

文章编号: 1673 - 193X(2017) - 09 - 0163 - 06

ISM 耦合 ANP 矿工安全注意力衰减影响因素模型*

邢宝君, 唐水清, 李乃文, 牛莉霞

(辽宁工程技术大学 工商管理学院, 辽宁 葫芦岛 125105)

摘要: 为了减少煤矿安全事故的发生, 从“纵向过程观”角度, 引入矿工安全注意力控制空间、安全信息分配空间和安全行为结果空间, 建立矿工安全注意力衰减影响因素模型。首先, 基于文献研究, 建立矿工安全注意力衰减影响因素体系, 一共包含 12 个指标; 其次, 利用解释结构模型 (ISM) 构建矿工安全注意力衰减的 3 级递阶有向图; 最后, 采用网络层次分析法 (ANP) 构建矿工安全注意力衰减影响因素的权重模型, 并借助 Super Decision (SD) 软件求解。结果表明: 安全自制力、行为习惯、工作负荷、风险应对力以及安全信息刺激频率为表层直接影响因素; 安全认知、工作要求、作业环境特征、安全信息变化多样性和风险感知力为中层间接影响因素; 管理方式和安全信息刺激强度为深层根本影响因素。主要影响因素有: 安全认知、安全自制力、行为习惯、管理方式、安全信息刺激频率以及风险感知力。

关键词: 矿工; 安全注意力衰减; 影响因素; 解释结构模型 (ISM); 网络层次分析法 (ANP)

中图分类号: X913.4 文献标志码: A doi: 10.11731/j.issn.1673-493x.2017.09.026

Model of influencing factors for safety attention attenuation of miners with ISM coupling ANP

XING Baojun, TANG Shuiqing, LI Naiwen, NIU Lixia

(Institute of Business Administration, Liaoning Engineering Technology University, Huludao Liaoning 125105, China)

Abstract: In order to reduce the occurrence of coal mine accidents, from the perspective of "vertical process view", a model of influencing factors for safety attention attenuation of miners was established by introducing into the control space of miners' safety attention, the allocation space of safety information and the results space of safety behavior. Firstly, an influencing factors system for safety attention attenuation of miners was established based on the literature research, which included 12 indexes in total. Secondly, a three-level hierarchical directed graph for safety attention attenuation of miners was constructed by using the interpretative structural modeling (ISM). Finally, a weight model of the influencing factors for safety attention attenuation of miners was established by using the analytic network process (ANP) method, and it was solved with the help of Super Decision (SD) software. The results showed that the safety self-control, behavior custom, working load, risk response and stimulation frequency of safety information were the surface-level direct influencing factors, while the safety cognition, working requirements, operation environmental characteristics, change variety of safety information and risk perception were the middle-level indirect influencing factors, and the management mode and the stimulation intensity of safety information were the deep-level fundamental influencing factors. The main influencing factors included the safety cognition, safety self-control, behavior custom, management mode, stimulation frequency of safety information and risk perception.

Key words: miners; safety attention attenuation; influencing factors; interpretative structural modeling (ISM); analytic network process (ANP)

0 引言

根据国家煤矿监察局统计数据, 近几年发生的煤矿安全重大事故在逐年增加, 而人因事故所占比重也越来

越大。造成安全事故的重要原因之一就是人因失误, 安全注意力衰减是引发人因失误的重要因素。矿工安全注意力衰减是一个多因素交互作用的复杂系统, 受到外界信息、矿工自身和情境因素的共同影响。目前, 部分学者^[1-3]对矿工安全注意力的影响因素进行了研究, 采用的主要方法有结构方程、因子分析等, 还没有人采用定量方法对矿工安全注意力衰减影响因素进行研究。因此, 研究矿工的安全注意力衰减机理具有重要意义。笔者拟从“纵向过程观”出发, 在吴旭^[4]等基于空间映射的视觉注意力分配预测模型基础上, 引入矿工安全注意力控制空间、安全信息分配空间和安全行为结果空

收稿日期: 2017-07-05

作者简介: 邢宝君, 博士, 教授。

通讯作者: 唐水清, 硕士研究生。

* 基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目 (51504126, 51404125);

辽宁省教育厅项目 (LJYR007); 教育部人文社会科学

项目 (12YJCZH192)

间,采用解释结构模型(Interpretative Structural Modeling, ISM)建立矿工安全注意力衰减的影响因素模型,再利用网络层次分析法(Analytic Network Process, ANP)建立矿工安全注意力衰减的网络层次模型,通过 ISM 耦合 ANP 技术构建矿工安全注意力衰减的影响因素模型,探讨矿工安全注意力衰减的影响机理。

1 矿工安全注意力衰减影响因素分析

基于文献研究^[5-7],以“纵向过程观”为出发点,从注意力控制空间、安全信息分配空间和安全行为结果空间 3 个维度整理出 12 个矿工安全注意力衰减机理的影响因素。矿工安全注意力衰减影响因素指标体系如图 1。

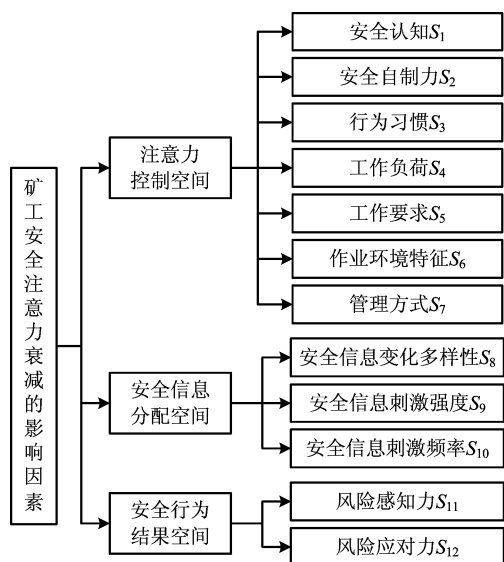


图 1 矿工安全注意力衰减影响因素指标体系

Fig. 1 Miner safety attention attenuation influencing factors index system

1) 注意力控制空间。注意力控制空间由矿工和情境共同作用,尹忠凯^[8]提出工作疲劳对安全注意力的广度影响较大,安全监管对安全注意力广度和转移度有显著影响;王超^[9]基于冲突理论,提出外界环境特征对驾驶人注意力分配有显著影响;曹培杰^[10]提出自制力是影响注意力的重要因素;蒋丽^[11]认为安全认知对安全行为具有正向影响作用;基于上述研究,笔者选取安全认知、安全自制力、行为习惯、工作负荷、工作要求、作业环境特征、管理方式作为注意力控制空间的影响因素。

2) 安全信息分配空间。信息分配空间是矿工在井下执行任务时,可能选择、分配的信息资源空间,主要指安全信息。完颜笑如^[12]等提出了基于混合熵的注意力分配模型,主要考虑信息刺激的影响;尹忠凯^[8]认为安全信息刺激是矿工安全注意力的衡量指标;李乃文^[13]

等利用 Vensim 软件发现安全信息刺激强度和安全信息刺激频率对矿工安全注意力专注与衰减产生影响。基于上述研究,笔者选取安全信息变化多样性、安全信息刺激强度和安全信息刺激频率作为安全信息分配空间的影响因素。

3) 安全行为结果空间。行为结果空间是矿工安全注意力不同专注与衰减带来的行为结果,主要是指矿工的情景意识水平。Wickens C D^[14]等采用线性加权法建立了注意力分配的 SEEV 模型,研究飞行员情景意识与注意力分配的关系;肖泽元^[15]等研究了矿工风险感知水平对安全注意力的影响。基于上述研究,笔者选取风险感知力和风险应对力作为安全行为结果空间的影响因素。

2 矿工安全注意力衰减的 ISM 模型

本文采用了解释结构模型(ISM)的分析方法,首先在已知的系统要素之间的复杂散乱的关系下,然后分析这些复杂散乱的系统要素之间的关联程度,最后得出系统内部各要素之间的结构关系。

2.1 确定邻接矩阵

根据图 1 矿工安全注意力衰减机理的 12 个影响因素,通过专家打分法和访谈咨询法,确定出矿工安全注意力衰减影响因素之间的内部关系,然后建立邻接矩阵 A,表示方式如下:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, S_i \text{ 对 } S_j \text{ 有影响} \\ 0, S_i \text{ 对 } S_j \text{ 无影响} \end{cases} \quad (1)$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

2.2 生成可达矩阵

根据布尔矩阵运算规则(即 $0+0=0, 0+1=1, 1+0=1, 1+1=1, 0 \times 0=0, 0 \times 1=0, 1 \times 0=0, 1 \times 1=1$),由邻接矩阵 A 与单位矩阵 I 求和,并对 $(A+I)$ 进行幂运算,直至 $(A+I)^{k-1} \neq (A+I)^k = (A+I)^{k+1}$ 时,矩阵 $M = (A+I)^k$ 称为可达矩阵。根据矿工安全注意力衰减影响因素间的关联性,当 $K=4$ 时,满足可达矩阵的条件,

即可达矩阵为 $M = (A + I)^4$ 。

2.3 划分层级关系

根据可达矩阵,可以找出要素 S_i 能够影响到的所有要素,组成可达集 $R(S_i)$ 和所有能够影响到 S_i 的要素,组成先行集 $A(S_i)$,最后找出所有既能影响 S_i 又被 S_i 影响的要素,组成共同集 $C(S_i)$ 。

在已经生成的可达矩阵中,依据 $R(S_i) \cap A(S_i) =$

$C(S_i)$ 条件划分矿工安全注意力衰减影响因素的层级,按照自上而下的方式,即可达集等于共同集的方式进行层级划分,经计算,第1级节点: $L1 = \{2,3,4,10,12\}$;第2级节点: $L2 = \{1,5,6,8,11\}$;第3级节点 $L3 = \{7,9\}$ 。

2.4 建立解释结构模型

根据上述计算和分析,提取骨架矩阵,得出矿工安全注意力衰减影响因素解释结构模型,如图2所示。

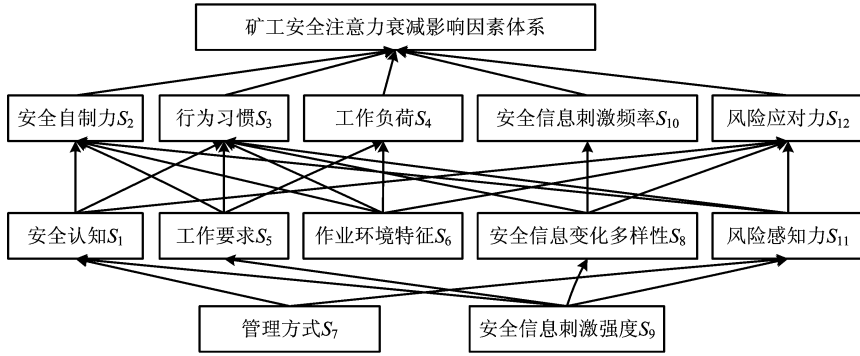


图2 矿工安全注意力衰减的ISM模型

Fig. 2 Miners' safety attention attenuation ISM model

2.5 ISM模型分析

根据图2可知,矿工安全注意力衰减影响因素体系是一个具有3级递阶结构的复杂系统,注意力控制空间、安全信息分配空间和安全行为结果空间3个维度之间交互作用,相互影响。矿工安全注意力衰减影响因素的交互作用关系如下:

1) 表层直接影响因素,包含安全自制力、行为习惯、工作负荷、安全信息刺激频率以及风险应对力。表明这5个影响因素直接影响矿工安全注意力的衰减,是矿工安全注意力衰减的直接原因,要想提高矿工安全注意力专注度、降低矿工安全注意力衰减度,务必重视这5个直接影响因素。

2) 中层间接影响因素,包含安全认知、工作要求、作业环境特征、安全信息变化多样性以及风险感知力。说明表层影响因素通过这5个影响因素间接影响矿工安全注意力衰减,同时也体现出中层影响因素对表层影响因素的限制作用。安全认知影响行为习惯等,进而影响矿工安全注意力衰减;工作要求影响工作负荷等,进而影响矿工安全注意力衰减;作业环境特征影响安全自制力等,进而影响矿工安全注意力衰减;安全信息变化多样性影响安全信息刺激频率等,进而影响矿工安全注意力衰减;风险感知力影响风险应对力等,进而影响矿工安全注意力衰减。

3) 深层根本影响因素,包含管理方式和安全信息刺激强度。说明影响矿工安全注意力衰减的最根本原因是管理方式和安全信息刺激强度,在今后的安全管理

中,制定并完善安全管理制度,加大安全监管力度,加强安全信息刺激,可以有效地提高矿工安全注意力的专注度,减少矿工安全注意力的转移和分散。

3 矿工安全注意力衰减的ANP模型

根据上文构建的ISM模型可以看出,影响矿工安全注意力衰减的3大元素集相互交叉影响,交互作用,内部关联性较大,因此更适合采用网络层次分析法(ANP)计算内部因素间的关系,与层次分析法(AHP)相比,更加科学有效。由于ANP的计算结果相对复杂,计算量大,因此借助SD(Super Decision)软件进行计算。

3.1 构建ANP结构

一般来说,ANP结构由2部分构成:网络控制层和影响网络层。根据ANP原理,构建矿工安全注意力衰减的ANP结构如图3。

3.2 确定影响因素权重

3.2.1 建立元素判断矩阵

SD软件构建矿工安全注意力衰减的ANP模型如图4所示。邀请煤矿安全管理领域权威专家,采用1~9标度法,对3个元素集(注意力控制空间、安全信息分配空间、安全行为结果空间)以及各个元素集所属元素进行打分,确定元素集以及各元素间两两比较的优势度,建立元素判断矩阵,将判断矩阵的结果录入SD软件,并对矩阵进行一致性检验,经检验,矩阵一致性检验系数均小于0.1,判断矩阵通过一致性检验。鉴于判断矩阵较多,故不详细列举。

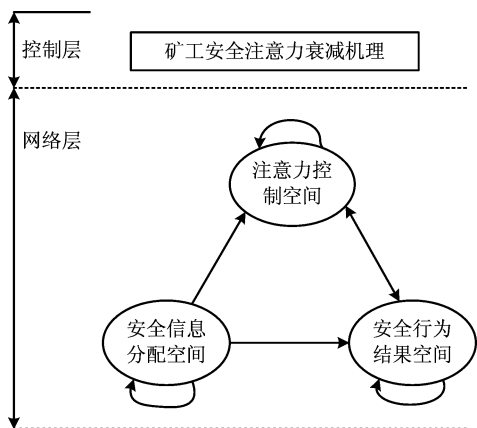


图3 矿工安全注意力衰减的 ANP 结构

Fig. 3 ANP structure of miner's safety attention attenuation

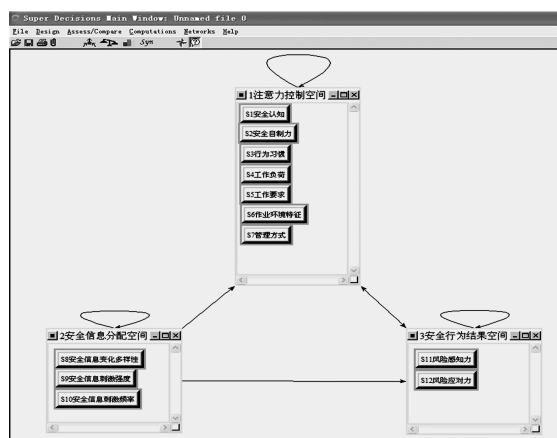


图4 矿工安全注意力衰减的 ANP 模型

Fig. 4 ANP model of miner's safety attention attenuation

3.2.2 建立未加权超矩阵和加权超矩阵

首先,以控制层元素 P (矿工安全注意力衰减机理) 为准则,以网络层元素 $C_j (j=1,2,3)$ 注意力控制空间、安全信息分配空间和安全行为结果空间为次准则,判断

C_j 元素集中各个元素 $C_{j1} (j=1,2,3, \dots)$ 的优势度,根据判断矩阵构造归一化特征向量,汇总即得到未加权超矩阵,见表1。然后,根据3个元素集的判断矩阵构造权重矩阵,与超权重矩阵相乘即得到加权超矩阵,见表2。

表1 矿工安全注意力衰减机理的未加权超矩阵

Table 1 Unweighted matrices of miner's safety attention attenuation mechanism

	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}	S_{11}	S_{12}
S_1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.200	0.000	0.000	0.000
S_2	0.333	0.000	0.000	0.000	0.320	0.208	0.000	0.000	0.000	0.000	0.750	0.000
S_3	0.667	0.000	0.000	0.000	0.558	0.661	0.000	1.000	0.000	0.000	0.250	0.000
S_4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.122	0.131	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
S_5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.800	0.000	0.000	0.000
S_6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
S_7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
S_8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
S_9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
S_{10}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
S_{11}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
S_{12}	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000	0.000	1.000	0.000

表2 矿工安全注意力衰减机理的加权超矩阵

Table 2 Weighted super matrices of miner's safety attention attenuation mechanism

	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}	S_{11}	S_{12}
S_1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.200	0.000	0.023	0.000	0.000	0.000
S_2	0.067	0.000	0.000	0.000	0.320	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.188	0.000
S_3	0.133	0.000	0.000	0.000	0.558	0.132	0.000	0.117	0.000	0.000	0.063	0.000
S_4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.122	0.026	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
S_5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.094	0.000	0.000	0.000
S_6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
S_7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
S_8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.614	0.000	0.000	0.000
S_9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
S_{10}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.614	0.000	0.000	0.000	0.000
S_{11}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.800	0.000	0.268	0.000	0.000	0.000
S_{12}	0.800	0.000	0.000	0.000	0.000	0.800	0.000	0.268	0.000	0.000	0.750	0.000

3.2.3 建立 ANP 极限超矩阵

为了得到注意力控制空间、安全信息分配空间和安全行为结果空间元素集下各元素的依存关系,在计算出矿工安全注意力衰减机理的加权超矩阵后,需计算极限相对排序向量,以此反映各元素相对于矿工安全注意力衰减机理的权重值。计算公式为:

$$W_s = \lim_{k \rightarrow \infty} W^k \quad (2)$$

其中 W 为总加权超矩阵, W_s 为极限超矩阵。借助 SD 决策软件,极限超矩阵见表 3。

3.2.4 计算最终排序

根据 SD 软件计算各个影响因素对矿工安全注意力衰减的重要程度,按权重大小对影响因素进行排序,见表 4。

表 3 矿工安全注意力衰减机理的极限超矩阵

Table 3 The limit hyper matrix of the mechanism of miners' safety attention attenuation

	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}	S_{11}	S_{12}
S_1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000
S_2	0.067	0.000	0.000	0.000	0.320	0.042	0.082	0.000	0.041	0.000	0.188	0.000
S_3	0.133	0.000	0.000	0.000	0.558	0.132	0.038	0.117	0.072	0.000	0.063	0.000
S_4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.122	0.026	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000
S_5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.047	0.000	0.000	0.000
S_6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
S_7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
S_8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.307	0.000	0.000	0.000
S_9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
S_{10}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.614	0.189	0.000	0.000	0.000
S_{11}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.400	0.000	0.134	0.000	0.000	0.000
S_{12}	0.800	0.000	0.000	0.000	0.000	0.800	0.380	0.268	0.192	0.000	0.750	0.000

表 4 矿工安全注意力衰减影响因素权重与排序

Table 4 Miners' safety attention attenuation mechanism weight and order of influence factor

	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}	S_{11}	S_{12}
权重	0.193	0.104	0.227	0.026	0.014	0.009	0.112	0.032	0.011	0.099	0.094	0.079
排序	2	4	1	9	10	12	3	8	11	5	6	7

3.3 ANP 模型分析

通过表 4 各因素占矿工安全注意力衰减机理权重可知,注意力控制空间下安全认知 19.3%、安全自制力 10.4%、行为习惯 22.7%、工作负荷 2.6%、工作要求 1.4%、作业环境特征 0.9% 和管理方式 11.2%;安全信息分配空间下安全信息变化多样性 3.2%、安全信息刺激强度 1.1%、安全信息刺激频率 9.9%;安全行为结果空间下风险感知力 9.4% 以及风险应对力 7.9%。其中,占比较高的因素有安全认知、安全自制力、行为习惯、管理方式、安全信息刺激频率以及风险感知力。

从矿工安全注意力衰减的 ANP 结构分析,在矿工安全注意力衰减过程中,注意力控制空间、安全信息分配空间和安全行为结果空间三者相互影响、交互作用。其中,安全信息分配空间对注意力控制空间和安全行为结果空间影响最大,注意力控制空间与安全行为结果空

间相互影响。根据 ANP 模型计算结果可知,矿工安全注意力衰减的各个影响因素重要程度不同,各因素相互联系但又存在差别。为了提高矿工安全注意力的专注度、降低转移度和分散度,缓解矿工安全注意力的衰减状态,我们可以加强矿工的安全意识、加大安全教育培训与宣传、制定严格的安全生产管理制度、增加安全信息刺激频率以及培养矿工的风险感知力。

4 结论

1) 根据矿工工作环境以及工作特点,基于文献研究,以“纵向过程观”的角度,从注意力控制空间、安全信息分配空间和安全行为结果空间 3 个方面构建了矿工安全注意力衰减影响因素的指标体系,共包含 12 个影响因素。注意力控制空间影响因素有:安全认知、安全自制力、行为习惯、工作疲劳、工作要求、作业环境特征

和管理方式;安全信息分配空间影响因素有:安全信息变化多样性、安全信息刺激强度以及安全信息刺激频率;安全行为结果影响空间有:风险感知力和风险应对力。

2)利用ISM技术构建了矿工安全注意力衰减机理的3级递阶有向图。表层直接影响因素为:安全自制力、行为习惯、工作负荷、风险应对力以及安全信息刺激频率;中层间接影响因素为:安全认知、工作要求、作业环境特征、安全信息变化多样性和风险感知力;深层根本影响因素为管理方式和安全信息刺激强度。

3)通过构建ANP模型确定了矿工安全注意力衰减影响因素的权重与排序。主要影响因素有:安全认知、安全自制力、行为习惯、管理方式、安全信息刺激频率以及风险感知力。

参考文献

- [1] 王春雪,吕淑然. 噪声对安全注意力影响实验研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2016, 12(3):160-164.
WANG Chunxue, LYU Shuran. Experimental study on the influence of noise on safety attention[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2016, 12(3): 160-164.
- [2] 李乃文,张丽,牛莉霞. 工作压力、安全注意力与不安全行为的影响机理模型[J]. 中国安全生产科学技术, 2017, 13(6): 14-19.
LI Naiwen, ZHANG Li, NIU Lixia. Mechanism of the effects of work stress, safety attention and unsafe behavior[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2017, 13(6): 14-19.
- [3] 牛莉霞,刘谋兴,李乃文,等. 工作倦怠、安全注意力与习惯性违章行为的关系[J]. 中国安全科学学报, 2016, 26(6):19-24.
NIU Lixia, LIU Mouxing, LI Naiwen, et al. The relationship between job burnout, safety attention and Habitual Violation Behavior[J]. Journal of China safety science, 2016, 26(6): 19-24.
- [4] 吴旭,完颜笑如,庄达民. 基于空间映射的视觉注意力分配预测模型[J]. 北京航空航天大学学报,2014, 40(12):1713-1718.
WU Xu, WANYAN Xiaoru, ZHUANG Damin. Pilot visual attention allocation modeling based on spatial mapping[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2014, 40(12): 1713-1718.
- [5] 白杰,姚冰,杨坤. 面向HUD的飞行员注意力分配影响因素量化研究[J]. 中国民航大学学报, 2015, 33(5):51-55.
BAI Jie, YAO Bing, YANG Kun. Quantitative research on the factors influencing the attention allocation of pilots toward[J]. Journal of Civil Aviation University of China, 2015, 33(5): 51-55.
- [6] 庄达民,完颜笑如. 基于认知特性的飞行员视觉注意力分配建模与实验研究[J]. 科技创新导报, 2016(13):178-179.

ZHUANG Damin, WANYAN Xiaoru. Research on Pilot's Visual Attention Allocation Modeling and Validation Experiment Based on Cognitive Characteristics[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2016(13): 178-179.

- [7] 吴旭,完颜笑如,庄达民. 多因素条件下注意力分配建模[J]. 北京航空航天大学学报, 2013, 39(8):1086-1090.
WU Xu, WANYAN Xiaoru, ZHUANG Damin. Attention allocation modeling under multi-factor condition[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2013, 39(8): 1086-1090.
- [8] 尹忠恺,施凤冉,李乃文,等. 矿工安全注意力影响因素的SEM研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2017, 13(3):113-118.
YIN Zhongkai, SHI Fengran, LI Naiwen, et al. SEM study on the factors affecting the safety attention of miners[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2017, 13(3): 113-118.
- [9] 王超,于超博,王敏. 基于注意力分配的管制员调配飞行冲突认知过程研究[J]. 安全与环境学报, 2016, 16(4):205-209.
WANG Chao, YU Bo, WANG Min. Research on the cognitive process of deployment of flight conflict based on attention allocation controllers[J]. Journal of Safety and Environment, 2016, 16(4): 205-209.
- [10] 曹培杰. 数字化学习中注意力失焦的原因分析[J]. 中国电化教育, 2015(8):42-46.
CAO Peijie. Analysis of the causes of attention loss in digital learning[J]. China audiovisual education, 2015(8): 42-46.
- [11] 蒋丽,李永娟,马峻峰. 不安全驾驶行为及其影响因素[J]. 人类工效学, 2011, 17(2):85-88.
JIANG Li, LI Yongjuan, MA Junfeng. Unsafe driving behavior and influencing factors[J]. Chinese Journal of Ergonomics, 2011, 17(2): 85-88.
- [12] Wanyan Xiaoru, Zhuang Damin, Wei Hengyang, et al. Pilot attention allocation model based on fuzzy theory[J]. Computers & Mathematics with Applications, 2011, 62(7):2727-2735.
- [13] 李乃文,赵云龙,牛莉霞. 基于系统动力学的安全注意力专注与衰减研究[J]. 中国安全科学学报, 2017(4):25-30.
LI Naiwen, ZHAO Yunlong, NIU Lixia. Research on safety attention concentration and attenuation based on system dynamics[J]. Journal of China safety science, 2017(4): 25-30.
- [14] Wickens C D, Alexander A L. Attentional tunneling and task management in synthetic vision displays[J]. The International Journal of Aviation Psychology, 2009, 19(2):182-199.
- [15] 肖泽元,李广利,寇猛,等. 风险感知水平对矿工注意力集中能力的影响研究[J]. 技术与创新管理, 2016,37(5): 524-528.
XIAO Zeyuan, LI Guangli, KOU Meng, et al. Study on the influence of risk perception level on miners' concentration ability. [J]. Technology and Innovation Management, 2016, 37(5): 524-528.

(责任编辑:纪婧)