

控制与决策

Control and Decision

考虑内在影响关系的不安全行为组织管理控制模型

郭海东, 李慧民, 陈旭, 袁鹏飞

引用本文:

郭海东, 李慧民, 陈旭, 等. 考虑内在影响关系的不安全行为组织管理控制模型[J]. 控制与决策, 2020, 35(3): 704–712.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.0806>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

动态预测技术在航班运行风险中的应用

Dynamic prediction technology in the application of flight operation risk

控制与决策. 2019, 34(9): 1946–1954 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.0108>

分层构权灰色主成分评价模型及其应用

Multi-layer weighted grey principal component evaluation model and its application

控制与决策. 2019, 34(6): 1300–1306 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2017.1405>

考虑通信延时的platoon跟车控制模型

Vehicle following control model of platoon considering communication delay

控制与决策. 2019, 34(2): 377–382 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2017.1100>

基于广义Choquet积分的Pythagorean不确定语言TODIM方法及其应用

Pythagorean uncertain linguistic TODIM method based on generalized Choquet integral and its application

控制与决策. 2018, 33(7): 1303–1311 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2017.0364>

一种基于改进灰色关联分析的变量选择算法

A variable selection algorithm based on improved grey relational analysis

控制与决策. 2017, 32(9): 1647–1652 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2016.0856>

具有1+N节点的多重边赋权驱动响应复杂网络复域函数投影同步

Complex function projective synchronization in drive-response complex networks with 1+N nodes and multi-links

控制与决策. 2017, 32(5): 935–938 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2016.0350>

嵌入作业协调的随机动态车队调度求解策略

Solving strategy for stochastic dynamic fleet scheduling with station operation coordination

控制与决策. 2017, 32(1): 71–78 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2015.1609>

多变量非方系统集中式PI控制器设计

Centralized PI control for multivariable non-square systems

控制与决策. 2016, 31(5): 811–816 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2015.0395>

考虑内在影响关系的不安全行为组织管理控制模型

郭海东¹, 李慧民^{1†}, 陈旭¹, 袁鹏飞²

(1. 西安建筑科技大学 土木工程学院, 西安 710055; 2. 中国核工业二四建设有限公司, 北京 101601)

摘要: 针对不安全行为组织管理体系难以长期稳定运行的问题, 在充分考虑管理变量之间影响关系的基础上, 提出一套不安全行为组织管理的控制模型. 由于变量之间影响关系的存在, 待改进变量及其前置变量的不足均应被识别为组织管理漏洞, 且变量的重要性应兼顾自身重要性及变量之间的影响强度. 基于此研究思路, 首先, 结合行为安全“2-4”模型与反馈控制理论, 确定控制模型的范围、变量、构建步骤及运行流程; 然后, 通过三角模糊数与 WINGS(weighted influence non-linear gauge system)算法的结合, 在考虑主观判断存在不精确性的同时, 实现变量之间影响关系的刻画以及变量自身重要性及变量间影响强度的融合, 进而给出识别管理漏洞及确定控制措施次序的方法. 案例分析表明, 该控制模型有助于提高管理漏洞识别的全面性及控制措施次序的合理性.

关键词: 不安全行为; 组织管理; 影响关系; 控制模型; 控制策略; WINGS 算法

中图分类号: X913

文献标志码: A

Control model of organizational management for unsafe behavior considering intrinsic influence relationship

GUO Hai-dong¹, LI Hui-min^{1†}, CHEN Xu¹, YUAN Peng-fei²

(1. College of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, China; 2. China Nuclear Industry 24 Construction CO., LTD., Beijing 101601, China)

Abstract: The organizational management system of unsafe behavior is generally difficult to operate stably for a long time. This paper proposes a control model of organizational management for unsafe behavior, based on the full consideration of the relationship between management variables. Due to the existing influence relationship between variables, the deficiency of the to be improved variables and their antecedents should be identified as the vulnerability in organizational management, the importance of the variable itself and the influence intensity between variables should be taken into account. Armed with this research idea, first of all, the scope, the variables, the construction steps and the operation process of the control model are determined by combining the behavior safety “2-4” model and the feedback control theory. Then combining triangular fuzzy number with the weighted influence non-linear gauge system (WINGS) algorithm while considering the uncertainty of subjective judgment, the influence relationship between variables is described, and the integration of their own importance and the influence strength between variables is realized. Moreover, the paper gives the method of identifying management vulnerabilities and determining control measures. The case study shows that the control model is helpful to improve the capacity of identifying the vulnerability in organizational management and the rationality of sequencing the control measures.

Keywords: unsafe behavior; organizational management; influence relation; control model; control strategy; WINGS algorithm

0 引言

据统计, 在建筑、石油、矿山、航空航天等社会主要行业安全生产事故原因中, 人为失误占比均高于 70%^[1-4], 不安全行为成为社会安全生产事故的主要诱因. 而实现不安全行为有效控制的关键在于组织安全管理体系的科学性、系统性^[5-7], 以及运行的稳定

性. 但在外部扰动作用下^[8], 组织安全管理体系难以长期处于良好稳定的运行状态, 这成为不安全行为总体未得到有效遏制的重要原因, 因此研究不安全行为组织管理的控制方法尤为必要.

进行不安全行为组织管理的控制, 需要将组织管理体系看作一个由若干变量及内在影响关系^[9-10]构

收稿日期: 2018-06-12; 修回日期: 2018-10-31.

基金项目: 国家自然科学基金项目(51178386, 51478384); 住建部科技项目(2015-R3-003).

责任编辑: 李登峰.

[†]通讯作者. E-mail: li_huimin2005@126.com.

成的有机整体,其核心在于管理漏洞的识别与控制措施的确定.目前,管理漏洞识别主要通过组织管理水平的综合评价实现,虽然相关研究多集中于指标体系与评价方法的优化^[11-12],但其中管理漏洞识别的核心工作较为一致,均是通过相关指标的模糊测度与偏差分析,明确出组织管理缺陷.有关控制措施的研究则多集中于对安全文化^[13]、安全氛围^[14]、管理方式^[15]、管理者行为^[16]、安全知识^[17]等管理变量的显著性分析与相应改进措施的提出,已取得较为丰硕的成果.但现有研究还存在如下不足:1)指标模糊测度多采用点值估计,未能良好处理专家主观判断存在的不精确性.2)未充分考虑变量之间的影响关系对组织安全管理体系运行的作用,在管理漏洞识别方面,导致识别结果仅停留于各变量自身,未进一步考虑变量之间的影响作用也可能存在漏洞,使得管理漏洞识别工作不透彻;在控制措施确定方面,鲜有研究在管理变量重要性确定时,将变量自身重要性与变量之间的影响强度融合,且未考虑不同控制措施的时效性,这使得控制措施的次序安排与实际情况较为不符.

针对上述问题,本文以反馈控制理论为基础,拟提出一套不限行业领域的不安全行为组织管理控制模型(control model of organizational management for unsafe behavior, CMOMUB),通过方法研究实现组织内在影响关系的刻画、变量自身重要性与变量间影响强度的融合,并兼顾变量测度主观判断存在不精确性及不同控制措施存在时效差异性的解决办法,以期提高管理漏洞识别的全面性与控制措施次序的合理性.

1 CMOMUB 构建基础

1.1 不安全行为组织管理范围确定

首先,基于行为安全“2-4”模型确定不安全行为组织管理的范围.行为安全“2-4”模型是基于组织行为学基本原理,以“行为控制”为理念提出的新型现代事故致因链模型^[7],其中不安全行为的形成链条为:“安全文化”→“安全管理体系”→“安全知识、意识、习惯”→“不安全行为”(图1),该链条相关的各项工作均属于不安全行为组织管理的范围.但根据认知心理学基本模型:刺激→有机体→反应^[18],可知个人行为是人有机体内部复杂的认知反应机制产生的结果,该过程不可见且无法控制.因此,链条中“安全知识、意识、习惯”→“不安全行为”的过程无法纳入组织管理的范围.

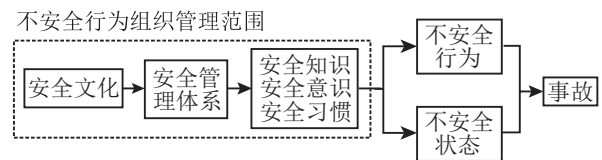


图1 不安全行为组织管理范围

由图1可知,在不安全行为组织管理范围内,起始变量为安全文化,末尾变量为人员综合安全状态.而中间变量应结合组织安全管理实际进行确定,因为已有研究表明由于行业、组织管理风格、安全规章等的不同,组织安全管理体系会表现出不同的因素结构^[19].经总结,末尾变量人员综合安全状态主要包括安全意识、安全知识与技能、个体状态3个方面^[7,17].其中,安全意识主要涉及员工对待工作标准及操作程序的态度、对安全隐患与违章的容忍程度、除本职工作外对其他安全工作的主动参与程度等方面;安全知识与技能主要涉及安全知识的掌握程度、安全风险的识别与应对能力、安全设施设备的使用技能、妥善处理应急情况的能力等方面;个体状态主要涉及生理状态与心理状态两个方面.

1.2 CMOMUB 理论基础

对不安全行为组织管理的控制,其本质是对组织安全管理体系中不安全行为的管理变量及变量之间影响关系的控制,核心工作包括管理漏洞识别与控制措施确定.对于管理变量之间的影响关系,可理解为变量A的工作效果对变量B工作效果产生的影响,A为B的前置变量,变量B的工作是影响作用的传递媒介.由此可知,组织管理漏洞不仅是某单个变量自身存在的不足,还包括其前置变量对该变量影响作用的不足.在资源有限、问题紧急的情况下,控制措施次序确定的基础在于各管理变量的重要性及改进措施的时效性.由于变量之间影响关系的存在,影响关系中前置变量的重要性会进一步提高^[9],且对末尾变量产生直接影响的管理变量,其改进措施的时效性相对较高.因此,对变量间影响关系的刻画与量化,是实现不安全行为组织管理控制的重要基础.

现以反馈控制理论^[20]为基础,在考虑变量间影响关系的基础上,将不安全行为组织管理体系的运行状态作为受控系统,将控制策略与措施的确定作为施控系统,由此提出不安全行为组织管理的控制模型,如图2所示.

CMOMUB 的构建步骤及运行流程如图3所示.1)结合组织安全管理实际确定出相应不安全行为的管理变量.2)确定各管理变量自身重要性、变量间影

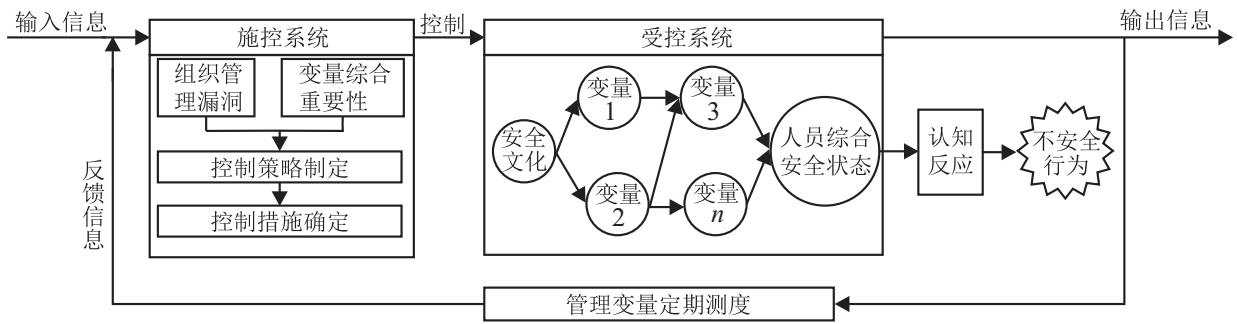


图2 CMOMUB示意图

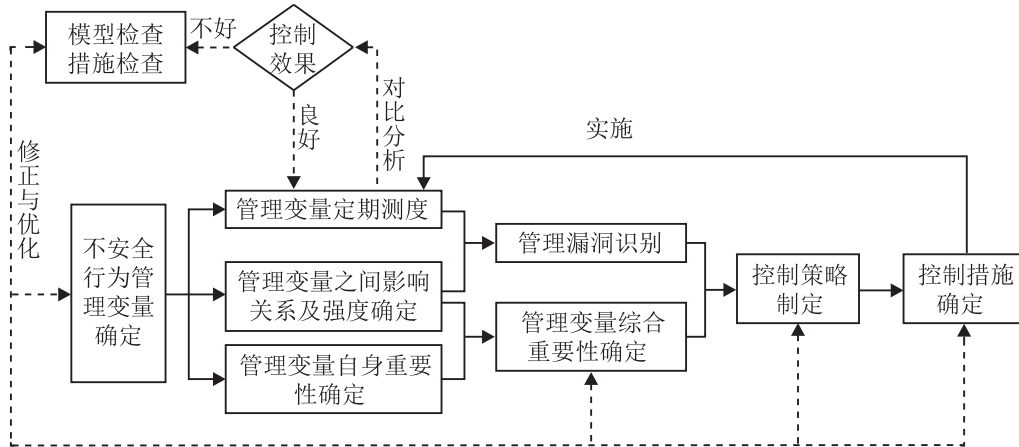


图3 CMOMUB构建步骤及运行流程

响关系及强度,并进一步确定各管理变量的综合重要性. 3) 对管理变量进行定期测度. 4) 设定改进标准界限,依据管理变量测度与变量间影响关系进行管理漏洞识别. 5) 依据管理变量综合重要性与管理漏洞识别结果,制定控制策略. 6) 依据控制策略,进一步制定符合实际的控制措施. 7) 控制措施实施后,若效果良好,则继续对管理变量定期测度;若不好,则需检查并对存在的问题予以修正或优化.

2 CMOMUB构建

2.1 管理变量确定

首先,应充分了解企业或项目不安全行为组织管理体系的构成与运行特征,并在此基础上确定出相应的不安全行为管理变量,记为 $C_i (i = 1, 2, \dots, n)$.

2.2 管理变量之间影响关系及综合重要性确定

现有方法中同时考虑因素自身重要性与因素之间影响强度的方法主要有随机DEMATEL (decision making trial and evaluation laboratory)算法与WINGS算法. 随机DEMATEL算法^[21]是Tamura等最先发现DEMATEL算法存在忽视因素自身重要性的问题,并创新性地提出了基于复合重要性概念的改进DEMATEL算法,但Michnik指出随机DEMATEL的理论推导割裂了系统因素自依赖与因素之间影响的

关联关系^[9]. WINGS算法是Michnik给出的另一种改进DEMATEL算法,该方法实现了因素自身重要性与因素间影响强度的融合^[9,22]. 同时,由于管理变量多为定性指标,变量自身重要性与变量间影响强度的评判均依赖于专家经验,评判时存在无法避免的模糊性与不精确性,对此问题三角模糊数提供了有效的解决办法^[23]. 因此,采用三角模糊数与WINGS算法相结合的方法刻画管理变量之间的影响关系,并确定变量的综合重要性系数,具体步骤如下.

step 1: 邀请多位专家通过表1给出的模糊语言标度值^[9,23],分别对管理变量自身重要性与变量之间的影响强度进行评判,构造模糊自身重要性矩阵 H^{1k} 与模糊直接影响矩阵 H^{2k} . 若多位专家对同一对象的评判结果最大偏差为1个等级,则评判结果可接受;若最大偏差不低于2个等级,则应进行结果反馈与征询,消除理解差异.

表1 模糊语言标度

重要性语言描述	影响强度语言描述	三角模糊数
不重要	无影响	(0, 0, 1)
重要性低	影响很小	(0, 1, 2)
重要性一般	影响一般	(1, 2, 3)
重要性较高	影响较大	(2, 3, 4)
重要性很高	影响很大	(3, 4, 4)

$$H^{1k} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{1-1}^{1k} & & & 0 \\ & \tilde{x}_{2-2}^{1k} & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & \tilde{x}_{n-n}^{1k} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$H^{2k} = \begin{bmatrix} 0 & \tilde{x}_{1-2}^{2k} & \cdots & \tilde{x}_{1-n}^{2k} \\ \tilde{x}_{2-1}^{2k} & 0 & \cdots & \tilde{x}_{2-n}^{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{n-1}^{2k} & \tilde{x}_{n-2}^{2k} & \cdots & 0 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

其中: \tilde{x}_{i-i}^{1k} 是第 k 位专家对管理变量 C_i 自身重要性的评判结果, \tilde{x}_{i-j}^{2k} 是第 k 位专家给出管理变量 C_i 对 C_j 影响强度的评判结果. \tilde{x}_{i-i}^{1k} 、 \tilde{x}_{i-j}^{2k} 的表达形式均为定义所示的三角模糊数, 即 $\tilde{x}_{i-i}^{1k} = (l_{i-i}^{1k}, m_{i-i}^{1k}, u_{i-i}^{1k})$, $\tilde{x}_{i-j}^{2k} = (l_{i-j}^{2k}, m_{i-j}^{2k}, u_{i-j}^{2k})$, $k = 1, 2, \dots, K$, K 为评判专家总数.

step 2: 将式(1)和(2)解模糊化, 并集成群组专家意见^[24-25], 得出自身重要性矩阵 V^1 与直接影响矩阵 V^2 , 因二者计算方法一致, 故以 V^2 为例说明其计算程序, 具体如下.

1) 初始数据归一化, 即

$$yl_{i-j}^{2k} = \frac{l_{i-j}^{2k} - \min l_{i-j}^{2k}}{\Delta 2_{\min}^{\max}}, \quad (3)$$

$$ym_{i-j}^{2k} = \frac{m_{i-j}^{2k} - \min l_{i-j}^{2k}}{\Delta 2_{\min}^{\max}}, \quad (4)$$

$$yu_{i-j}^{2k} = \frac{u_{i-j}^{2k} - \min l_{i-j}^{2k}}{\Delta 2_{\min}^{\max}}, \quad (5)$$

其中

$$\Delta 2_{\min}^{\max} = \max u_{i-j}^{2k} - \min l_{i-j}^{2k}.$$

2) 左右边界值 (ls, us) 归一化, 即

$$yls_{i-j}^{2k} = \frac{ym_{i-j}^{2k}}{1 + ym_{i-j}^{2k} - yl_{i-j}^{2k}}, \quad (6)$$

$$yus_{i-j}^{2k} = \frac{yu_{i-j}^{2k}}{1 + yu_{i-j}^{2k} - ym_{i-j}^{2k}}. \quad (7)$$

3) 计算总的归一化点估计值, 即

$$y_{i-j}^{2k} = \frac{yls_{i-j}^{2k}(1 - yls_{i-j}^{2k}) + (yus_{i-j}^{2k})^2}{1 - yls_{i-j}^{2k} + yus_{i-j}^{2k}}. \quad (8)$$

4) 求解专家 k 的点估计值, 即

$$v_{i-j}^{2k} = \min l_{i-j}^{2k} + y_{i-j}^{2k} \Delta 2_{\min}^{\max}. \quad (9)$$

5) 计算群组专家点估计的均值, 即

$$v_{i-j}^{2k} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K v_{i-j}^{2k}. \quad (10)$$

经过以上计算过程, 可分别形成矩阵 V^1 和 V^2 , 二者表达式为

$$V^1 = \begin{bmatrix} v_{1-1} & & & 0 \\ & v_{2-2} & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & v_{n-n} \end{bmatrix}, \quad (11)$$

$$V^2 = \begin{bmatrix} 0 & v_{1-2} & \cdots & v_{1-n} \\ v_{2-1} & 0 & \cdots & v_{2-n} \\ \vdots & \vdots & 0 & \vdots \\ v_{n-1} & v_{n-2} & \cdots & 0 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

step 3: 联立式(11)、(12), 形成综合影响矩阵

$$V = V^1 + V^2 = \begin{bmatrix} v_{1-1} & v_{1-2} & \cdots & v_{1-n} \\ v_{2-1} & v_{2-2} & \cdots & v_{2-n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{n-1} & v_{n-2} & \cdots & v_{n-n} \end{bmatrix}. \quad (13)$$

通过式(14)对 V 进行规范化处理, 得出规范化矩阵

$$G = \frac{V}{\lambda}, \quad (14)$$

其中 $\lambda = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n v_{i-j}$.

step 4: 通过式(15)构造综合重要性矩阵

$$T = (t_{i-j})_{n \times n} = \lim_{l \rightarrow \infty} (G^1 + G^2 + \dots) = G(I - G)^{-1}. \quad (15)$$

其中 t_{i-i} 是管理变量 C_i 的自身重要性系数, t_{i-j} ($i \neq j$) 是管理变量 C_i 对 C_j 的综合影响强度系数 (直接影响强度与间接影响强度之和).

step 5: 计算各管理变量综合重要性系数 r_i 与被影响系数 c_j , 即

$$r_i = \sum_{j=1}^n t_{ij}, \quad (16)$$

$$c_j = \sum_{i=1}^n t_{ij}, \quad i \neq j. \quad (17)$$

其中: r_i 是管理变量 C_i 自身重要性系数与该变量对其他变量影响强度系数的总和, 表示 C_i 在系统中的综合重要性; c_j 是管理变量 C_j 受到其他管理变量影响强度系数的总和, 表示 C_j 在系统中的被影响强度. 由此, 还可进一步得到 C_i 的原因度 $f_i = r_i - t_{i-i} - c_j$ ($i = j$), 表示变量隶属于原因因素或结果因素的程度, 若 $f_i > 0$, 则 C_i 为原因因素, 反之为结果因素.

2.3 组织管理漏洞识别

组织管理漏洞识别需要以管理变量测度、变量之间的影响关系为基础. 变量之间的影响关系在上节内容中已确定, 管理变量测度则采用三角模糊数进行表示. 组织管理漏洞识别方法具体如下.

step 1: 邀请专家在充分了解组织管理现状的基础上,通过表2对管理变量的实施效果进行评判,进而构造管理变量测度矩阵

$$M^k = (mc_1^k, mc_2^k, \dots, mc_n^k). \quad (18)$$

表2 管理变量测度模糊语言标度

管理变量测度等级	特征描述	三角模糊数
不合格	责权划分不清,执行效果较差	(0, 0, 1)
合格	责权划分相对明确,工作表现为程序化、制度化、纪律化,执行效果基本满足实际要求,但系统性、协调性较低,易受其他因素干扰	(0, 1, 2)
较好	责权划分清晰,工作趋于规范化,与实际贴合程度及量化程度较高,执行效果较好	(1, 2, 3)
优	较好等级基础上,相关人员安全主动参与度较高,信息化管理程度较高,且不断更新优化	(2, 3, 3)

若多位专家对同一变量的评判结果最大偏差为1个等级,则评判结果可接受;若最大偏差不低于2个等级,则应进行结果反馈与征询消除理解差异.其中 mc_i^k 是第 k 位专家给出管理变量 C_i 的评判结果.同式(3)~(10)的计算方法,集成专家群组意见,得出管理变量综合测度矩阵

$$M = (mc_1, mc_2, \dots, mc_n). \quad (19)$$

step 2: 结合矩阵 M 中管理变量综合测度的整体现状设定改进标准界限 δ ,即当 $mc_i < \delta$ 时,相应管理变量需要改进.为保证组织安全管理体系的稳步改进,改进标准界限不宜过高.

step 3: 对比管理变量综合测度与改进标准界限,确定需要改进的管理变量;然后依据变量间的影响关系,检查待改进变量的前置变量,识别其中是否存在

在导致影响关系作用不足的管理漏洞.

2.4 控制策略及措施确定

控制策略是改善组织不安全行为管理水平的重要对策,需把控如下要点:1)对不安全行为组织管理漏洞不存在任何容忍空间,不能因某管理变量重要性较小,忽视其改进工作.2)与末尾变量影响距离越近的管理变量,其改进措施的时效性相对更高,所以直接影响人员综合安全状态的管理变量,其改进优先级应高于其他间接影响的变量.控制策略的制定方法具体如下.

step 1: 在综合影响矩阵 V 中,若 v_{i-n} 数值不为0,则其对应的管理变量 C_i 为直接影响变量ZC;若 v_{i-n} 数值为0,则其对应的管理变量为间接影响变量JC.

step 2: 先后确定待改进管理变量中ZC与JC的改进次序.借鉴重要性——绩效分析方法^[26],认为管理变量的综合重要性 r 与改进次序呈正相关,综合测度 mc 与改进次序呈负相关,由此提出改进次序评价算子

$$IP_i = \frac{r_i}{mc_i}, \quad (20)$$

IP越大说明管理变量的改进优先级越高.

控制策略制定后,还需以针对性、可操作性、高效性为原则,在对工作内容与方式充分研究的基础上,确定控制措施.

3 案例分析及讨论

以国内某核电站工程项目的组织安全管理体系为对象构建其不安全行为组织管理的控制模型.首先邀请到5位专家:项目经理、安全生产负责人、安全管理人员、作业人员代表、研究人员,各1名,对不安全行为的管理变量及控制要点会商研判,形成一致认可的清单,见表3.

表3 不安全行为管理变量及相应前置变量

序号	管理变量	符号	控制要点	前置变量
1	安全文化理念	C_1	安全文化理念在工作中的融合;安全文化理念认同程度;安全文化理念宣传	—
2	安全管理制度与规程	C_2	安全管理制度;操作规程	C_1
3	安全管理机构作用	C_3	安全管理机构能力;安全员话语权;安全委员会作用	$C_1 C_2 C_5 C_7$
4	安全投入	C_4	安全投入比例;人员;资金;物品;时间	$C_2 C_3$
5	安全教育培训	C_5	安全意识教育;安全知识教育;安全技能培训	$C_2 C_3 C_4 C_6$
6	安全监督与考核	C_6	监督内容;监督方式;监督记录及分析;奖励(奖金、荣誉、晋升机会等);惩罚(罚款、批评、职务调整等)	$C_2 C_3 C_4 C_7$
7	管理者行为	C_7	管理者基本素质;管理承诺;冲突控制;组织公平;对员工的尊重与支持	$C_1 C_2 C_3 C_5 C_6$
8	沟通与安全信息	C_8	沟通方式;沟通渠道;安全经验反馈与交流;安全信息构成;安全信息传播;安全信息更新	$C_1 C_2 C_3 C_5 C_7$
9	技术交底	C_9	操作程序交底;危险源识别交底;人员防护交底;应急处理交底	$C_2 C_5 C_6$
10	作业环境	C_{10}	安全设施;安全标识;作业环境资源配备与便捷性(空间、流线、照明、空气、噪声等)	$C_2 C_4 C_5 C_6 C_{12}$
11	技术设备水平	C_{11}	操作难度;人机匹配;安全智能程度;设备故障应急说明	$C_2 C_4 C_6$
12	工作及安排	C_{12}	工作计划与方案;人职匹配;工作危险性及风险管理;工作资源配备与人员防护配备;作业强度(身体负荷、时间压力)	$C_2 C_3 C_5 C_6 C_7 C_8$
13	人员综合安全状态	C_{13}	安全意识;安全知识与技能;生理状态;心理状态	$C_5 \sim C_{12}$

$$V = \begin{bmatrix} 3.573 & 2.453 & 2.632 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 3.143 & 2.857 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 3.757 & 3.234 & 2.231 & 2.227 & 2.843 & 2.514 & 2.254 & 2.714 & 2.357 & 1.947 & 2.157 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 3.713 & 2.533 & 2.413 & 3.434 & 2.741 & 3.217 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 2.862 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 3.695 & 2.634 & 2.527 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 3.233 & 2.251 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 2.451 & 0.000 & 2.514 & 0.000 & 2.673 & 2.457 & 2.214 & 1.734 & 0.000 & 1.873 & 2.732 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 2.318 & 3.491 & 2.423 & 0.000 & 2.573 & 2.673 & 1.872 & 1.814 & 2.875 \\ 0.000 & 0.000 & 3.038 & 0.000 & 0.000 & 3.143 & 3.654 & 3.324 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 2.757 & 2.532 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 3.134 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.412 & 2.243 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 2.451 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.654 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 3.580 & 0.000 & 0.000 & 3.214 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 2.575 & 0.000 & 1.875 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 2.614 & 0.000 & 3.428 & 2.837 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 3.755 \end{bmatrix},$$

$$T = \begin{bmatrix} 0.021 & 0.015 & 0.017 & 0.000 & 0.000 & 0.001 & 0.020 & 0.018 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.001 & 0.017 \\ 0.000 & 0.022 & 0.020 & 0.014 & 0.014 & 0.018 & 0.016 & 0.015 & 0.017 & 0.015 & 0.012 & 0.014 & 0.002 \\ 0.000 & 0.000 & 0.023 & 0.015 & 0.015 & 0.021 & 0.017 & 0.020 & 0.001 & 0.001 & 0.000 & 0.016 & 0.001 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.022 & 0.016 & 0.015 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.020 & 0.014 & 0.000 & 0.001 \\ 0.000 & 0.000 & 0.015 & 0.000 & 0.015 & 0.000 & 0.016 & 0.015 & 0.013 & 0.011 & 0.000 & 0.012 & 0.017 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.014 & 0.021 & 0.015 & 0.001 & 0.016 & 0.016 & 0.011 & 0.011 & 0.019 \\ 0.000 & 0.000 & 0.019 & 0.000 & 0.001 & 0.020 & 0.022 & 0.021 & 0.000 & 0.001 & 0.000 & 0.017 & 0.016 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.019 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.009 & 0.014 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.014 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.010 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.021 & 0.000 & 0.000 & 0.019 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.015 & 0.000 & 0.011 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.016 & 0.000 & 0.020 & 0.017 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.022 \end{bmatrix}.$$

请专家依据表1对管理变量自身重要性、变量之间的影响强度进行评判,得到模糊自身重要性矩阵 H^{1k} 与模糊直接影响矩阵 H^{2k} ,然后通过式(3)~(13)得到综合影响矩阵 V ,再通过式(14)~(15),得到综合重要性矩阵 T ,从而得到管理变量的综合重要性系数 r ,见表4.通过综合影响矩阵 V ,可明确各管理变量的前置变量,同时可知 $C_1 \sim C_4$ 属于间接影响变量JC, $C_5 \sim C_{13}$ 属于直接影响变量ZC,见表3.

表4 管理变量WINGS算法分析结果

变量	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
r	0.110	0.179	0.130	0.088	0.114	0.124	0.117
c	0.000	0.015	0.070	0.029	0.060	0.074	0.084
f	0.89	0.142	0.037	0.037	0.039	0.029	0.011
变量	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	
r	0.042	0.024	0.040	0.026	0.053	0.022	
c	0.89	0.047	0.080	0.037	0.080	0.144	
f	-0.066	-0.037	-0.061	-0.026	-0.047	-0.144	

由表4可知,管理变量 $C_1 \sim C_7$ 的综合重要性系数隶属于区间 $[0.088, 0.179]$,相对较高,且原因度 f 均为正,属于原因因素; $C_8 \sim C_{13}$ 的综合重要性系数隶属于区间 $[0.022, 0.053]$,相对较低,且原因度 f 均为负,属于结果因素;由此说明原因因素的综合重要性远高于结果因素.同时,起始管理变量安全文化理念 C_1 的被影响度为0,说明其不受其他变量的影响;末尾管理变量人员综合安全状态 C_{13} 的被影响度最高,说明其对前置变量的依赖性最强.

为进一步验证所采用方法的合理性,现对管理变量自身重要性与综合重要性的排名进行对比分析(图4),其中管理变量自身重要性的排名是依据综合影响矩阵 V 中主对角线元素的大小确定.由图4可知,人员综合安全状态 C_{13} 排名变化最大,由第2名下降为第13名,这是因为该变量本身对不安全行为具有直接显著的影响,但在考虑变量间影响关系后,其大部分重要性被转移给众多前置变量;安全投入 C_4

由第4名下降为第7名,说明安全投入虽然重要,但有一部分变量对安全投入的需求并不大,如管理者行为、技术交底等;作业环境 C_{10} 由第6名下降为第10名,这是因为作业环境主要依赖于制度规程、监督与考核等其他变量的影响;安全教育培训 C_5 由第12名上升为第5名,安全监督与考核 C_6 由第8名上升为第3名,其原因在于大部分变量需要通过安全教育培训进行知识传递与引导,通过安全监督与考核来确保工作实施效果,二者对其他变量的影响较大。

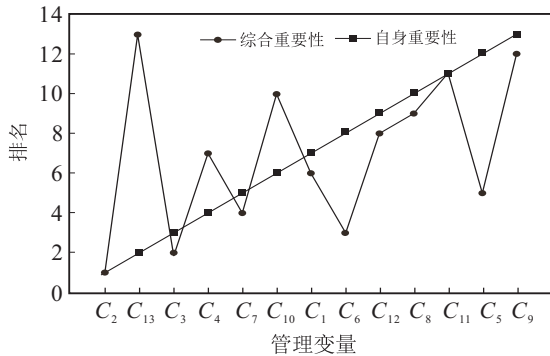


图4 综合重要性与自身重要性排名对比

上述分析说明变量之间的影响关系对变量重要性的确定有显著影响,通过WINGS算法确定的管理变量排名更加符合实际,有助于管理人员从系统角度更加客观地看待各变量的作用,并对变量之间的影响关系予以充分地重视,由此验证了所采用方法的科学性与可靠性。

请专家根据管理变量的控制要点,结合核电站工程项目安全管理实际,对管理变量进行测度评判,得到测度矩阵 M^k ,然后通过式(3)~(10)得到各管理变量的综合测度 mc ,见表5。可知该核电站工程项目各管理变量的综合测度处于区间[1.5, 2.0]内,整体现状较好。为稳步改进,经专家商议设定改进标准界限 $\delta = 2.0$ 。

表5 管理变量综合测度

变量	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
mc	1.867	1.854	2.237	2.142	1.741	2.195	2.254
变量	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	
mc	1.871	2.275	1.835	2.464	1.873	2.157	

为清晰表征组织安全管理的现状,绘制出综合重要性-综合测度雷达图,其中从 C_2 顺时针至 C_{13} ,各管理变量的综合重要性依次减小,见图5。分析可知,安全管理机构作用、安全投入、安全监督与考核、管理者行为4个变量的综合重要性与综合测度均较高,成为

组织管理优势;技术交底、技术设备水平2个变量的综合重要性较低,但综合测度较高,说明二者能够良好满足安全生产需要,保持现状即可;末尾变量人员综合安全状态的综合测度较高,说明现有组织安全管理工作总体取得了较好的成效。同时,可确定出需要改进的变量,其中,直接影响变量为 C_5 、 C_{12} 、 C_8 、 C_{10} ;间接影响变量为 C_1 、 C_2 。现结合实际与相应的前置变量,进行组织管理漏洞识别,结果如下:

- 1)项目安全教育培训的内容针对性较差且形式单一,其前置变量中安全管理机构对安全教育培训的重视程度不足;
- 2)工作及安排方面,主要存在工作风险识别不够细致且赶工期间易出现部分工种作业强度偏高的问题,其前置变量中安全监督与考核工作对作业强度的检查力度不足;
- 3)沟通与安全信息方面,一线人员缺乏高效的安全信息反馈渠道与更新机制,导致项目安全信息更新与流通较为滞缓,其前置变量中安全管理制度未对安全信息反馈与更新做出明确的规定;
- 4)作业环境方面,存在部分区域电源配置不足、狭窄作业空间降尘降噪措施不足的问题,其前置变量中安全监督与考核工作对此类问题的重视程度不足;
- 5)安全管理制度与规程方面,主要存在工作标准不够细化的问题;
- 6)虽然现有安全文化理念的认同程度较高,但存在宣传不足的问题。

以上结果还说明,安全监督与考核 C_6 的综合测度虽然较高,但其部分工作存在不足,这些不足未能良好地助推变量 C_{10} 、 C_{12} 的工作效果,也应作为组织管理漏洞进行改进。

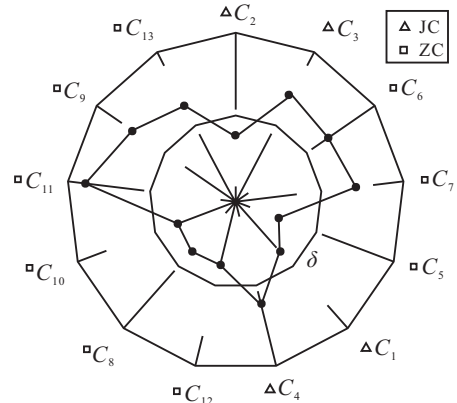


图5 综合重要性-综合测度雷达图

通过IP算子分析(表6),可得管理变量的改进次序为 $C_5 > C_{12} > C_8 > C_{10} > C_2 > C_1$,可依次确定

各管理变量及其前置变量漏洞的改进措施.经反馈,采用CMOMUB,对组织管理漏洞的识别未因某单个变量综合测度较高而忽略其存在的不足;确定的管理变量改进次序兼顾考虑了变量的综合重要性与控制措施的时效性,完全符合该核电工程项目不安全行为的组织管理实际.

表6 待改进管理变量优先级分析

变量	ZC			JC		
	C ₅	C ₁₂	C ₈	C ₁₀	C ₂	C ₁
IP	0.063	0.029	0.023	0.022	0.098	0.051

4 结论

1) 基于管理变量之间的影响关系,对前置变量管理漏洞的识别,能够避免因某单个变量测度较高而忽略其存在不足的问题,使管理漏洞识别更加全面.

2) 三角模糊数与WINGS算法的结合,能够实现变量自身重要性与变量间影响强度的融合,结果可准确反映变量在组织管理体系中的位置与作用.

3) 直接影响变量的改进次序优先于间接影响变量,有助于及时提高人员综合安全状态,进而实现对不安全行为的高效控制.

4) 提出的改进次序评价算子,考虑了管理变量的综合重要性与综合测度,使控制措施的次序安排更加符合管理实际,降低了控制措施实施的盲目性.

进一步反映组织管理体系运行过程中变量间影响关系的涌现性与突变性,是下一步的研究方向.

参考文献(References)

[1] Haslam R A, Hide S A, Gibb A G F, et al. Contributing factors in construction accidents[J]. Applied Ergonomics, 2005, 36(4): 401-415.

[2] 张洪,王凯,曾宏. 钻井井喷事故人因失误特征分析和对策[J]. 天然气工业, 2010, 30(8): 98-104. (Zhang H, Wang K, Zeng H. Feature analysis and countermeasures of human error in drilling blowout incidents[J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(8): 98-104.)

[3] Chen H, Qi H, Long R, et al. Research on ten-year tendency of China coal mine accidents and the characteristics of human factors[J]. Safety Science, 2012, 50(4): 745-750.

[4] Kharoufah H, Murray J, Baxter G, et al. A review of human factors causations in commercial air transport accidents and incidents: from to 2000-2016[J]. Progress in Aerospace Sciences, 2018, 99: 1-13.

[5] Oliver A, Cheyne A, Tomas J M, et al. The effects of organizational and individual factors on occupational

accidents[J]. Journal of Occupational and Organizational Psychology, 2002, 75(4): 473-488.

[6] Reason J. Safety in the operating theatre — Part 2: Human error and organisational failure[J]. Current Anaesthesia & Critical Care, 2005, 1(6): 56-60.

[7] 傅贵,殷文韬,董继业,等. 行为安全“2-4”模型及其在煤矿安全管理中的应用[J]. 煤炭学报, 2013, 38(7): 1123-1129. (Fu G, Yin W T, Dong J Y, et al. Behavior-based accident causation: The “2-4” model and its safety implications in coal mines[J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(7): 1123-1129.)

[8] 张蕾,段晓红,牛天勇,等. 基于脆弱性分析的隧道施工安全管理问题研究[J]. 安全与环境学报, 2017, 17(5): 1863-1868. (Zhang L, Duan X H, Niu T Y, et al. Study on the tunnel construction safety engineering management based on the vulnerability analysis[J]. Journal of Safety and Environment, 2017, 17(5): 1863-1868.)

[9] Michnik J. Weighted influence non-linear gauge system (WINGS)—An analysis method for the systems of interrelated components[J]. European Journal of Operational Research, 2013, 228(3): 536-544.

[10] 佟瑞鹏,陈策,杜志托. 煤矿组织安全行为结构分析与实证研究[J]. 中国安全科学学报, 2015, 25(12): 93-98. (Tong R P, Chen C, Du Z T. Analysis of and empirical research on structure of coal mine organizational safety behavior[J]. China Safety Science Journal, 2015, 25(12): 93-98.)

[11] 潘科,王洪德,石剑云. 多级可拓评价方法在地铁运营安全评价中的应用[J]. 铁道学报, 2011, 33(5): 14-19. (Pan K, Wang H D, Shi J Y. Application of multi-level extensible method to urban subway operation safety evaluation[J]. Journal of the China Railway Society, 2011, 33(5): 14-19.)

[12] 朱清明. 航运企业安全管理体系有效性评价研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2015, 11(6): 189-196. (Zhu Q M. Study on the effectiveness evaluation of SMS for shipping enterprise[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2015, 11(6): 189-196.)

[13] 于广涛,王二平. 安全文化的内容、影响因素及作用机制[J]. 心理科学进展, 2004, 12(1): 87-95. (Yu G T, Wang E P. Safety culture’s contents, causes and working mechanism[J]. Advances in Psychological Science, 2004, 12(1): 87-95.)

[14] Coyle I R, Sleemans S D, Adams N. Safety climate[J]. Journal of Safety Research, 1995, 26(4): 247-254.

[15] 张江石,傅贵,郭启明,等. 不安全行为的预控方法[J]. 煤炭学报, 2012, 37(S2): 373-377. (Zhang J S, Fu G, Guo Q M, et al. The pre-controlling

- measures on unsafe behavior[J]. *Journal of China Coal Society*, 2012, 37(S2): 373-377.)
- [16] 曹庆仁, 李凯, 李静林. 管理者行为对矿工不安全行为的影响关系研究[J]. *管理科学*, 2011, 24(6): 69-78.
(Cao Q R, Li K, Li J L. Impact of manager's behavior on coalminer's unsafe behavior[J]. *Journal of Management Science*, 2011, 24(6): 69-78.)
- [17] Vinodkumar M N, Bhasi M. Safety management practices and safety behaviour: Assessing the mediating role of safety knowledge and motivation[J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2010, 42(6): 2082-2093.
- [18] Buxbaum O. The S-O-R-model[M]. Berlin: Springer International Publishing, 2016: 1-32.
- [19] Glendon A I, Litherland D K. Safety climate factors, group differences and safety behaviour in road construction[J]. *Safety Science*, 2001, 39(3): 157-188.
- [20] 万百五, 韩崇昭, 蔡远利. 控制论: 概念、方法与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2014: 21-32.
(Wan B W, Han C Z, Cai Y L. *Cybernetics: Concepts, methods and applications*[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2014: 21-32.)
- [21] Tamura H, Akazawa K. Stochastic DEMATEL for structural modeling of a complex problematique for realizing safe, secure and reliable society[J]. *Journal of Telecommunications & Information Technology*, 2005, 4: 139-146.
- [22] 孙永河, 韩玮, 段万春. 复杂系统DEMATEL算法研究进展评述[J]. *控制与决策*, 2017, 32(3): 385-392.
(Sun Y H, Han W, Duan W C. Review on research progress of DEMATEL algorithm for complex systems[J]. *Control and Decision*, 2017, 32(3): 385-392.)
- [23] 孙永河, 李春好, 谢晖, 等. 模糊WINGS视角下的ANP加权矩阵新构造方法[J]. *计算机工程与应用*, 2014, 50(12): 26-32.
(Sun Y H, Li C H, Xie H, et al. New construction method for ANP cluster—weighted matrix from view of fuzzy WINGS [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2014, 50(12): 26-32.)
- [24] Wu W. Segmenting critical factors for successful knowledge management implementation using the fuzzy DEMATEL method[J]. *Applied Soft Computing Journal*, 2012, 12(1): 527-535.
- [25] Opricovic S, Tzeng G H. Defuzzification within a multicriteria decision model[J]. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge—Based Systems*, 2003, 11(5): 635-652.
- [26] Chang R D, Zuo J, Soebarto V, et al. Discovering the transition pathways toward sustainability for construction enterprises: Importance-performance analysis[J]. *Journal of Construction Engineering & Management*, 2017, 143(6): 04017013.

作者简介

郭海东(1991—), 男, 博士生, 从事土木工程安全管理与控制、系统工程决策的研究, E-mail: ghdspace@163.com;

李慧民(1954—), 男, 教授, 博士生导师, 从事土木工程建造与管理等研究, E-mail: li_huimin2005@126.com;

陈旭(1974—), 男, 副教授, 从事土木工程建造与管理等研究, E-mail: 13152435566@163.com;

袁鹏飞(1988—), 男, 工程师, 从事土木工程建造与管理等研究, E-mail: yuanpf@cni24.cn.

(责任编辑: 孙艺红)