

ANP 模糊综合评价法在地下铲运机作业中的应用

贾明涛, 李晓梅, 吴丽春

中南大学资源与安全工程学院; 中南大学数字矿山研究中心; 长沙迪迈数码科技股份有限公司, 长沙 410083

摘要 对地下铲运机作业安全进行科学客观的评价, 可有效降低人员、设备、环境以及管理因素导致的事故发生频率, 提高地下铲运机作业的安全水平。运用 ANP 模糊综合评价方法, 以地下铲运机作业的人-机-环境-管理系统为研究对象, 对影响地下铲运机作业的安全因素进行系统分析, 并结合某金属矿山的实际情况, 构建地下铲运机作业安全状况的评价指标体系, 确定一级和二级指标的权重。模糊综合评价结果显示: 目标层-地下铲运机作业是不安全的, 需要采取相应的安全措施以降低危险因素的发生。研究结果论证了该方法的科学性和有效性, 可为地下铲运机作业中的风险控制和管理提供参考。

关键词 地下铲运机; 安全作业; 网络分析法; 模糊综合评价

中图分类号 X936

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.19.007

Application of ANP Fuzzy Comprehensive Evaluation to the Operation of Underground Scraper

JIA Mingtao, LI Xiaomei, WU Lichun

School of Resources and Safety Engineering, Central South University; Research Center of Digital Mine, Central South University; Changsha Digital Mine Infotech Co. Ltd., Changsha 410083, China

Abstract Scientific and objective evaluation on the safety operation of underground mine scraper is able to effectively reduce the probability of accidents caused by personnel, equipment, environment, and management factors, improve the safety level of underground mine scraper operation. An ANP fuzzy comprehensive evaluation method is applied, and the personnel, equipment, and management system involving the scraper operation are taken as the research subject. A systematic analysis on various safety elements concerning the scraper operation is conducted and the practical situation of certain metal mine is combined with. Then an overall evaluation index system for the scraper operation is established, and the weights for the indexes of first and second classes are determined. The results of fuzzy comprehensive evaluation indicate that the operation of target layer-underground mine scraper is unsafe and appropriate measures need to be take in order to reduce the risk factors of dangers. The research results verify that the method is both scientific and effective, and is able to be applied to the risk control and management concerning underground scraper operation.

Keywords underground scraper; safety operation; ANP; fuzzy comprehensive evaluation

0 引言

地下铲运机又称地下装载机, 是专门为地下作业而设计的一种矮车身设备, 不仅可用于各种地下采场的出矿, 又可用于掘进工作面短距离出渣, 已在地下矿山得到了广泛应

用。由于井下作业条件十分恶劣, 有巷道狭窄、照明昏暗、坡度多、坡度大等不利因素, 地下铲运机的日常工作面临着各种风险^[1]。为保证井下铲运机的作业安全, 需要对地下铲运机的各种风险进行评估。目前国内外已经提出了多种安全评价

收稿日期: 2013-01-03; 修回日期: 2013-03-15

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2011AA060407)

作者简介: 贾明涛, 副教授, 研究方向为数字矿山、智能采矿技术及矿山安全, 电子邮箱: mingtao_jia@163.com

方法,充分利用了模糊数学、层次分析法及灰色系统理论等增强评价的客观性,从而提高评价结果的可靠性和准确性。康金箭^[2]应用模糊数学原理优化了矿山安全评价体系;张津嘉^[3]采用了模糊数学综合评价了露天矿山的安全;刘斌玉等^[4]采用层次分析法研究虚拟企业如何寻求合作伙伴问题;王凤凰等^[5]利用层次分析法分析与评价了煤系硫铁矿的安全;何正风^[6]运用模糊数学模型和层次分析法对矿山进行安全评价。地下铲运机作业安全的评估研究国内比较少,借鉴矿山安全的评价方法,本文采用网络层次分析(AHP的深入研究)、模糊评判、加权平均等定性和定量相结合的方法分析地下铲运机工作中不安全事件,通过主观与客观相结合的方法,提出一种基于ANP的模糊综合评价法,确保评价结果的客观性和准确性。

1 地下铲运机作业安全的影响因素分析

地下铲运机的安全作业是指铲运机在开拓、采准、回采中负责出矿和出渣的种种安全行为,是由操作人员、铲运机、矿山环境及管理系统等组成的人-机-环境-管理系统,系统的每一组成部分对铲运机的安全性均会产生一定程度的影响。其中,“人”指参与铲运机作业的司机、处理作业面浮石和清理皮带的职工,以及由他们所引起的行为结果;“机”为地下铲运机作业安全系统的各种硬件设施,包括铲运机对环境的适应能力、使用年限、维修频率等;“环境”指地下铲运机安全作业的地下生产系统这个大环境,是井下生产这个大系统的子系统;“管理”指地下铲运机在安全作业系统的各个职能部门的安全管理工作。

2 地下铲运机作业安全的多层次模糊评价

2.1 ANP 模糊综合评价原理

2.1.1 ANP 理论

ANP 是面向内部依存和反馈关系的复杂决策系统,与多指标系统采用的递阶层结构不同,ANP 采用网络结构,通过定性分析与定量分析相结合的方法,准确地描述客观事物之间的联系。ANP 由控制层和网络层两部分组成,其中控制层和 AHP 一样是典型的递阶层次结构,而网络层中的各元素之间相互影响、相互支配。ANP 主要分为问题描述与分析、构造 ANP 层次结构、判断矩阵的构造、检验判断矩阵的一致性、确定超矩阵和加权超矩阵的基层元素对总目标的权重^[7]。在确定权重方面采用超级决策(Super Decisions,SD)软件,它是 ANP 的专门计算工具^[8]。

2.1.2 模糊综合评价法

模糊综合评价(Fuzzy Comprehensive Evaluation)也称模糊综合评判,是一种利用模糊数学方法对具有随机性评价的多目标问题进行综合评价的一种方法。它的理论依据是模糊数学理论,通过模糊数学方法将待考察的模糊对象以及对应

的模糊概念作为某模糊集合,建立适当的隶属函数,并通过模糊集合论相关运算和变换,对模糊对象进行定量分析。网络层次模糊综合评价通过 ANP 法与模糊决策方法相结合,首先将要评判的同一事物的多种因素按某一属性分成若干网络层次,网络层中的元素可能相互影响、相互支配,进而对每一层次进行综合评判,在此基础上再对初层次综合评判的结果进行高层次的综合评判^[9]。

复杂系统考虑的因素多,且各因素之间有层次之分,应用网络层次模糊综合评价方法可有效地解决系统安全评价问题。其具体步骤如下:

(1) 建立评判对象的因素集 $U=\{U_1, U_2, \dots, U_n\}$ 。

(2) 采用 ANP 法确定评价因素的权重 $W=(w_1, w_2, \dots, w_i)$,

且 $\sum_{i=1}^n w_i=1, w_i \geq 0 (i=1, 2, \dots, n)$ 。

(3) 建立评价集 $V=\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 。

(4) 对每个因素 U_i 做出单因素评判,得单因素评判向量 $\{r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im}\}$ 。

(5) 建立单因素评价矩阵 $R=(r_{ij})_{m \times n}$ 。

(6) 得出模糊综合评价结果矩阵 $B=W \cdot R=(b_1, b_2, \dots, b_n)$ 。

(7) 采用加权平均法 $c_i = \frac{\sum_{j=1}^m b_j^k \cdot j}{\sum_{j=1}^m b_j^k}$, 得出安全评价等级,其

中 $k=1$ 或 $2; i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$ 。

2.2 地下铲运机作业指标体系的建立

建立合乎实际的评价指标是地下铲运机作业安全评价的核心。在建立评价指标体系时,需根据科学性、系统性和适用性原则,从人-机-环境-管理 4 方面综合考虑地下铲运机的作业安全状况。其中确定地下铲运机作业安全状况 U 为总目标层的指标集,影响地下铲运机作业安全的一级评价指标(中间层)为人员安全 U_1 ,设备安全 U_2 ,安全环境 U_3 ,安全管理 U_4 等 4 个,在每个 1 级指标下面又分别设 2 级指标(最底层),共 26 个,如图 1 所示。

2.3 权重的确定

在地下铲运机安全评价体系中,不同的评价指标对于评价结果具有不同的影响程度。权重是多个指标在评价中不同重要程度的反映,合理确定评价指标的权重是安全评价的重要问题之一。地下铲运机安全作业评价指标包含有许多不确定性、随机性和模糊性,为尽量减少人为判断带来的影响,本文采用网络层次分析法,根据 ANP 的原理和特点,运用 ANP 法构造评价指标的网络模型,确定指标权重,通过比较指标间两两重要程度,采用 1~9 标度法对一级指标和二级指标进行打分,通过 Super Decision 软件计算出地下铲运机作业安全状况的指标权重,见表 1,表中 CR 为一致性比率。

由表 1 可见,各级指标的一致性检验都是小于 0.01,误差是可接受的。

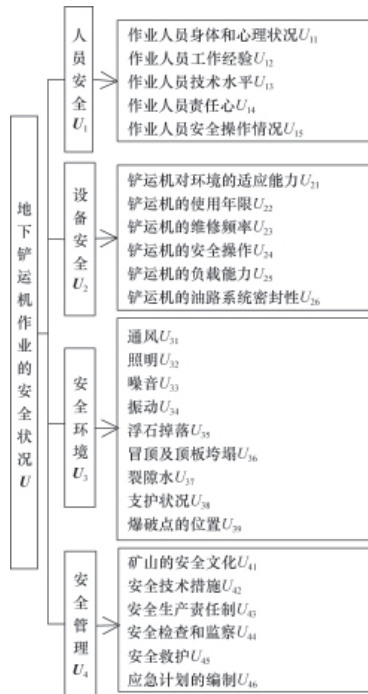


图 1 地下铲运机作业的指标体系

Fig. 1 Index system of underground mine scraper operation

表 1 地下铲运机作业安全状况指标权重

Table 1 Index weights of security situation for underground mine scraper operation

| 一级指标 | 权重 | CR | 二级指标 | 权重 | CR |
|-------|-------|--------|----------|-------|--------|
| U_1 | 0.263 | 0.0039 | U_{11} | 0.11 | 0.0081 |
| | | | U_{12} | 0.319 | |
| | | | U_{13} | 0.319 | |
| | | | U_{14} | 0.068 | |
| | | | U_{15} | 0.184 | |
| U_2 | 0.141 | 0.0039 | U_{21} | 0.067 | 0.0052 |
| | | | U_{22} | 0.12 | |
| | | | U_{23} | 0.12 | |
| | | | U_{24} | 0.355 | |
| | | | U_{25} | 0.218 | |
| | | | U_{26} | 0.12 | |
| U_3 | 0.455 | 0.0039 | U_{31} | 0.212 | 0.0087 |
| | | | U_{32} | 0.071 | |
| | | | U_{33} | 0.112 | |
| | | | U_{34} | 0.049 | |
| | | | U_{35} | 0.212 | |
| | | | U_{36} | 0.112 | |
| | | | U_{37} | 0.049 | |
| | | | U_{38} | 0.112 | |
| | | | U_{39} | 0.071 | |
| U_4 | 0.141 | 0.0039 | U_{41} | 0.107 | 0.0059 |
| | | | U_{42} | 0.332 | |
| | | | U_{43} | 0.195 | |
| | | | U_{44} | 0.195 | |
| | | | U_{45} | 0.107 | |
| | | | U_{46} | 0.064 | |

2.4 某金属矿山地下铲运机的模糊综合评价

2.4.1 某金属矿山地下铲运机各子系统的模糊综合评价

本文以某金属矿山为例,验证基于 ANP 的模糊评价方法在地下铲运机作业安全评价中的有效性。根据作业安全的等级,本文将评语等级论域确定为 $V=\{\text{优}(1), \text{良}(2), \text{中}(3), \text{差}(4), \text{劣}(5)\}$,其评价隶属度等级见表 2。考虑到井下铲运机作业安全系统评价指标多为定性的,本文采用专家打分方法,邀请 10 名安全评价专家对该地下铲运机作业安全状况的单因素进行模糊评价,对被评价指标隶属度做出估计,进而取其平均值作为该因素的隶属度,对每一层次进行综合评判。在此基础上进行高层次的综合评判,并根据评价隶属度等级确定系统的安全等级。评价专家对人员安全的综合判定结果见表 3。

表 2 评判隶属等级

Table 2 Subordination degree judgment

| 安全等级 | V | IV | III | II | I |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 模糊化值 | 4~5 | 3~4 | 2~3 | 1~2 | 0~1 |
| 评语集 | 极危险 | 危险 | 安全 | 较安全 | 很安全 |

表 3 地下铲运机作业人为因素的评价等级

Table 3 Evaluation rating of human factors for underground mine scraper operation

| 评价指标 | 权值 | 评语等级 | | | | |
|----------------------|-------|------|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 作业人员身体和心理状况 U_{11} | 0.110 | 1 | 3 | 3 | 3 | 0 |
| 作业人员工作经验 U_{12} | 0.319 | 0 | 2 | 3 | 4 | 1 |
| 作业人员技术水平 U_{13} | 0.319 | 0 | 4 | 2 | 4 | 0 |
| 作业人员责任心 U_{14} | 0.068 | 1 | 4 | 2 | 2 | 1 |
| 作业人员安全操作情况 U_{15} | 0.184 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 |

由表 3 可得人员安全的评价矩阵为

$$R_1 = \begin{pmatrix} 0.1 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.3 & 0.4 & 0.1 \\ 0 & 0.4 & 0.2 & 0.4 & 0 \\ 0.1 & 0.4 & 0.2 & 0.2 & 0.1 \\ 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.1 \end{pmatrix}$$

单项评价矩阵为

$$B_1 = W_1 \cdot R_1 = [0.0362 \quad 0.2884 \quad 0.2613 \quad 0.3570 \quad 0.0755]$$

利用加权平均法可以得出人员安全的等级为

$$c_1 = \sum_{j=1}^m b_j^k \cdot j / \sum_{j=1}^m b_j^k = 3.15$$

由此得出地下铲运机作业时人员安全属于 III 级,即人员处于较危险的状态。

由上述单因素模糊评价对其余 3 个一级指标进行单独评价,得出

$$R_2 = \begin{pmatrix} 0.6 & 0.4 & 0 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.1 & 0.2 & 0 \\ 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0.1 \\ 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.5 & 0.2 & 0.1 & 0.1 \end{pmatrix}$$

$$R_3 = \begin{pmatrix} 0 & 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.2 \\ 0 & 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0.2 & 0.3 & 0.5 \\ 0 & 0.1 & 0.3 & 0.4 & 0.2 \\ 0 & 0 & 0.3 & 0.4 & 0.3 \\ 0 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.1 \\ 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.1 \\ 0.2 & 0.3 & 0.5 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$R_4 = \begin{pmatrix} 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.1 & 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0 \\ 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0.3 & 0.2 & 0.3 & 0.2 \\ 0.1 & 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.1 \\ 0 & 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \end{pmatrix}$$

$$B_2 = W_2 \cdot R_2 = [0.2606 \quad 0.3902 \quad 0.1866 \quad 0.0813 \quad 0.0693]$$

$$c_2 = 2.30$$

$$B_3 = W_3 \cdot R_3 = [0.0289 \quad 0.1684 \quad 0.3284 \quad 0.2618 \quad 0.2013]$$

$$c_3 = 3.44$$

$$B_4 = W_4 \cdot R_4 = [0.1043 \quad 0.3302 \quad 0.3006 \quad 0.2088 \quad 0.0561]$$

$$c_4 = 2.78$$

由上面的结果可知,地下铲运机作业时设备及管理处于安全状态,但作业环境处于危险状态,需要进行一定的控制与调控。

上述评价结果又构成总的二级评价矩阵

$$B = W \cdot R = [0.0923 \quad 0.2540 \quad 0.2868 \quad 0.2539 \quad 0.1291]$$

即地下铲运机作业安全状况的模糊综合评价结果为

$$c = \sum_{j=1}^m b_j^i \cdot j \Big/ \sum_{j=1}^m b_j^i = 3.07$$

通过评价结果可以看出,地下铲运机作业时总体是危险的,需要采取相应的安全措施降低不安全事件的发生频率。

2.4.2 评价结果分析及安全对策

评价结果表明,铲运机设备与管理处于较安全状态,其安全等级分别为 2.30 和 2.78,而人员与环境系统则处于较危险的状态,其安全等级分别为 3.15 和 3.44,需要进行一定的控制与调节,总体来说地下铲运机作业时是存在危险的,需时刻注意防范。通过评价结果可以看出,需要针对人员及作业环境采取相应的安全措施降低不安全事件的发生频率。具体而言,在人员方面,需要对司机工作经验、技术水平、责任心以及安全操作等加强培训或管理;而在作业环境等方面,

则需要做好井下的通风工作、改善井下的照明情况、采用自主控制取代人工驾驶、保持道路的清洁、确保周围支护情况良好等安全措施改善井下工作环境。

3 结论

地下铲运机作业的安全性是人员、设备、周围环境以及管理协同作用的结果,影响因素复杂多变且难以量化,本文采用基于 ANP 模糊综合评判法,通过模糊综合评价模型分析了地下铲运机作业安全状况。该模型借助专家对风险评价指标的两两比较判断,测算各指标间的相互作用情况和各指标综合重要程度排序,一定程度上弥补了以往纯定量分析忽略定性因素和各个因素之间相互作用的缺陷。为验证该方法的有效性,本文以某矿山为例,具体评价了人、机、环境与管理系统的的天性,实施安全措施后,铲运机作业安全得到明显改善。研究结果可为地下铲运机作业安全评价提供新思路与方法,同时也可为人-机-环境-管理系统的优化控制提供科学的辅助决策依据。本文的评价指标体系还需完善,后续研究将就消除这些危险应采取的措施进行深入讨论。

参考文献 (References)

- [1] Bruce J D. Modelling and control of autonomous underground mine vehicle[D]. Pretoria: University of Pretoria, 2006.
- [2] 康金箭. 应用模糊数学原理优化金属非金属矿山安全评价体系[J]. 广东建材, 2008(8): 25-27.
Kang Jinjian. Guangdong Building Materials, 2008(8): 25-27.
- [3] 张津嘉. 模糊综合评价在露天矿山安全评价中的应用 [J]. 矿冶, 2011, 20(1): 25-32.
Zhang Jinjia. Mining and Metallurgy, 2011, 20(1): 25-32.
- [4] 刘斌玉, 郑应平, 王立群. 协商式层次分析法在虚拟企业寻求合作伙伴中的应用[J]. 科技导报, 2006, 24(11): 55-57.
Liu Binyu, Zheng Yingping, Wang Liqun. Science & Technology Review, 2006, 24(11): 55-57.
- [5] 王凤凰, 王幸荣. 用层次分析法分析与评价煤系硫铁矿的安全[J]. 中国矿山工程, 2009, 38(4): 42-44.
Wang Fenghuang, Wang Xingrong. China Mine Engineering, 2009, 38(4): 42-44.
- [6] 何正风. 模糊数学建模以及层次分析法在矿山安全评价中的应用[J]. 科技信息, 2006(11): 227-231.
He Zhengfeng. Science and Technology Information, 2006(11): 227-231.
- [7] 靳欣, 杨都, 张欢. ANP 李云与算法研究[J]. 商业时代, 2012(2): 30-31.
Jin Xin, Yang Du, Zang Huan. Commercial Times, 2012(2): 30-31.
- [8] 刘睿, 余建星, 孙宏才, 等. 基于 ANP 的超级决策软件介绍及其应用 [J]. 系统工程理论与实践, 2003(8): 141-143.
Liu Rui, Yu Jianxing, Sun Hongcai, et al. Systems Engineering-Theory & Practice, 2003(8): 141-143.
- [9] 许雪燕. 模糊综合评价模型的研究与应用[D]. 成都: 西南石油大学, 2011.
Xu Xueyan. Research and application of fuzzy comprehensive evaluation model[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2011.

(责任编辑 朱宇, 马宇红)