

建筑安全管理绩效评价的集对分析研究

李 华^{1,2,3}, 钟兴润^{1,3}

(1. 西安建筑科技大学材料与矿业学院, 陕西 西安 710055; 2. 西安科技大学能源学院, 陕西 西安 710054;
3. 西部建筑科技国家重点实验室(筹), 陕西 西安 710055)

摘 要: 为了有效评价和控制建筑企业安全管理工作, 根据建筑企业生产过程要素和大量事故调查报告, 建立了建筑安全管理绩效评价指标体系. 结合专家打分法和加权平均法确定指标及其分值, 应用集对分析中的同异反联系度、同异反态势排序表和同异反分析法, 建立以联系度为核心的建筑企业安全管理绩效评价的同异反模型. 充分考虑了评价系统中的确定与不确定因素, 对 6 家建筑企业的安全管理状况进行分析评价. 实例分析结果表明, 该方法和评价模型简单实用, 对于政府管理部门分级监管提供了重要依据.

关键词: 建筑安全管理; 绩效评价; 集对分析法; 态势分析

中图分类号: X96

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2012)03-0431-04

建筑行业由于多工种、交叉作业、人员结构复杂等特点, 近年来, 安全问题的数量和概率居高不下. 据统计, 在我国每年的生产事故中, 建筑业死亡及重伤率约占了总数的 23%, 造成直接经济损失逾百亿元, 间接经济损失更是难以估量, 致使建筑业成为我国所有工业部门中危险性仅次于采矿业的行业^[1]. 建筑企业的安全管理工作已纳入我国安全生产“十二五”规划之中, 如何提高建筑安全管理的绩效一直是政府、企业和学界关注的问题.

1 建筑企业安全管理绩效研究回顾

为了有效预防和控制建筑企业事故的发生, 提高安全管理工作水平, 近年来国内外诸多学者对建筑安全管理绩效评价展开一系列研究, 西安建筑科技大学的李成华等人将层次分析法和三角模糊数相结合提出了可以对建筑企业的安全管理绩效进行多准则实时评价的模糊层次法模型^[2]; 清华大学的邢益瑞等人综合应用比较分析、数据挖掘、网络层次分析法和超级决策软件, 建立了建筑安全管理绩效评价框架^[3]; 天津财经大学理工学院的吕景刚等人从管理者的视角构建了建筑企业安全管理评价指标体系, 建立了运用遗传算法结合模糊隶属赋值方法的模糊综合评价模型^[4], METIN Dagdevire 等人运用模糊层次分析法对安全管理中的行为问题展开研究^[5]. 因此, 从现有文献的研究重点不能看出, 在基于层次分析法对各因素权重进行综合评判的同时, 在选择一种能够减少专家判断的模糊性、不确定性的方法. 我国学者赵克勤教授在 20 世纪 80 年代末提出了一种新的不确定性理论, 运用集对分析理论可把对不确定性的辩证认识转换成具体的数学问题^[6], 并被很多学者应用在了生态环境系统^[7]、预警机系统^[8]等领域, 取得了较好的应用效果.

本研究基于戴明环管理理念和文献^[2-5]建立的建筑企业安全管理绩效评价体系的基础上, 引入集对分析理论的同异反态势分析方法, 系统分析和处理确定与不确定因素, 建立了同异反模型, 应用集对分析中的同异反态势排序法对 6 家建筑企业的安全管理状况进行了全面评价.

2 集对分析理论

2.1 集对分析理论原理

集对分析方法的基本思路是在一定的问题背景下对 1 个集合对子的特性展开分析, 再找出 2 个集

收稿日期: 2011-10-19 修改稿日期: 2012-05-20

作者简介: 李 华(1979-), 女, 陕西西安人, 博士研究生, 讲师, 主要从事职业安全卫生评价与控制及应急管理方面的研究.

合所共有的特性、对立的特性和既非共有又非对立的差异特性,由此建立起2个集合在指定问题背景下的同异反联系度表达式 μ ,并可推广到由2个以上集合组成的系统^[6].

联系度是集对分析的一个重要概念,可以全面系统地刻画所要研究集对之间的同异反联系.在一定具体问题背景 W 下,对由2个给定的集合组成的集对 $H=(A,B)$ 的特性展开分析,假设共有 N 个特性总数,其中有 S 个特性是集对 H 中2个集合 A 和 B 共同具有的;有 P 个特性为2集合相互对立的;有 F 个特性是既非2集合共同具有又非相互对立的,即 $F=N-S-P$,则同异反联系度 μ 可表示为

$$\mu = \frac{S}{N} + \frac{F}{N}i + \frac{P}{N}j \tag{1}$$

令 $S/N=a, F/N=b, P/N=c$,分别称为给定2个集合在指定问题背景下的同一度、差异度、对立度,通称为联系度分量,则式(1)可简写为

$$\mu = a + bi + cj \tag{2}$$

式中 $a, b, c \in [0, 1]$,为实数, a, c 相对确定, b 相对不确定,且满足归一化条件 $a + b + c = 1$; i 为差异度系数且 $i \in [-1, 1]$,主要体现研究系统的不确定性, i 越接近0表明系统所包含的不确定性信息越少; j 为对立度系数,规定其恒取值为 -1 ^[6],以表示对立度 P/N 与同一度 S/N 是相反的; $\mu \in [-1, 1]$.

表1 态势级别与排序

Tab.1 Situation sort and ordering table

Number	Relationship of a, b and c	Set-Pair-Trends	Degree of Set-Pair-Trends
1	$a > c, b = 0$	Super similar Set-Pair-Trends	I
2	$a > c, a > c > b$	Strong similar Set-Pair-Trends	Similar II
3	$a > c, a > b > c$	Weak similar Set-Pair-Trends	SPT III
4	$a > c, b > a > c$	Slight similar Set-Pair-Trends	IV
5	$a = c, b = 0$	Super balance Set-Pair-Trends	I
6	$a = c, a > b > 0$	Strong balance Set-Pair-Trends	Similar II
7	$a = c, b = a$	Weak balance Set-Pair-Trends	SPT III
8	$a = c, b > a$	Slight balance Set-Pair-Trends	IV
9	$a < c, b = 0$	Super contrary Set-Pair-Trends	I
10	$a < c, b < a < c$	Strong contrary Set-Pair-Trends	Similar II
11	$a < c, a < b < c$	Weak contrary Set-Pair-Trends	SPT III
12	$a < c, a < c < b$	Super contrary Set-Pair-Trends	IV

2.2 态势级别分析

“势”仅仅是 a (同一度)和 c (对立度)的比较,这种“同一”或“对立”的态势是否是主要的趋势,还需要借助 b (即“差异”度)的大小来讨论,因此产生了对态势级别的划分及对势序的排列.根据 a, b, c 的大小,同异反联系的态势可按表1进行排序^[9].

3 同异反态势模型分析

3.1 建筑企业安全管理绩效指标体系设计

建筑企业安全管理绩效指标体系的设计采用国家标准^[10]、相关文献^[1-5]和专家意见相结合的方法,基于戴明环的安全管理模式展开分析,建立了包括政策、规划、组织、执行、控制和文化六个方面的建筑企业安全管理绩效评价体系.具体体系结构设计见表2所示.

调查数据以天津市6个建筑施工企业的安全管理现状的评分值为依据^[4],采用专家打分法,确定各二级指标权重,并运用加权平均的方法得出一级指标评分值,6个建筑企业的相关数据见表2所示.

表2 安全管理绩效指标体系及其评分值

Tab.2 Safety management performance index system and the scores for each index

Index	Company1	Company2	Company3	Company4	Company5	Company6
Policy elements B_1	96	88	92	94	93	85
Planning elements B_2	93	83	93	93	90	79
Organizational elements B_3	95	83	89	93	90	82
Implementation elements B_4	92	78	89	94	93	79
Control elements B_5	94	81	87	95	91	74
Cultural elements B_6	94	68	84	88	80	70

3.2 基于同异反态势的企业排序分析

依据《施工企业安全生产评价标准》(JGJ/T 77-2003)进行建筑施工现场的安全管理状况评价,结合专家咨询法,应用集对分析方法,现将表 1 中的 6 项评价指标值划分为 3 个级别.评价标准分别是:Ⅰ类标准为 85 分~100 分表示安全管理状况良好,作为同一度;Ⅱ类标准为 70 分~84 分表示安全管理状况一般并需要改进,作为差异度的取值依据;Ⅲ类标准为 69 分以下表示安全管理存在隐患并需检查整顿,作为对立度的取值依据.

运用集对分析理论,约定实际指标评分值为良好的属同,实际指标评分值为一般的属异,实际指标评分值表明存在隐患

的属反.统计评价指标的同异反数目的同异反数目,即得到这 6 家企业关于各评价指标的同异反联系度表达式如表 3 所示.根据上述同异反态势分析结果可知:

表 3 态势分析结果

Tab.3 Result of situation analysis

Number	Connection degree	Mutual relations	Set-Pair-Trends	Degree
1	$\mu_1 = 1+0i+0j$	$a>c, b=0$	Super similar Set-Pair-Trends	I
2	$\mu_2 = 1/6+2/3i+1/6j$	$a=c, b>a$	Slight balance Set-Pair-Trends	IV
3	$\mu_3 = 5/6+1/6i+0j$	$a>c, a>b>c$	Weak similar Set-Pair-Trends	III
4	$\mu_4 = 1+0i+0j$	$a>c, b=0$	Super similar Set-Pair-Trends	I
5	$\mu_5 = 5/6+1/6i+0j$	$a>c, a>b>c$	Weak similar Set-Pair-Trends	III
6	$\mu_6 = 1/6+5/6i+0j$	$a>c, b>a>c$	Slight similar Set-Pair-Trends	IV

1)上述 6 个企业联系度表达式中,最大同一度 $a_{max} = 1$,最小同一度 $a_{min} = 1/6$.就同一度而言,能够完全确定的同一度为 1 的有企业 1 和 2,可见这两个建筑企业安全管理现状良好.由 $\mu_1 = \mu_4 = 1+0i+0j$ 中 $a > c, b = 0$,可判断 μ_1 和 μ_4 处于准同势的 I 级.

2)根据集对分析理论关于差异度系数 i 和对立度系数 j 的定义,当 $i = 0, j = -1$ 时,按联系度大小确定各建筑企业安全管理现状的优劣次序为 $\mu_1 = \mu_4 > \mu_3 = \mu_5 > \mu_6 > \mu_2$.

3) μ_1 和 μ_4 均处于准同势级(第 I 级), μ_3 和 μ_5 均处于弱同势级(第 III 级), μ_6 则处在微同势级(第 IV 级)上,而 μ_2 则处在微均势级(第 IV 级)上.由于同异反态势发生了很大跃迁,显而易见它们之间存在着显著性差异.

4)对 6 家企业的同异反分析表明,建筑企业 1 和 4 的安全管理状况良好,建筑企业 3、5 和 6 的安全管理状况一般并需要改进,而建筑企业 2 的安全管理状况存在隐患急需检查整顿.

4 结 论

集对分析理论充分利用评价系统中所包含的不确定性信息,是一种将定性定量相结合的评价方法.本文应用集对分析中的同异反联系度、同异反态势排序表和同异反分析法,建立以联系度为核心的建筑企业安全管理绩效评价的同异反模型.充分考虑了评价系统中的确定与不确定因素,从不同角度揭示出了蕴含在统计数据中的相关信息,从不同侧面开展研究,互相补充,相互佐证,有利于更全面地客观认识和评价研究对象.实例评价结果显示,这 6 个建筑企业安全管理现状存在一定差异,2 家企业良好,3 家企业一般需要改进,1 家企业存在隐患急需检查整改,这为政府监管部门实现分级监管工作提供重要参考.

参考文献 References

[1] 李成华. 基于流程与实施的建筑安全管理体系研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2010.
LI Cheng-hua. Research on the System of Construction Safety Management Based on Process and Implement [D]. Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. & Tech.,2010.

[2] 李成华,李慧民,云小红. 基于模糊层次分析法的建筑安全管理绩效评价研究[J]. 西安建筑科技大学学报:自然科学版,2009,41(2):207-212.
LI Cheng-hua, LI Hui-min, YUN Xiao-hong. Construction safety management performance evaluation based on fuzzy analytic hierarchy process[J]. J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech. : Natural Science Edition, 2009, 41(2): 207-212.

[3] 邢益瑞,佟瑞鹏,张孟春. 基于 ANP 的建筑安全管理绩效评价框架研究[J]. 中国安全科学学报, 2010,20(4):110-115.
XING Yi-rui, TONG Rui-peng, ZHANG Meng-chun. ANP-based Research on Construction Safety Management

- Performance Evaluation Framework [J]. *China Safety Science Journal*, 2010, 20(4): 110-115.
- [4] 吕景刚, 李书全. 基于模糊综合评价的建筑安全管理研究[J]. *西安建筑科技大学学报: 自然科学版*, 2011, 43(6): 887-891.
LV Jing-gang, LI Shu-quan. Research on construction safety evaluation based on fuzzy comprehensive evaluation [J]. *J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech: Natural Science Edition*, 2011, 43(6): 887-891.
- [5] METIN Dagdeviren, IHSAN Yuksel. Developing a fuzzy analytic hierarchy process (AHP) model for behavior-based safety management [J]. *Information Sciences*, 2008, 178: 1717-1733.
- [6] 赵克勤. 集对分析及其初步应用[M]. 杭州: 浙江科技出版社, 2000.
ZHAO Ke-qin. Set pair analysis and its application [M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 2000.
- [7] 王洪光, 吴业明, 杨洁, 王国平. 工业企业经济和环境综合效益的集对分析[J]. *数学的实践与认识*, 2006, 36(1): 70-74.
WANG Hong-guang, WU Ye-ming, YANG Jie, WANG Guo-ping. Set Pair Analysis of Comprehensive Effect of Economy and Environmental on the Industrial Enterprises [J]. *数学的实践与认识*, 2006, 36(1): 70-74.
- [8] 郑东良, 黄文卿, 孙亮. 基于集对分析的预警机指挥多机编队空战态势评估[J]. *空军工程大学学报: 自然科学版*, 2008, 9(1): 9-13.
ZHENG Dong-liang, HUANG Wen-qing, SUN Liang. Aerial Combat Situation Assessment of Multi-group Aircraft under Command of AWACS Based on Set Pair Analysis [J]. *Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition*, 2008, 9(1): 9-13.
- [9] 苏宪程, 于小红, 唐小丰. 基于集对理论的空间战场态势定量分析[J]. *航天电子对抗*, 2009, 25(3): 12-16.
SU Xian-cheng, YU Xiao-hong, TANG Xiao-feng. Quantitative analysis of space battle field situation based on SPA [J]. *Aerospace Electronic Warfare*, 2009, 25(3): 12-16.
- [10] JGJ/T 77-2003, 施工企业安全生产评价标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
JGJ/T 77-2003, Standard of the work safety assessment for construction company [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2003.

Set pair analysis of the construction safety management performance evaluation

LI Hua^{1,2,3}, ZHONG Xing-run^{1,3}

- (1. College of Materials and Mineral Resources, Xi'an Univ. of arch. & Tech., Xi'an 710055, China;
2. School of Energy Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China;
3. State Key Laboratory of Architecture Science and Technology in West China(XAUAT), Xi'an 710055, China)

Abstract: In order to effectively evaluate and control the construction enterprise safety management, this paper established an evaluation index system of construction safety management performance according to the elements of the construction process and a large number of accidents investigation report. Combined with expert scoring method and weighted-average method to determine the indicators and their scores, applied IDC (identical discrepancy contrary) relation degree, situation ordering list of IDC and IDC analysis in set pair analysis, this paper established an IDC model of construction enterprise security management and performance evaluation, taking linkage degree as the core. Certain and uncertain factors of evaluation system are taken into account and the safety management performance of six construction enterprises are analysed and evaluated. The results show that the method and evaluation model are simple and practical, and could provide critical advices for government to supervise.

Key words: construction safety management; performance evaluation; set pair analysis; situation analysis