

文章编号:0253-9993(2011)10-1731-05

基于未确知测度理论的煤矿井下“六大系统”安全评价模型

吴凤东^{1,2} 胡乃联¹ 王长龙^{1,3}

(1. 北京科技大学 土木与环境工程学院 北京 100083; 2. 中国中煤能源集团有限公司 北京 100120; 3. 河北工程大学 土木工程学院 河北 邯郸 056038)

摘 要:通过分析“六大系统”的构成,给出了“六大系统”评价指标体系,构造了基于未确知测度理论的单指标测度函数评价模型,并通过信息熵确立指标的分类权重。结果表明,采用该方法得到的评价结果能够准确、客观、全面地反映安全评价的等级情况。

关键词:未确知测度理论;煤矿;六大系统;信息熵;分类权重

中图分类号:X913.4 **文献标志码:**A

Safety evaluation model of “six systems” in coal mine underground based on the unascertained measure theory

WU Feng-dong^{1,2}, HU Nai-lian¹, WANG Chang-long^{1,3}

(1. Civil & Environment Engineering School, University of Science & Technology Beijing, Beijing 100083, China; 2. China Coal Energy Co., Ltd., Beijing 100120, China; 3. School of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China)

Abstract: The evaluation indexes were given by analyzing the “six systems” constitute the evaluation model of single index measure function was set based on the unascertained measure theory, the weight of indexes classification was established by information entropy. The results show that the evaluation results can objectively reflect the safety evaluation degree.

Key words: the unascertained measure; coal mine; six systems; information entropy; the weight of index classification

为落实《国务院关于进一步强化企业安全生产工作的通知》(国发[2010]23号)精神和《金属非金属矿山安全规程》(GB 16423-2006),国家安全生产监督管理总局国家煤矿安全监察局下发了《关于建设完善煤矿井下安全避险“六大系统”的通知》(安监总煤装[2010]146号),通知要求所有煤矿井下要制定、实施和完善生产技术装备标准,建立坚实的技术保障体系,强制推行先进适用的技术装备;同时对建设完善煤矿井下安全避险“六大系统”提出了明确的目标任务和时间要求,强调逾期未安装的煤矿,要依法暂扣安全生产许可证和生产许可证^[1-3]。

“六大系统”的实施需要投入大量的资金,而目前关于煤矿“六大系统”的配置和检验标准还处于单一分模块的研究^[4-11],对“六大系统”统一定性研究的描述

鲜见报道。本文将构建煤矿“六大系统”未确知安全评价模型,用于“六大系统”的煤矿安全评价中。

1 “六大系统”及多层次评价指标体系的建立

1.1 六大系统

“六大系统”是国家安全生产监督管理总局国家煤矿安全监察局为了实现安全生产,提升煤矿安全保障能力,要求所有煤炭生产企业,必须建设完善的煤矿井下监测监控系统、人员定位系统、紧急避险系统、压风自救系统、供水施救系统和通信联络系统,简称安全避险“六大系统”。

1.2 “六大系统”安全评价指标体系

建立煤矿井下避险“六大系统”安全评价指标体

系应立足煤炭行业的实际情况,以实现煤矿系统安全为目的,采用系统工程的原理及方法建立一套结构齐全、内容丰富、操作方便的指标评价体系^[12],为制定

防范措施以及管理和决策提供科学依据。

煤矿企业“六大系统”多层次评价指标体系,见表 1。

表 1 “六大系统”安全评价指标体系
Table 1 The index system of safety evaluation of six systems

一级指标	二级指标	一级指标	二级指标
监测监控系统 F ₁	实时通讯 f ₁₁	紧急避险系统 F ₃	永久避难硐室 f ₃₁
	报警管理 f ₁₂		临时避难硐室 f ₃₂
	监控数据联网 f ₁₃		可移动式救生舱 f ₃₃
	视频监控联网 f ₁₄	压风自救系统 F ₄	空气压缩机 f ₄₁
	产量监测联网 f ₁₅		送气管路 f ₄₂
	矿井水监管 f ₁₆		阀门 f ₄₃
	开采区域监管 f ₁₇		汽水分离器 f ₄₄
	隐患事故管理 f ₁₈		压风自救装置 f ₄₅
	应急指挥 f ₁₉	供水施救系统 F ₅	清洁水源 f ₅₁
	安全监察 f ₁₁₀		供水管网 f ₅₂
	矿图管理 f ₁₁₁		三通 f ₅₃
	职工管理 f ₁₁₂		阀门 f ₅₄
	安全生产报表 f ₁₁₃		过滤装置 f ₅₅
	共享信息库 f ₁₁₄		供水系统其他必要设备 f ₅₆
人员定位系统 F ₂	构建网络信息发布及支撑平台 f ₂₁	通信联络系统 F ₆	调度通信系统 f ₆₁
	作业人员的自动考勤及超时报警 f ₂₂		广播通信系统 f ₆₂
	作业人员入井身份惟一性核实 f ₂₃		移动通信系统 f ₆₃
	作业人员动态分布及定位监控 f ₂₄		救灾通信系统 f ₆₄
	地面调度中心双向信号呼叫功能 f ₂₅		IP 电话通信系统 f ₆₅
	通过点检査功能,了解各岗位人员下井巡檢路线及到位情况 f ₂₆		
	作业人员靠近危险区域报警及事后跟踪管理 f ₂₇		
	车辆的实时定位和调度管理 f ₂₈		

将“六大系统”完善及实施安全按梯级理论划分为 5 个层次:① 很好;② 好;③ 一般;④ 较差;⑤ 差。本文在此基础上对“六大系统”完善及实施进行评价研究。

2 未确知测度模型

评价对象空间记作 X , 设有 x_1, x_2, \dots, x_n 表示 n 个待评价煤矿企业, 记作 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, 评价 $x_i (x_i \in X)$ 有 m 个需测量指标 I_1, I_2, \dots, I_m , 评价指标空间记为 $I = \{I_1, I_2, \dots, I_m\}$ 。设 x_{ij} 表示第 i 个样本 x_i 关于第 j 个指标 I_j 的观测值。每个观测值 x_{ij} 有 K 个评价等级构成研究对象 X 的评价空间, 记作 U , 则 $U = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$, 其中 $c_k (1 \leq k \leq K)$ 为第 k 个评价等级。

2.1 单指标未确知测度

设对象 x_i 关于指标 I_j 处于评价等级 c_k 的程度记为 u_{ijk} , 称 $u_{ijk} = u(x_{ij} \in c_k)$ 是对“程度”的测量结果, 作为一种测度, 它必须满足“非负有界性, 可加性, 归一性”3 条测量准则^[13-15]。即 u_{ijk} 满足

$$0 \leq u_{ijk} \leq 1 \quad (1)$$

$$u(x_{ij} \in U) = 1 \quad (2)$$

$$u | x_{ij} \in \bigcup_{l=1}^k c_l = \sum_{l=1}^k u(x_{ij} \in c_l) \quad (3)$$

其中 $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, K$ 。称满足上述 3 条测量准则的 u_{ijk} 为未确知测度, 简称测度。根据式 (1) ~ (3) 得到对象 x_i 的单指标测度评价矩阵, 见式 (4)。

$$(u_{ijk})_{m \times k} = \begin{bmatrix} u_{i11} & u_{i12} & \dots & u_{i1k} \\ u_{i21} & u_{i22} & \dots & u_{i2k} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ u_{im1} & u_{im2} & \dots & u_{imk} \end{bmatrix} \quad (4)$$

($i = 1, 2, \dots, n$)

2.2 指标权重的确定

对象 x_i 关于指标 I_j 的观测值 x_{ij} , 使对象处于 c_1, c_2, \dots, c_k 各评语等级的未确知测度为

$$u_j^i = (u_{ij1}, u_{ij2}, \dots, u_{ijk}) \quad (5)$$

设由测度 u_{ijk} 所确定的信息熵为

$$H(j) = - \sum_{k=1}^k u_{ijk} \lg u_{ijk} \quad (6)$$

令

$$V_j^i = 1 - \frac{1}{\lg K} H(j) = 1 + \frac{1}{\lg K} \sum_{k=1}^K u_{ijk} \lg u_{ijk} \quad (7)$$

式中, V_j 为指标 j 提供的信息量; k 为评价级别的数目。

$$\text{令 } W_j^i = \frac{V_j^i}{\sum_{j=1}^m V_j^i}, \text{ 显然}$$

$$0 \leq W_j^i \leq 1 \text{ 且 } \sum_{j=1}^m W_j^i = 1 \quad (8)$$

由信息熵的性质^[16-17] 结合式(8) 定义 w_j^i 是指标 I_j 关于 x_i 的分类权重 称

$$W^i = (w_1^i w_2^i \cdots w_m^i) \quad (9)$$

为指标 $I_1 I_2 \cdots I_m$ 关于 x_i 的分类权重向量。

2.3 综合评价系统

若关于 x_i 的单指标测度评价矩阵(4) 已知, 关于 x_i 的各指标分类权重为式(9)。令

$$u^i = W^i \cdot (u_{ijk})_{m \times k} = (w_1^i w_2^i \cdots w_m^i) \cdot \begin{bmatrix} u_{i11} & u_{i12} & \cdots & u_{i1k} \\ u_{i21} & u_{i22} & \cdots & u_{i2k} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ u_{im1} & u_{im2} & \cdots & u_{imk} \end{bmatrix}$$

$$u^i = (u_{i1} u_{i2} \cdots u_{ik}) \quad (10)$$

则 u^i 为 x_i 的评价向量, 它描述了不确定性分类, 为了得到确定性的分类, 需要进行识别。

2.4 置信度识别准则

当评价等级划分有序时, 最大隶属度识别准则已不再适用, 所以通常采用置信度识别准则。对正序划分, 设置信度为 λ ($\lambda > 0.5$) 通常取 0.6 或 0.7, 令

$$k_0 = \min_k \left| \sum_{l=1}^k \mu_{il} \geq \lambda \quad k = 1, 2, \cdots, K \right| \quad (11)$$

则判断 x_i 属于第 k_0 个评价等级 c_{k_0} 。其中 μ_{il} 是评价空间。

3 应用举例

根据上述未确知综合评价模型, 对河北邯郸市某煤矿进行安全综合评价。建立一个由 K 人组成的评判组, 每位专家给每一个评价因素的影响指标总共可打 100 分, 按自己的经验判断把 0 ~ 100 分别打给每一个影响指标。评价因素打分得到的结果见表 2。

根据表 2 的统计数据, 得到单指标测度矩阵 $\mu_{1jk} = (\mu_{1jk}^1 \mu_{1jk}^2)^T$, 其中,

表 2 专家打分结果

Table 2 The results of expert scoring

指标	很好	好	一般	较差	差	指标	很好	好	一般	较差	差
f ₁₁	20	43	27	10	0	f ₂₈	20	47	20	15	2
f ₁₂	40	20	25	10	5	f ₃₁	21	44	28	4	3
f ₁₃	20	55	15	5	5	f ₃₂	16	34	28	17	5
f ₁₄	18	30	32	18	2	f ₃₃	30	37	20	10	3
f ₁₅	40	35	15	5	5	f ₄₁	18	42	25	13	2
f ₁₆	25	50	10	10	5	f ₄₂	24	37	27	12	0
f ₁₇	30	50	10	8	2	f ₄₃	18	25	35	16	6
f ₁₈	20	49	25	5	1	f ₄₄	21	38	24	14	3
f ₁₉	22	53	20	5	0	f ₄₅	26	20	32	19	3
f ₁₁₀	25	40	10	15	10	f ₅₁	16	54	20	10	0
f ₁₁₁	25	35	28	9	3	f ₅₂	25	49	15	6	5
f ₁₁₂	15	40	30	10	5	f ₅₃	20	60	10	5	5
f ₁₁₃	25	50	15	10	0	f ₅₄	27	40	20	10	3
f ₁₁₄	20	55	14	10	1	f ₅₅	31	48	10	6	5
f ₂₁	19	44	22	10	5	f ₅₆	23	54	18	5	0
f ₂₂	20	50	20	8	2	f ₆₁	26	35	27	10	2
f ₂₃	22	52	16	6	4	f ₆₂	14	39	22	20	5
f ₂₄	28	48	14	7	3	f ₆₃	25	45	18	9	3
f ₂₅	22	44	18	10	6	f ₆₄	24	47	21	8	0
f ₂₆	26	45	18	8	3	f ₆₅	18	25	32	19	6
f ₂₇	18	37	27	13	5						

$$u_{1jk}^1 = \begin{bmatrix} 0.20 & 0.43 & 0.27 & 0.10 & 0 \\ 0.40 & 0.20 & 0.25 & 0.10 & 0.05 \\ 0.20 & 0.55 & 0.15 & 0.05 & 0.05 \\ 0.18 & 0.30 & 0.32 & 0.18 & 0.02 \\ 0.40 & 0.35 & 0.15 & 0.05 & 0.05 \\ 0.25 & 0.50 & 0.10 & 0.10 & 0.05 \\ 0.30 & 0.50 & 0.10 & 0.08 & 0.02 \\ 0.20 & 0.49 & 0.25 & 0.05 & 0.01 \\ 0.22 & 0.53 & 0.20 & 0.05 & 0 \\ 0.25 & 0.40 & 0.10 & 0.15 & 0.10 \\ 0.25 & 0.35 & 0.28 & 0.09 & 0.03 \\ 0.15 & 0.40 & 0.30 & 0.10 & 0.05 \\ 0.25 & 0.50 & 0.15 & 0.10 & 0 \\ 0.20 & 0.55 & 0.14 & 0.10 & 0.05 \\ 0.19 & 0.44 & 0.22 & 0.10 & 0.05 \\ 0.20 & 0.50 & 0.20 & 0.08 & 0.02 \\ 0.22 & 0.52 & 0.16 & 0.06 & 0.04 \\ 0.28 & 0.48 & 0.14 & 0.07 & 0.03 \\ 0.22 & 0.44 & 0.18 & 0.10 & 0.06 \\ 0.26 & 0.45 & 0.18 & 0.08 & 0.03 \\ 0.18 & 0.37 & 0.27 & 0.13 & 0.05 \\ 0.20 & 0.47 & 0.20 & 0.15 & 0.20 \\ 0.21 & 0.44 & 0.28 & 0.04 & 0.03 \\ 0.16 & 0.34 & 0.28 & 0.17 & 0.05 \\ 0.30 & 0.37 & 0.20 & 0.10 & 0.03 \\ 0.18 & 0.42 & 0.25 & 0.13 & 0.02 \\ 0.24 & 0.37 & 0.27 & 0.12 & 0 \\ 0.18 & 0.25 & 0.35 & 0.16 & 0.06 \\ 0.21 & 0.38 & 0.24 & 0.14 & 0.03 \\ 0.26 & 0.20 & 0.32 & 0.19 & 0.03 \\ 0.16 & 0.54 & 0.20 & 0.10 & 0 \\ 0.25 & 0.49 & 0.15 & 0.06 & 0.05 \\ 0.20 & 0.06 & 0.10 & 0.05 & 0.05 \\ 0.27 & 0.40 & 0.20 & 0.10 & 0.03 \\ 0.31 & 0.48 & 0.10 & 0.06 & 0.05 \\ 0.23 & 0.54 & 0.18 & 0.05 & 0 \\ 0.26 & 0.35 & 0.27 & 0.10 & 0.02 \\ 0.14 & 0.39 & 0.22 & 0.20 & 0.05 \\ 0.25 & 0.45 & 0.18 & 0.09 & 0.03 \\ 0.24 & 0.47 & 0.21 & 0.08 & 0 \\ 0.18 & 0.25 & 0.32 & 0.19 & 0.06 \end{bmatrix}$$

由式(6)~(9)算得 $W = (0.029\ 8, 0.017\ 0, 0.032\ 7, 0.016\ 4, 0.025\ 4, 0.026\ 7, 0.034\ 2, 0.034\ 5, 0.040\ 9, 0.013\ 2, 0.019\ 0, 0.019\ 0, 0.035\ 1, 0.035\ 6, 0.019\ 2, 0.029\ 6, 0.030\ 2, 0.029\ 2, 0.018\ 1, 0.024\ 8,$

$0.014\ 4, 0.021\ 7, 0.028\ 8, 0.012\ 4, 0.019\ 5, 0.021\ 5, 0.025\ 4, 0.010\ 9, 0.016\ 7, 0.013\ 3, 0.037\ 7, 0.015\ 1, 0.039\ 4, 0.020\ 3, 0.030\ 1, 0.041\ 9, 0.020\ 1, 0.014\ 2, 0.023\ 8, 0.033\ 4, 0.009\ 2)$

由式(10)算得 $u = (0.231\ 5, 0.453\ 3, 0.197\ 6, 0.099\ 2, 0.027\ 5)$ 。

由置信度识别准则,取置信度 $\lambda = 0.6$,由式(11)判别该煤矿企业安全综合评价等级为二级,得到的结果为“好”结果符合该企业的实际情况。

4 结 语

(1)从煤矿井下监测监控系统、人员定位系统、紧急避险系统、压风自救系统、供水施救系统和通信联络系统方面进行安全综合评价,找出煤矿企业生产需要改进的地方。

(2)本文建立的未确知测度模型,采用定性研究的方法,在理论上较严谨,避免了纯粹由主观和感性进行评定的随意性;单指标测度函数构造精细,实现了对评价空间的有序分割,同时提高了分辨率,取得的评价效果可靠。

(3)本文建立的未确知测度模型,便于实现煤矿安全生产的科学管理,通过程序化的方法,实现了煤矿井下安全进行综合评价,具有简单和较强的可操作性。

(4)由于对“六大系统”的研究还处在起步阶段,评价指标的随意性很大,缺乏系统性,在实际应用中,应不断对选取的评价指标体系进行修改完善,使其更符合实际,为决策者提供更科学的参考依据。

参考文献:

[1] 国务院关于进一步强化企业安全生产工作的通知(国发[2010]23号) [EB/OL]. <http://baike.baidu.com/view/4001617.htm>, 2010-09-10.
State Administration State Council concerning futher reinforce work safety in enterprise(State issue [2010]No. 23) [EB/OL]. <http://baike.baidu.com/view/4001617.htm> 2010-09-10.

[2] 国家安全生产监督管理总局国家煤矿安全监察局关于建设完善煤矿井下安全避险“六大系统”的通知(安监总煤装[2010]146号) [EB/OL]. <http://baike.baidu.com/view/4187321.htm>, 2010-09-10.
The notice of perfect hedge “six systems” about underground coal mine safety construction for the State Administration of Coal Mine Safety of the National Production Safety Supervision and Administration(The controlsafety total coal outfit [2010]No. 146) [EB/OL]. <http://baike.baidu.com/view/4187321.htm> 2010-09-10.

[3] 孙继平. 煤矿井下安全避险“六大系统”的作用和配置方案[J]. 工矿自动化, 2010(11): 1-4.
Sun Jiping. Effect and configuration of “Six Systems” for safe act of

- rescue of coal mine underground [J]. Industry and Mine Automation 2010(11): 1-4.
- [4] 胡庆新,李冬. 基于 CAN 总线的煤矿控制系统远距离传输的研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2010, 33(10): 1 515-1 518.
Hu Qingxin, Li Dong. Study of long-distance transmission of coal mine control system based on CAN-bus [J]. Journal of Hefei University of Technology (Natural Science) 2010, 33(10): 1 515-1 518.
- [5] 付文俊. 矿井封闭火区救灾辅助决策系统研发 [D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2010.
Fu Wenjun. Research and development on the disaster relief auxiliary decision system in coal mine [D]. Fuxin: Liaoning Technical University, 2010.
- [6] 刘志高,李春文,丁青青,等. 煤矿人员定位系统拓扑优化模型[J]. 煤炭学报, 2010, 35(2): 329-332.
Liu Zhigao, Li Chunwen, Ding Qingqing, et al. Coal mine personnel positioning system topology optimization model [J]. Journal of China Coal Society 2010, 35(2): 329-332.
- [7] 胡姣丽. 煤矿采区永久和临时固定式避难硐室建设[J]. 山西煤炭, 2010, 30(7): 71-72.
Hu Jiaoli. Permanent and temporary fixed shelters construction in mining area [J]. Shanxi Coal 2010, 30(7): 71-72.
- [8] 张大明,马云东,丁延龙. 矿井避难硐室研究与设计[J]. 中国安全生产科学技术, 2009, 5(3): 194-198.
Zhang Daming, Ma Yundong, Ding Yanlong. Research and design of mine refuge chamber [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2009, 5(3): 194-198.
- [9] 卢鉴章. 煤矿井下压风自救系统[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(12): 4-6, 32.
Lu Jianzhang. Compressed air self-rescue system in underground mine [J]. Coal Science and Technology 2010, 38(12): 4-6, 32.
- [10] 卢鉴章. 煤矿供水施救系统[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(12): 7-8, 92.
Lu Jianzhang. Mine water supply and rescue system [J]. Coal Science and Technology 2010, 38(12): 7-8, 92.
- [11] 顾伟,王春瑞,张锋. 无线以太网技术在煤矿通信系统中的应用[J]. 中国矿业, 2010, 19(5): 104-106.
Gu Wei, Wang Chunrui, Zhang feng. Application of WLAN technology in communication system in coal mine [J]. China Mining Magazine 2010, 19(5): 104-106.
- [12] 卢国志,李希常,方永焱. 煤矿安全指标评价体系研究及应用[J]. 安全与环境学报, 2003, 3(3): 29-31.
Lu Guozhi, Li Xichang, Fang Yongyan. Study and establishment of safety assessment index system colliery [J]. Journal of Safety and Environment 2003, 3(3): 29-31.
- [13] 阳富强,吴超. 基于未确知测度理论的硫化矿石爆堆自然危险性评价[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2010, 41(6): 2 373-2 379.
Yang Fuqiang, Wu Chao. Risk assessment on spontaneous combustion of sulfide ore dump in stope based on uncertainty measurement theory [J]. Journal of Central South University (Science and Technology) 2010, 41(6): 2 373-2 379.
- [14] 杨金廷,蔡振禹,李思敏,等. 未确知测度模型在外排污水水质综合评价中的应用[J]. 中国给水排水, 2008, 24(12): 105-108.
Yang Jinting, Cai Zhenyu, Li Simin, et al. Application of unascertained measure model in comprehensive assessment of discharged wastewater quality [J]. China Water & Wastewater 2008, 24(12): 105-108.
- [15] 邓军,余忠华,吴昭同. 基于信息熵的概念设计的质量评价[J]. 浙江大学学报(工学版), 2009, 43(8): 1 480-1 484.
Deng Jun, Yu Zhonghua, Wu Zhaotong. Quality evaluation of quality design based on entropy [J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science) 2009, 43(8): 1 480-1 484.
- [16] 陈以增,唐加福,任朝辉,等. 基于质量屋的顾客需求权重确定方法[J]. 系统工程理论与实践, 2003, 8(8): 36-41.
Chen Yizeng, Tang Jiafu, Ren Zhaohui, et al. An approach of identifying customer requirements weights based on house of quality [J]. Systems Engineering-Theory & Practice 2003, 8(8): 36-41.
- [17] 汤永利,徐国爱,钮心忻,等. 基于信息熵的信息安全风险模型[J]. 北京邮电大学学报, 2008, 31(2): 50-53.
Tang Yongli, Xu Guoai, Niu Xinxin, et al. Information security risk analysis model using information entropy [J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2008, 31(2): 50-53.