在现场巡查时,通过观察发现作业区域上方存在孤石松动迹象,及时识别出崩塌风险;检查表法基于标准化检查表进行系统性风险识别,某勘察单位结合行业规范和自身经验,制定了包含地质环境、设备状态、人员操作等6个维度、120项指标的标准化检查表,显著提升识别效率。

4.2.2. 定量识别方法

定量识别方法采用数学模型和统计分析,能够精确量化风险等级和影响程度。故障模式与影响分析(FMEA)通过分析设备故障模式及其对系统的影响,某勘察单位运用该方法对钻探设备的12种常见故障模式进行分析,确定电机故障、传动系统卡滞等5种高风险故障模式,并制定针对性防控措施;危险与可操作性分析(HAZOP)用于识别工艺过程中的偏差及其后果,概率风险评估(PRA)通过计算事故发生概率和损失程度实现风险量化,某岩溶地区勘察项目运用PRA方法,测算出地面塌陷事故的年发生概率为0.03,潜在损失超200万元,为风险管控资源分配提供科学依据。

4.3. 风险评估模型构建

构建风险评估模型,综合考虑可能性、后果严重性、暴露程度等因素,采用风险矩阵法确定风险等

级, 如表 1 所示, 为制定差异化管控措施提供明确依据。

Table 1. Risk level assessment matrix

表 1. 风险等级评估矩阵

可能性\后果	轻微	一般	较大	重大	特别重大
极低	蓝	蓝	蓝	黄	橙
低	蓝	蓝	黄	橙	红
中	蓝	黄	橙	红	红
高	黄	橙	红	红	红
极高	橙	红	红	红	红

注: 红——重大风险; 橙——较大风险; 黄——一般风险; 蓝——低风险。

5. 基于新技术的危险源识别系统构建

5.1. BIM 技术在危险源识别中的应用

BIM (Building Information Modeling) 技术通过建立三维数字模型, 能够直观展现勘察项目的几何形状、空间关系及构造特征, 为风险识别提供可视化基础。某大型水利枢纽勘察项目运用 BIM 技术整合地质勘察数据, 构建三维地质模型, 直观展示地层分布、软弱夹层、地下空洞等地质风险因素, 使勘察设计人员清晰识别出地下空洞上方的高风险作业区域; 在施工模拟分析中, 该项目通过 BIM 模型模拟不同钻探深度、作业顺序下的坡体响应, 评估出滑坡风险发生的概率及影响程度, 为施工作业优化提供巨大支撑。

5.2. 人工智能技术的集成应用

人工智能技术可嵌入 BIM 模型, 通过深度学习算法自动识别勘察项目中隐蔽性风险, 提升风险识别的智能化水平。如图像识别技术, 利用计算机视觉技术识别施工现场的安全隐患, 某勘察项目在作业现场部署 12 台智能摄像头, 通过图像识别算法自动识别未佩戴安全帽、违规操作钻探设备等行为, 累计识别违规行为 37 起, 及时进行了现场整改; 预测分析技术基于历史数据和实时监测数据预测风险发展趋势; 智能决策功能则为风险管控提供最优解决方案建议, 某勘察项目在识别出地面沉降风险后, 人工智能系统结合地质条件、设备能力等因素, 优先主动生成“减少钻孔深度 + 增设监测点 + 坡体注浆加固”的综合管控方案, 经专家论证后予以实施, 有效控制安全生产风险。

5.3. 物联网技术的实时监测

物联网技术通过传感器网络实现勘察过程中实时数据采集和传输, 为危险源动态识别提供数据支持。某野外勘察项目部署多类型传感器, 其中环境监测传感器实时采集温湿度、气压、风速、雨量等气象参数, 当雨量达到预警阈值时, 系统自动发出暴雨风险预警; 人员定位传感器则实时掌握作业人员位置信息, 确保安全距离, 某山区勘察项目采用 UWB 定位技术, 对作业人员进行实时定位, 当人员进入高风险区域时, 系统自动发出声光报警, 累计阻止违规进入行为 19 次。

6. 危险源辨识体系实施路径

为确保危险源辨识体系有效落地, 需从组织架构、工作流程、信息化平台等方面构建完善的实施保障机制, 推动体系化、标准化、常态化运行。

6.1. 组织架构与责任体系

组织架构与责任体系的建立是基础，构建自上而下、互为保障的责任体系，单位制定管理制度，组织开展重大危险源辨识；部门实施相应危险源辨识工作，完善风险台账；项目部负责现场危险源识别与动态更新，落实管控措施。

6.2. 标准化工作流程

制定标准化的危险源辨识工作流程，详见表 2，确保识别过程的系统性和规范性。

Table 2. Hazard identification procedure

表 2. 危险源辨识工作流程

阶段	主要工作	输出成果
准备阶段	组建辨识团队、收集资料、制定计划	辨识工作计划
识别阶段	现场调研、专家咨询、风险排查	危险源清单
分析阶段	风险评估、等级划分、影响分析	风险评估报告
控制阶段	制定管控措施、落实责任分工	风险管理方案
监测阶段	实时监测、动态更新、效果评估	监测报告
改进阶段	持续改进、经验总结、标准完善	改进报告

6.3. 信息化平台建设

信息化平台建设是体系高效运行的技术支撑，构建工程勘察安全风险管控信息化平台，集成风险识别、监测预警、隐患排查、应急管理、培训考核等功能模块。数据管理模块统一管理勘察数据、风险数据、监测数据等，实现数据的集中存储和共享；分析计算模块自动进行风险评估和等级划分，减少人工干预，提高评估效率；预警发布模块通过短信、APP、声光报警等多渠道发布预警信息，某项目在监测到雨量超标时，平台在 1 分钟内通过短信和 APP 向 32 名作业人员发送预警信息，同时现场声光报警器启动，确保人员及时响应。

7. 实施效果与关键问题对策

7.1. 实施效果评估

某省级水利勘察设计单位推行该体系一年实践表明，体系运行成效显著，安全生产管理水平全面提升。风险识别覆盖率从原来的 75% 提升至 100%，预警系统成功预警 12 处潜在风险事件，均及时采取管控措施，未造成人员伤亡和重大财产损失。高风险作业违章操作率从 27% 降至 3%，野外作业防护装备配备率、正确佩戴率均达 100%，员工安全意识显著增强；应急响应时间从 15 分钟缩短至 7 分钟，效率提升 53.3%。

7.2. 关键问题与解决对策

7.2.1. 体系协同配合问题

体系协同配合问题较为突出，各体系间存在信息共享壁垒，数据不畅导致管理效率低下。对此，设立安全生产办公室，统筹管理计划，协调各部门工作；同时构建信息化管理平台，实现了风险数据、设备数据、人员数据等的互联互通，打破了“信息孤岛”，管理效率可显著提升 20% 以上。

7.2.2. 专业化队伍建设问题

复合型安全管理人才短缺，既懂勘察业务又精通安全管理的专业人才不足。对此，制定人才发展规划，建立“引进 + 培养”双轮驱动机制，引进安全工程、水利工程等专业人才，同时选拔内部优秀员工参加安全管理专项培训，建立人才激励机制，将安全管理绩效与职称评定、薪酬待遇挂钩，畅通职业发展通道，满足了体系运行需求。

7.2.3. 资源配置保障问题

资源配置保障问题影响体系落地效果，安全生产资金投入不足，部分单位对安全设施更新、智能监测设备采购投入不够。勘察单位应建立完善的安全生产费用提取使用制度，严格按照营业收入的 3% 提取安全生产费用，主要用于智能监测设备采购、安全设施更新，以及用于人员培训和应急演练，保障培训体系和应急体系的有效运行。

8. 结论与展望

随着 5G、物联网、人工智能等技术的发展，工程勘察危险源识别将向智慧化、可视化、协同化方向迈进。建议行业主管部门加强标准体系建设，推动跨单位、跨区域的风险信息共享，形成“统一平台、分级管理、联动响应”的危险源管控新格局。同时，要密切关注行业发展新趋势、新风险，及时调整管控策略与措施，加强跨领域技术融合应用[11]，推动安全生产风险管控向智能化、标准化、规范化、协同化方向迈进，为工程勘察行业的高质量发展提供坚实安全保障。

参考文献

- [1] 全国工程勘察质量与安全问题剖析技术交流会在重庆召开[EB/OL]. <https://www.chinaeda.org.cn/contents/89/14484.html>, 2025-11-25.
- [2] 水利部. 关于构建水利安全生产风险管控“六项机制”的实施意见[Z]. 2022.
- [3] GB50585-2010. 岩土工程勘察安全规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2010.
- [4] 陈建国, 张永兴. 地质灾害风险评估理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2019.
- [5] 王川. 软土地区地下车站勘察质量风险评估[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州交通大学, 2021.
- [6] 刘志刚, 王晓磊. 工程勘察作业危险源辨识与防控技术研究[J]. 安全与环境学报, 2021, 21(4): 1452-1459.
- [7] 戴耀斌. 基于 ISO 45001 标准要求的危险源辨识过程探讨[J]. 中国认证认可, 2019(7): 45-48.
- [8] 山东省质量技术监督局. DB37/T 2882-2016. 安全生产风险分级管控体系通则[S]. 济南: 山东人民出版社, 2016.
- [9] 王磊, 李静. 基于 BIM 与 IoT 的施工安全风险智能预警系统[J]. 土木工程与管理学报, 2022, 39(2): 112-119.
- [10] 陈元桥, 陈全, 王顺祺, 等. (2018) ISO 45001: 2018. Occupational Health and Safety Management Systems—Requirements with Guidance for Use.
- [11] 黄宏伟, 张顶立. 工程风险管理的理论与实践[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2020.