

矿山多因素综合全过程风险评估方法



杨永斌*

山阳秦鼎矿业有限责任公司, 陕西商洛 726400

摘要: 随着国家矿产资源的持续开采, 中国正面临普遍难采矿体开采, 而矿山施工过程中存在许多不安全因素, 这些因素将导致风险的产生, 如何使用正确的方法将风险进行评估, 将风险管控在可接受范围内, 是一直以来专家学者研究的方向, 针对中国外研究现状和目前存在的问题, 提出应用风险源辨识技术, 全方位辨识施工过程风险, 结合施工中动态监测信息, 深度挖掘监测数据, 设计科学的风险评估实施流程, 实现地下矿山施工全过程的合理动态风险评估, 并制定有效的风险控制措施, 从生产环节的源头降低和遏制安全事故的发生, 从而有效管控生产中的安全风险, 有效的提升作业环境中的安全程度, 最大程度的减少和避免施工全过程的安全隐患和经济损失。为地下矿山安全生产给予了强有力的保障, 具有十分重要的意义。

关键词: 矿山风险; 风险评估; 多因素; 全过程

DOI: [10.57237/j.wjmst.2024.01.002](https://doi.org/10.57237/j.wjmst.2024.01.002)

The Comprehensive Whole Process Risk Assessment Method of Mine Multi-factor

Yang Yongbin *

Shanyang Qinding Mining Co., Ltd., Shangluo 726400, China

Abstract: With the continuous exploitation of national mineral resources, China is facing the general difficulty of mining, and there are many unsafe factors in the process of mine construction, these factors will lead to the generation of risk, how to use the correct method to assess the risk, the risk control in an acceptable range, has been the direction of research by experts and scholars, for domestic and foreign research status and current problems, put forward the application of risk source identification technology, all-round identification of construction process risks, combined with dynamic monitoring information in construction, In-depth excavation monitoring data, design scientific risk assessment implementation process, realize the rational dynamic risk assessment of the whole process of underground mine construction, Reduce and curb the occurrence of safety accidents from the source of the production link, so as to effectively control the safety risks in the production, effectively improve the degree of safety in the working environment, and formulate effective risk control measures to minimize and avoid the safety risks and economic losses of the whole construction process. It is of great significance to give a strong guarantee for the safe production of underground mines.

Keywords: Mine Risk; Risk Assessment; Multi-factor; Whole Process

*通信作者: 杨永斌, yyb_713@163.com

1 引言

矿业开发是国民经济的重要支柱产业之一，中国是矿业开发最早的国家之一，但中国矿产资源分布极不平衡，随着开发时间延长，中国难采矿较多，面临许多技术安全问题。目前中国矿山多为地下开采，施工风险突出，在施工过程中突发的风险事故会造成巨大的经济损失。因此为提高施工安全，控制安全风险，实现高效、安全、经济的工程采矿，是目前急于解决的问题。工程风险管理研究于上世纪 50 年代得到发展，通过近半个世纪的研究和应用，逐渐形成了比较系统的、科学对的风险管理研究学科，地下空间施工风险管理研究起步较晚，多为借鉴其他领域的风险分析技术，在大量专家学者的努力下，逐渐将风险评估由定性分析向定量研究转变，但依旧存在无法做到全局掌控和动态跟踪施工风险，评估权重的指标状态量权重不当评价结果因人而异，没有有效利用数据来收集和对风险的分析学习。为了有效的对地下空间全过程的动态风险进行评估分析管理，需开发准确风险评估系统，在一定程度上将风险评估体系真正的落实实际地下采矿过程中，保证安全施工。[1]

2 研究背景与意义

2.1 研究背景

矿产资源是自然资源的重要组成部分，是人类社会赖以生存的一种重要物质基础，矿业开发是国民经济的重要支柱产业之一，为国家经济建设提供了能源和原材料，中国是矿业开发最早的国家之一，在过去一段时间中国矿业开发取得了重大成就，但中国矿产资源分布极不平衡，富矿少，贫矿多，易采矿少，难采矿多，随着矿业开发利用的时间延长，目前中国难采矿较多，面临许多技术安全问题。[2]

目前采矿过程中所面临的人员安全意识不强，设备设施笨重，地质情况的复杂性，安全管理水平的限制，安全投入不足等情况的存在，使得矿山采矿活动变得是一个多元化复杂过程。目前矿山多为地下开采，且具有施工组织规模大、投资建设时间长、地质灾害风险突出等特点，在施工过程中突发的风险事故会造成巨大的损失。[2]因此为了提高矿山的施工安全，如何控制施工过程中的安全风险，实现高效、安全、经济的回采，是目前急于解决的问题。

本文以山阳秦鼎矿业有限责任公司为研究对象，通过风险分级管控，及风险的动态演化机理、风险信息数据挖掘、动态变权评估模型、风险管控平台设计开发对施工全过程的安全风险评估进行研究。

2.2 研究意义

通过对近几年矿山安全生产事故发生的原因进行调查，发现这些事故往往因为人的不安全因素，物的不安全状态，环境不良，风险管理不科学导致，通过研究发现这些事故在一定程度上都是可以避免的。因此，近年来中国外专家学者对事故调查研究分析提出了“风险分级管控，隐患排查治理”。[4]

地下矿山由于复杂的水文地质条件导致的施工环境风险增加、施工机械老旧，安全投入不足、采矿方法老套，管理意识和水平等的限制，导致矿山地下施工过程安全事故时长发生，通过井下多风险因素全过程风险评估方法，可以有效的减少，甚至避免施工中事故的发生。应用风险源辨识技术，全方位辨识施工过程风险，结合施工中动态监测信息，深度挖掘监控数据，设计科学的风险评估实施流程，实现地下矿山施工全过程的合理动态风险评估，并制定有效的风险控制措施，最大程度的减少和避免施工全过程的安全隐患和经济损失。为地下矿山安全生产给予了强有力的保障，具有十分重要的意义。[5]

3 中国外研究现状及存在问题

3.1 中国外研究现状

工程风险管理研究于上世纪 50 年代得到发展，通过在核化工行业、大型制造行业的近半个世纪的研究和应用，逐渐形成了比较系统的、科学对的风险管理研究学科。在各个领域行业中，风险产生的机理、造成的损失以及风险控制的方法各有不同，用于风险管理及风险评估的流程模型能够得以共同应用。[6]

HeikkiLaitinen 在相关建设工程课题上的研究改变传统等级划分“有”与“无”的两态模式，将工程施工风险等级细致的划分为五级以更好描述施工风险状态，并制定了相应的接受标准。

Weiss 采用定量的方式通过 mediation 的方式计算确定工程中隐藏风险因素集对项目完成情况的影响程

度，定量的计算了其发生的概率。

李晓静、朱维申、陈卫忠等利用层次分析法确定地下洞室围岩稳定性各因素的权重，较早的将层次分析法引进到风险因素稳定性的权重计算中，定量计算围岩稳定性风险。随后层次分析综合理论逐渐在隧道施工中开展了大量的应用，在隧道风险评估上积累了大量的实践经验。[7]

严薇、林娴等将信息论中的熵的概念引入地下工程施工风险评估中来，介绍了熵度量发的用具有重要的作用，并提出了围岩稳定性的风险评价分级方法，实现了对围岩综合安全性的评价。

为了提高风险管理在实际应用中的实践性和有效性，一些学者开始针对地下空间施工全过程的动态风险进行了研究，并为了有效的对地下空间全过程的动态风险进行评估分析，开发设计了一些风险评估系统，在一定程度上将风险评估体系真正的落实到地质环境复杂、风险不可控的地下采矿过程中，保证安全施工方面作出了巨大努力。

3.2 存在问题

综合以上的风险管理研究现状，地下空间施工风险管理研究虽然起步较晚，多为借鉴其他领域的风险分析技术，在大量致力地下空间风险管理研究的专家学者的努力下，逐渐将风险评估由定性分析向定量研究转变，但依旧存在以下主要问题：

- (1) 现有地下空间风险研究局限于静态风险或某一专项风险，未能从施工全过程出发认清施工过程中风险的过程性、动态性，无法从整体上全过程的考虑风险因素时间与空间的叠加效应。没有建立起全面、科学、通用的评价指标体系，且在指标体系选择中主观性太强，无法客观准确的辨识井巷工程施工全方位的风险源。在评估流程中，没有形成具有可操作性强的施工全过程安全风险动态评估的流程，无法做到全局掌控和动态跟踪施工风险。
- (2) 应用于风险评估的层次分析法、模糊综合评价法等定性定量的方法时，都是常权评价模型。地下矿山存在的风险在不同的时间和空间中，风险因素重要度都会发生变化，因此在不同的评估阶段采用“常权”来确定评价指标的权重，导致不能体现权重值小的指标在状态量劣化情况严重对评价目标的影响，最终使评价结果

趋于不合理。

- (3) 地下矿山施工过程中通过监测、预报、记录等途径获取大量的信息数据，在对这些数据的处理现状是“大量的数据，贫乏的知识”，缺少对收集的风险信息数据的利用和学习，无法从大量的历史数据库或动态更新数据库中挖掘出隐含的、未知的对风险决策有潜在价值的知识和规律。

3.3 研究目标

本文基于山阳秦鼎矿业公司夏家店金矿地下井巷工程施工全过程施工风险作为研究对象，开展研究。

- (1) 查阅相关文献，进行分析归纳，总结了地下矿山施工全过程中风险的动态性、复杂性、全过程性等突出特征，设计地下矿山施工全过程动态风险评估模式，从巷道掘进施工全过程的时空角度，基于“4M1E”安全管理的风评估指标集的动态变化、指标评估权重的动态变化两个方法，提出了针对施工全过程的动态风险变权重风险评估模式。
- (2) 通过设计开发复杂地质条件下巷道施工安全风险评估管理系统，选择距离空间转化索引算法将信息监测数据转化成空间信息坐标，此系统设计巷道设计、隐患上报，施工管理、风险评估、视频监控等功能模块，采用监控量测变形值阈值报警、水平触发预警等风险预警机制管理，实现信息平台对井下施工全过程的实时风险管控。

4 风险产生、耦合、演化机制

4.1 施工风险演化机理

地下工程施工中水文地质环境复杂，造就了掘进施工过程的复杂性、隐蔽性、动态性等特点，大量的事故表明，因个体差异，人往往很难在有限的条件下提前感知及预防各种风险。风险一旦出现如得不到控制将成为事故。一般情况下施工人员在发现事故隐患时，即便采取了有效的应对措施，但他们都不会对隐患的形成做深入的研究和分析。那我们如何从看似随机的事故中找到风险发生的必然性，可以通过风险分析理论来提供解决问题的途径，以系统论分析施工中事故灾害的发生，事故往往经过风险的产生、耦合、演化过程而来。[8]

4.2 风险要素构成

地下工程施工风险灾害是施工中的孕灾环境、致灾因子和载体综合作用的产物。其中孕灾环境包括了自然环境和人工环境。采用质量管理体系中 4M1E 要素（人：Man，机：Machine，物：Material，法：Method，环：Environment），接下来对可能产生的施工风险灾害的五个方面进行分析。[9]

- (1) 人，是施工的组织者和实施者，工程技术人员负责井巷工程施工全过程的正常生产活动，大量的工人负责施工各环节工序的具体实施。然而，就发生事故的直接因素中人的因素占的比重最大，据国家相关部门统计，人的不安全行为占事故发生总数的 76.6%。现阶段地下矿山施工过程中的工人普遍文化程度低，安全意识淡薄，施工过程不严谨，而且因专业技术人员个体水平差异等原因导致蕴藏着安全风险事故。
- (2) 机械，井巷施工过程中需要用到许多机械如：凿岩机，通风机，扒渣机，矿车，提升卷扬机，牵引机车等机械设备。而机械的自身的工作状态、磨损程度、完整度等方面直接影响着施工安全，施工中出现物体打击、机械伤害，触电等施工灾害事故往往是由机械的某方面因素被忽视而导致的。
- (3) 物料，井巷施工工程遇到断层、破碎带等需要采取支护，支护方式的选择，以及支护材料的强度直接影响着支护质量。质量好坏直接决定

着施工安全风险的存在与否。还有物料的存放不合适或者不当，会发生火灾、爆炸、或者锈蚀、失效等因素将会增加井巷施工安全风险。

- (4) 管理方法，矿山施工管理办法，安全管理手段直接决定着井巷工程施工的安全状况。安全设施的投入，职工的教育培训力度，文明施工的管理，以及应急预案的编制等都是施工管理中存在的因素。一般，管理上的缺陷是产生事故的直接因素。
- (5) 地质环境，复杂的地质条件是地下矿山施工中最大的孕灾环境，井巷施工过程会穿过或大或小的断层及破碎带，围岩稳固性变化。复杂的水文地质条件使井巷施工过程中孕育了重大的风险源，在爆破震动或地压重新分布的诱发因素下，加之岩层极破碎，井巷施工过程如果未采取及时支护，将会发生塌方、失稳、突涌水等严重的地质灾害。

4.3 风险耦合机制

风险事故的形成一般表现为多因素风险的非线性耦合。井巷施工全过程中事故风险耦合是指风险源的不确定性可能引起不同灾害或事故的相互影响关系。在风险产生要素中说明了由人、机、物、管、环五个风险要素组成。致灾系统中的风险耦合情况可以分为单因素耦合风险、双因素耦合风险及多因素耦合风险。

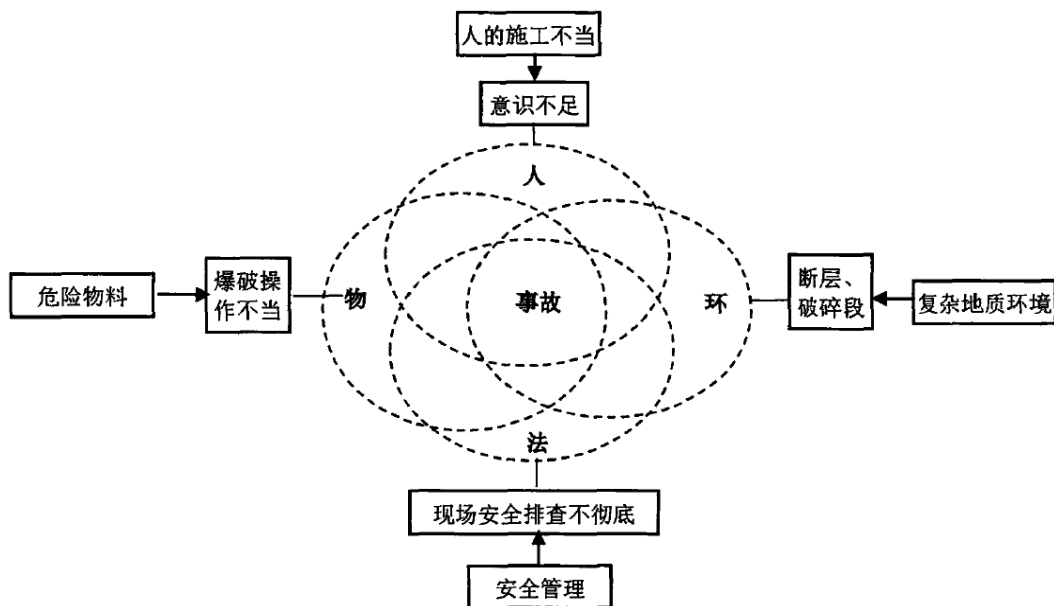


图1 事故多维耦合致因模型

风险因素子集之间的非线性耦合过程决定了事故成因的复杂性，一般矿山施工过程中单一链式的风险演化过程相对较少，而以多个风险因素在时空上非线性耦合为主，同时在更高级的非线性耦合作用下形成风险因素耦合网络。风险因素、孕灾环境和诱因是风险演化的三大要素。风险演化是风险事故发生的必要条件，风险因素在不同的时间和空间下依据其自身的特点进行演化，具有极强的动态性。且随着地下矿山施工中安全管理风险因子越来越多，其演化路径网络趋于复杂。[10]

对风险演化的研究，明确风险演化路径，在安全管理中切断风险演化路径，将极大的降低井巷施工安全风险。

4.4 地下空间施工风险特征

地下采矿工程施工相比于其他地下具有地理空间工程具有时间周期长，生产系统复杂，生产工序繁多等特点。导致其面临更大的不确定性风险，同时复杂的水文地质环境、紧迫的生产压力更是加大了施工中的风险性。通过大量的事故的总结，地下矿山风险具有以下主要特征：

- (1) 必然性，因矿体一般赋存的地质构造发育地带，围岩普遍不稳固。复杂的地质条件决定了采矿施工过程中围岩的稳固情况都会诱发导致风险因素演化成为风险事故，地下采矿工程中成熟的孕灾环境具有隐藏风险的必然性；
- (2) 不确定性，由于地勘察网度有限，所提供的地质勘察资料不能完全反映施工过程中所有地点的地质情况，在施工过程中不可避免地遇到一些断层、破碎带，所以产生的风险具有不确定性。同时设计阶段也无法做到考虑施工中遇到的所有的情况；
- (3) 复杂性，地下矿山的施工环境、采矿过程的复杂工序，矿山复杂的生产系统等决定了风险的复杂性，众多的风险因素在风险机制的多层次耦合机制下，其出现了新型的风险表现形式。同时，由于施工工序复杂、作业面多、上下中段同时作业、存在交叉作业等因素，也使的施工风险的管理与评估更加复杂。
- (4) 动态性，是指影响风险产生的各因素在时空维度的动态演化。事故灾害的形成是致灾因子、孕灾环境和载体在依循自身的发展变化规

律以及在风险耦合机制作用下相互影响的复杂动态过程。因此，动态性是矿山施工最鲜明也最容易忽视的特点。常规的风险评估方法中多为静态风险评估法或者是针对某一风险单元的专项风险评估，没有清楚的认识到了矿山风险的延续、叠加、演化的动态性，没有做到跟踪风险管理。[11]

因此，针对地下矿山施工过程存在以上风险特征，在现有的静态风险评估和专项评估的研究基础上，对地下矿山施工过程应该始终坚持全过程动态风险评估管理模式，最终做到对风险演化路径的控制，保障矿山的安全有序的生产。

5 风险评估方法

5.1 风险评估管理方法

风险评估管理包括风险识别及风险等级安全评估，工程风险识别是一项复杂的系统工程，所选取的风险识别路线不同，将会导致风险识别结果的不同。建立起来的井下全风险源清单，将是风险评估的实际操作因素集，对这些综合指标采用一定的综合评价方法，最终定量的分析巷道施工中风险所处的等级。[12]

5.2 风险识别方法

风险识别是风险管理与评估的基础性工作，该阶段的工作结果直接影响其后的风险分析与处置，完整性、系统性及重要性是风险识别应遵循的基本原则。其中，重要性原则保证了工程风险识别的效率，从工程总体目标来说，系统性原则和重要性原则的配合应用能保证在达到风险识别的效果基础上提高风险管理的效率，在系统性原则指导下能将工程风险完整的识别出来，风险识别方法主要有：核对表法、专家调查法、分解分析法、故障树法等。

(1) 核对表法

核对表法是一种常用并有效的风险识别方法，其实质是在过去的风险经验基础上将风险事件及其发生来源建立一张核对表。该方法的优点是易于掌握，操作简单，缺点是没能深入的揭示出风险来源之间的相互依赖关系，对可能的风险事件容易遗漏。

(2) 专家调查法

专家调查法包括德尔菲法和头脑风暴法，都是将

被调查的专家分为两类,一从事具体项目建设实施的现场管理技术人员和理论学科领域的研究人员。德尔菲法进行项目风险预测和识别是依据项目实施过程中建设管理专家进行充分讨论,并将讨论结果整理反馈给风险评估领域专家,经过多轮反复讨论汇总形成最终结果;头脑风暴法则是通过开展相关领域的专家会议,在会议中充分发挥专家的在项目认识中的创造性思维,通过专家之间的高效的交流,产生正向组合效益,获取更多的未来信息。

(3) 分解分析法

分解分析法是将复杂项目分解成若干个小系统进行排查分析,对于地下矿山工程施工来说,从整体上寻找存在的风险缺乏系统性,将项目层层分解,原先隐藏的风险逐渐暴露出来,方便建立井下全风险清单。采用分解分析法,可以将其分解为单项工程、单位工程、分部工程和分项工程,然后从最小的分项工程逐渐找出工程项目中存在的风险。

(4) 故障树法

故障树分析法是安全系统工程的主要分析方法之一,其以构建故障树图为主要目的系统性、全面性、准确性的来进行安全问题的定性分析和定量分析。通常从安全的角度分析系统的故障或危险发生的状态来确定系统的顶层事件,再通过全面的考虑系统所处的环境和工作状态来确定出会导致顶层事件发生的中间事件,再将中间事件进一步的进行分解,直到找到中间事件的基本事件。因此,这些基本事件就成了安全问题中的风险源,通过一定的逻辑关系,基本事件、中间事件共同构建成顶层事件的故障树。

5.3 风险等级评估方法

风险等级评估是指对风险因素进行综合分析和等级评价,风险评估方法主要有:调查打分法、风险指数矩阵法、层次分析法、模糊综合评估法等。通过定量的方法确定风险因素的权重,采用矩阵计算等确定出风险等级是现阶段风险评估采用的思路。[13]

(1) 调查打分法

调查打分法又称主观评分法,该方法包括识别工程项目所遇到的风险形成风险清单,再利用所在领域的专家进行风险因素的重要度评估,最后收集专家的打分评估意见,采用加权法综合评估结果作计算分析。

该方法中用各项风险因素的得分相加就是施工过程的风险因素总积分来表示风险的等级,分数越高风

险越大。

(2) 风险指数矩阵法

风险指数矩阵法又称为 $R=P \times C$ 定级法,通过定性与定量综合考虑项目实施中风险的影响与概率两方面的因素,其优点是操作简单易用,同时对项目中最为关键的风险识别具有比较突出的效果。在实际使用中,可以将危险事件的依据项目中的实际情况划分为 4 个严重性等级,将风险发生的可能性划分为 5 个等级,通过危险严重性和危险可能性等级制成矩阵并分别给以定性的加权指数,形成风险评估指数矩阵,最后根据指数确定不同类别的决策结果,确定风险等级。

(3) 层次分析法

层次分析法是将一个复杂的系统分解成若干个组成部分或因素,这些组成部分和因素按照一定的相似属性分成若干组,每一个因素又由一系列子因素所影响,最终根据目标、因素及子因素相互间的关系构建起一个分层的梯阶结构。

运用层次分析法进行风险评估首先根据风险辨识的结论选择风险估计的对象,然后以层次结构辨识项目工程的风险因素;其次确定专家来对风险因素的两两重要性判断,合理的专家组成员将极大的提高风险评估的结果。

(4) 模糊综合分析法

工程风险综合评估问题是一个多因素、多层次决策问题,模糊综合评估能在评估结果上体现多个指标的评估结果。模糊综合评价的数学模型可根据工程系统中待评估的风险因素集分为一级模型和多级模型,在多个因素并列的情况下,为了满足权重的归一化,必然会有权重微小的因素在选择不同的模糊综合算子中失去评估的地位,因此合理的选择模糊综合算子是反映项目中的风险的重要因素

将综合的风险评估问题采用层次分析的方法进行解决,不仅符合复杂系统的状况,同时最大限度的描述被评价的对象,还有利于尽可能准确地确定权数指标。在模糊综合评价中,因素的权重是人为确定的具有一定的主观性,针对单次模糊综合评价具有可行性,但在井巷工程施工的全过程的动态风险评估方面具有局限性,评价因素不能依据时空的变化进行相应的调整。

5.4 灾害动态风险评估

为了改变静态风险评估的局限性,面向过程的、动态的风险管理观念逐渐在项目中开始应用推广。动

态风险管理是指在特定环境下，在完成风险控制目标的过程中对风险进行系统的、动态的控制，以减少项目实施过程中的不确定性。

地下矿山工程是一个具有很强过程性、连续性、系统性的工程，在地质环境勘探不确定因素外、外包工队管理弱项、人员流动性大，施工情况临时变化、施工工法的优化应用等外部环境同样具有明显的动态变化性。

动态风险评估并不是对静态评估的简单重复，而是利用流程中的反馈机制，不断调整风险控制目标和风险管理计划。主要包括修正或补充风险分析，对新出现风险源进行查找，并判断风险属性，针对新的风险源采用合理的方法评估风险损失、发生频率及损失。

5.4.1 孕灾环境的动态分析

孕灾环境中最主要的动态性体现在地质环境的不确定性，其中包括断层、破碎带以及围岩等级等因素。以山阳秦鼎矿业夏家店金矿为例进行分析，收集整理井下全风险变化情况，对井下孕灾环境进行动态分析。该时刻监测井下风险的动态演变数据，提高风险防范意识。[14]

5.4.2 致灾因素的动态分析

致灾因素动态分析的关键是分析因素的状态值对应的灾害发生的可能性，地下矿山施工的风险评估的致灾因素集在某一时刻都会有对应的状态值，状态值在施工开挖过程中是不断变化的。例如：4M1E”中的人员因素分析，在刚进入矿山施工初期阶段，由于对周围环境不熟悉，能很好地服从管理，听从安排，这段时间工人的技术水平、安全保护意识的变化在逐步升高，致灾可能性会逐渐降低，但在施工作业一段时间后，麻痹大意，放松警惕，忽略安全的情况发生，这时人员风险的致灾可能性就会再次升高。因此，会出现不同强度的致灾可能性，因此致灾因子不同状态值的不同时间切片下，其致灾可能性是动态变化的过程。

5.4.3 风险评估权重的动态性

风险评估中最重要的是对风险因素的权重确定，权重的设定是风险综合评价方法的一个重要内容，其是否科学合理，直接决定评价的精度。在地下矿山工程施工的风险评估中权重的确定采用的有多种方法，通过专家打分统计是较为常见的得到各因素权重的方法。但是在使用这些权重方法对施工全过程风险进行评估时，常常

使用固定权重对不同时间段的风险进行评估。

经研究及实际操作发现：若风险因素中的某单独因素的权重过小，同时该因素的状态值处于危险事故发生的边缘，则该风险因素在综合评价是会因权重过小，使综合评价结果中得不到体现，最终使评估结果无法反应真实情况。前面中对施工的孕灾环境和致灾因素的动态性分析，应采用变权重理论的动态权重对井巷施工全过程的安全风险进行动态评估。

动态权重强调的是因素的权重应因素的状态值的变化而变化。在不同的时空下，结合风险演化的情况，赋予不同的因素不同的权重，既能符合的模拟风险演化的规律，也能对各风险因素的重要度做出合理综合评估结果。

5.5 风险接受准则与控制措施

风险控制是风险管理过程中具有决定性作用的一环，其目的是通过避免风险、降低风险发生强度来改变井下工程施工所承受的风险程度。为了系统控制施工中的风险事件，必须遵循以下基本原则：

动态跟踪原则：

动态风险评估中通过不同的检测方法获取各因素的实时状态信息，能及时的发现事故隐患，迅速采取控制措施来防止事故的发生。以预防预警为主，动态跟踪控制风险，预期效果十分突出。例如，巷道施工过程中围岩失稳，可能出现冒顶片帮，需及时采取井巷支护，及时处理，消除隐患。

闭环控制原则：

井下回采矿石生产组织规模庞大，参与单元众多。安环科要有治理后风险反馈、再评估处理的闭环机制。为此设计了一个合理的工作流程，保证畅通的信息传递路线，使风险得到实时有效处理。

分级管理原则：

风险管理控制组织一般为多层次的阶梯是管理体系，其下级组织在提高自组织能力的同时，能够加强对制定的方针、政策等的执行能力。

6 施工全过程动态风险评估设计

6.1 风险识别、评估模型建立

针对井巷施工全过程风险动态性特征，结合风险评估方法和动态风险管理模式，提出更系统、合理的矿山工程施工全过程的风险识别、评估及控制的风险

管理过程框架。评估流程共分成了四个层次，前期准备工作应该包括组建评估组，收集矿山风险评估的相关规章制度，同时明确评估对象。在进行评估对象的现场勘察及基本资料评估后，结合现场实际调查进行类比工程分析总结；接着，基于“4M1E”的质量安全管理理论对施工中可能存在的各种危险源、有害因素等进行辨识，并制定风险清单，如图 2 所示。在分析风险因素的演化机理及动态性的基础上，将风险源分为

一般风险和重大风险，并建立风险信息库；将井巷工程在施工的时间和空间尺度上分为不同的评估单元，采用风险的综合评估方法，结合数据挖掘，对风险因素在评价过程中的权重优化提供依据，实现评价过程中因素权重由“常权”先“变权”的动态变化，在采取了风险控制措施后，通过对比风险管理目标，基于风险控制的“闭环控制原则”，最终实现风险的施工的全过程管控。如图 3 所示。

图 2 井下全风险清单

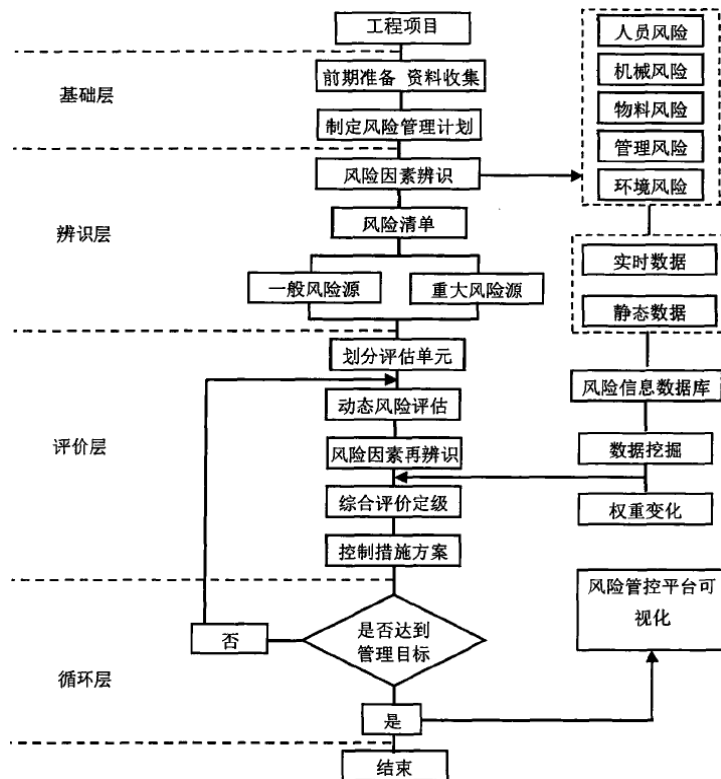


图 3 风险评估模型

6.2 井下施工风险信息管控平台及可视化

井巷施工建设中信息的产生主要包括一些现场的记录资料，现场的监控监测的数据包括对围岩的变形、应力监测数值，井下有毒有害气体浓度及其他管理资料包括安全会议、设计资料等，在施工中获取的数据中，结构化数据能直观反应出相应的指标变化情况，对掌握围岩稳定性、现场有毒有害气体浓度，及施工环境安全性具有重要作用。建立风险信息数据库能有效的实现施工的信息协同沟通、掘进的速度，采幅的控制、安全预警等功能，大量的历史数据和实时监测的数据为风险评估提供了有用的量化支撑。[15]

风险信息可视化主要指将施工中的多维数据、信息、规律转化成图形图像等直观表现形式来提高管理者的认知水平，将信息中的重要特征和关联规律转化成可视化的表达形式。然而，即便借助于现有的多种工具，安全管理人员仍然很难有些数据有一个直观的感知感受，对数据的分析和解读也是片面的，基本上无法做到全局感知、整体把控。因此，需要设计一种加入 AI 智能化技术的可视化管理平台系统。它在施工安全管理中进行科学的管理研究包括：图形图元处理技术，将结构化、规范化的数据转化为直观的视觉图

形信息。从可视化对象、目的、方式及交互类型四个方面实现操作。

(1) 结构数据可视化

在施工产生的结构化数据主要是有毒有害气体浓度，风速风量，围岩压力值，主要采用了时间一数值二维图表进行可视化表达。同时，通过技术手段，将数据提炼总结成关键信息，通过色彩、声音，图元等方式进行可视化控制，提高数值型数据的利用效果。如图 4 所示。

(2) 非结构数据可视化

非结构数据可视化研究是指将施工中通过拍摄、监测、检测等手段采集到的图形、图像、文本、视频等数据中的安全信息以一种直观、高效的形式表现出来。非结构化数据可视化综合利用了绝大多数信息，形成基于地理信息平台的多维可视化分析管理子系统，各个子系统中数据协同共享并对管理项目实现对比分析、警情分析、信息展示等，保证了数据信息的直观形象。如图 5 所示。

(3) 施工过程风险信息的可视化，能更好的实现风险的可视监控与控制。风险可视化技术是风险进一步管控的重要表现形式，增强了对风险的认识，提高风险管控意识。

KJ651 安全生产监控系统【BA-WFC100021】《山阳鑫泰矿业有限公司》									
参数设置 定义 页面编辑 控制 通讯设置 列表显示 曲线 状态柱状图 模拟图显示 打印 查询设置 显示设置 功能设置 帮助									
显示第2/2页 <无名称/00.00P> 共24个测点 x									
1050环车	风速	06-09:03:34	1.52m/s	08A01	970中段岔道口	CO-500	06-09:03:35	1.25PPM	
1050 (102线)	CO-500	06-09:03:34	0.00PPM	08A02	970中段岔道口	风速	06-09:03:35	0.79m/s	
1050 (102线)	风速	10-09:28:26	1.41m/s	08A03	1050停车场	CO-500	06-09:03:35	0.00PPM	
1050废石巷道	分站	06-09:03:34	交流	08F00	970车场	分站	06-09:03:35	交流	
紧急避险硐室内	温度	06-09:03:34	10.90℃	09A01	1050风机房	风速	06-09:03:36	2.66m/s	
1050斜井底	温度	10-16:15:26	8.90℃	09A02	1050风机房	CO-500	06-09:03:36	0.00PPM	
1050双车场	分站	06-09:03:34	交流	09A03	1050主扇负压	负压	06-09:03:36	0.23KPa	
1010停车场	风速	06-09:03:30	0.49m/s	09A04	1050-960立井口	风速	06-09:03:36	0.92m/s	
1010停车场	CO-500	06-09:03:30	0.00PPM	09A06	1050牛鼻子	风速	06-09:03:36	0.81m/s	
1050停车场	风速	09-23:07:15	0.00m/s	09A07	1050电房	温度	06-09:03:36	6.00℃	
1010牛鼻子	CO-500	06-09:03:30	0.00PPM	09D01	1050风机房	开停	06-09:03:36	开	
1050停车场	分站	06-09:03:30	交流	09F00	1050牛鼻子	分站	06-09:03:36	交流	

图 4 井下结构数据可视化

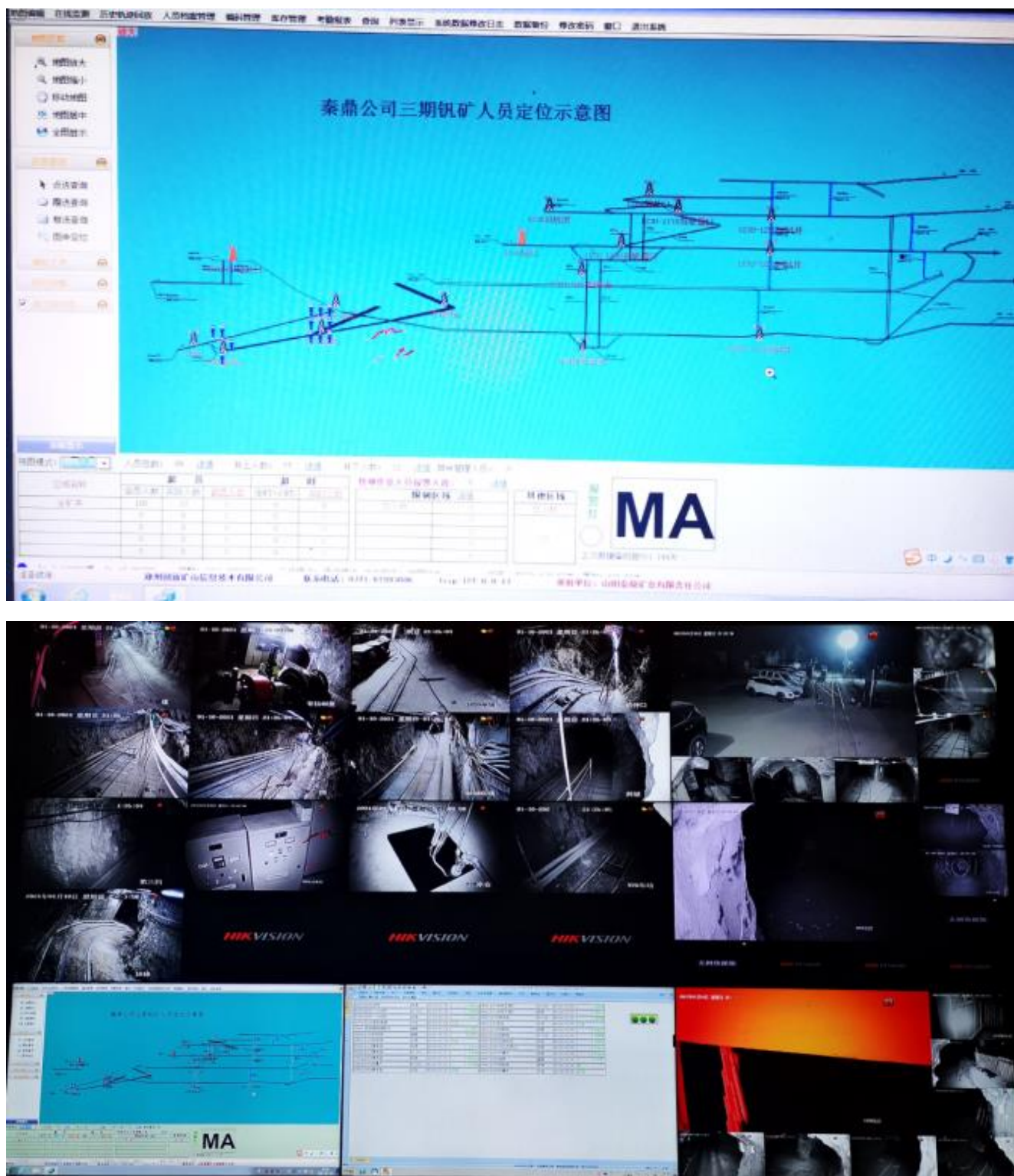


图5 非结构数据可视化

7 结语

本文通过对地下矿山施工过程中的风险发生机理

进行分析研究, 将风险向事故演化的机理过程分为了风险参数要素、风险耦合机制及风险演化机理三部分, 采用质量安全管理中的“4M1E”体系对地下矿山风险要素进行识别, 能全面系统性的辨识施工中的风险源。

通过对风险耦合机制的研究,阐释了事故发生的复杂性和综合性,指出了单一的对事故进行分析不利于对风险原因进行深入的探讨。同时,风险耦合机制也导致了风险演变过程的过程性及动态性,对施工风险的安全管理最应该引起重视的即为风险的动态性。

因此,在风险的孕灾环境动态性和致灾因子动态性的分析基础上,本文结合动态风险评估思想,为克服常规的综合评估方法中的“不变权重”应对风险中的“万变”不足,提出在对井下全过程生产风险信息数据挖掘的基础上,通过“变权”理论,实现了风险的动态评估。通过设计施工全过程的动态风险评估流程,将静态风险评估和动态风险评估相结合,全局把控及动态跟踪全过程的风险演化,系统性的开展矿山井下工程施工期间安全风险的全过程动态评估方法和模型。

参考文献

- [1] 朱学辉. 高风险隧道施工安全预警管理系统研制与应用[J]. 铁路技术创新, 2015(5): 82-85.
- [2] 朱学辉. 高风险隧道施工安全预警管理系统研制与应用[J]. 铁路技术创新, 2015(5): 88-89.
- [3] 朱学辉. 高风险隧道施工安全预警管理系统研制与应用[J]. 铁路技术创新, 2015(5): 105-116.
- [4] 李红. 面向过程的建设项目动态风险管理体系研究[J]. 工程管理学报 2008(2): 74-77.
- [5] 解楠, 何晖. 工程建设中循环动态风险管理体系的探讨[J]. 地下空间与工程学报, 2007, 3(s2): 1533-1536.
- [6] 李红. 面向过程的建设项目动态风险管理体系研究[J]. 工程管理学报 2008(2): 74-77.
- [7] 李宜城, 薛亚东, 李彦杰. 一种基于动态权重的施工安全风险评估新方法[J]. 地下空间与工程学报, 2017, 13: 209-215.
- [8] 李宜城, 薛亚东, 李彦杰. 一种基于动态权重的施工安全风险评估新方法[J]. 地下空间与工程学报, 2017, 13: 231-239.
- [9] 李宜城, 薛亚东, 李彦杰. 一种基于动态权重的施工安全风险评估新方法[J]. 地下空间与工程学报, 2017, 13: 209-215.
- [10] 解楠, 何晖. 工程建设中循环动态风险管理体系的探讨[J]. 地下空间与工程学报, 2007, 3(s2): 1540-1546.
- [11] 解楠, 何晖. 工程建设中循环动态风险管理体系的探讨[J]. 地下空间与工程学报, 2007, 3(s2): 1563-1571.
- [12] 李红. 面向过程的建设项目动态风险管理体系研究[J]. 工程管理学报, 2008(2): 74-77.
- [13] 李红. 面向过程的建设项目动态风险管理体系研究[J]. 工程管理学报, 2008(2): 91-94.
- [14] 李廷丰, 龚国强, 罗汝平, 等. 基于局部变权理论的煤矿安全综合评价研究[J]. 矿业安全与环保, 2015(1): 44-47.
- [15] 李廷丰, 龚国强, 罗汝平, 等. 基于局部变权理论的煤矿安全综合评价研究[J]. 矿业安全与环保, 2015(1): 52-57.