



文章编号:1671-251X(2016)09-0022-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2016.09.006

郑万波,吴燕清,李先明,等.省级区域煤矿事故风险综合评估方法研究[J].工矿自动化,2016,42(9):22-26.

省级区域煤矿事故风险综合评估方法研究

郑万波^{1,2,3,5}, 吴燕清^{1,3}, 李先明⁴, 肖玉梅⁶

(1. 瓦斯灾害监控与应急技术国家重点实验室, 重庆 400037; 2. 重庆大学 光电工程学院, 重庆 400044;
3. 中煤科工集团重庆研究院有限公司, 重庆 400039; 4. 重庆煤矿安全监察局 救援指挥中心,
重庆 401121; 5. 重庆工程学院 电子信息学院, 重庆 400056;
6. 重庆电子工程职业学院 图文信息中心, 重庆 401331)

摘要:针对省级区域煤矿风险评估缺乏理论和方法的问题,提出了省级区域煤矿事故风险综合评估方法:先由专家对各煤矿事故风险指标的损害程度量化值和发生概率进行评估打分,构建综合判断矩阵,再用层次分析法确定各风险模块的权重,最后计算风险模块的综合风险等级。该方法通过对区域煤矿事故风险评估的共性研究,为省级区域煤矿事故风险管理打下理论和实践基础。

关键词:煤矿事故; 区域风险评估; 风险矩阵法; 层次分析法

中图分类号:TD77

文献标志码:A

网络出版时间:2016-09-02 10:10

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20160902.1010.006.html>

Study on comprehensive risk assessment method for provincial coal mine accident

ZHENG Wanbo^{1,2,3,5}, WU Yanqing^{1,3}, LI Xianming⁴, XIAO Yumei⁶

(1. State Key Laboratory of Gas Disaster Monitoring and Emergency Technology, Chongqing 400037, China; 2. College of Optoelectronic Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China;
3. CCTEG Chongqing Research Institute, Chongqing 400039, China; 4. Rescue Command Center, Chongqing Administration of Coal Mine Safety, Chongqing 401121, China; 5. College of Electronic Information, Chongqing Institute of Engineering, Chongqing 400056, China; 6. Library and Information Technology Center, Chongqing College of Electronic Engineering, Chongqing 401331, China)

Abstract: In view of problem that risk assessment for provincial coal mine lacks theory and method, a comprehensive risk assessment method for provincial coal mine accident was proposed: first of all, quantized value of damage extent and occurrence probability of risk indicators of coal mine accidents were assessed and scored by experts to construct comprehensive judgment matrix; then AHP was used to determine weight of each risk module; and finally, overall risk level of risk modules were calculated. The proposed method lays theoretical and practical basis for risk management of provincial coal mine accidents by generality research of risk assessment of regional coal mine accidents.

Key words: coal mine accidents; regional risk assessment; risk matrix method; analytic hierarchy process

收稿日期:2016-01-27;修回日期:2016-07-11;责任编辑:胡娴。

基金项目:重庆市前沿与应用基础研究计划资助项目(cstc2014jcyjA90027);重庆市社会事业与民生保障科技创新专项项目(cstc2016shmszx90002)。

作者简介:郑万波(1981—),男,四川自贡人,副研究员,博士研究生,从事矿山救援通信技术和装备、仪器科学与技术、应急管理等方面的研究工作,E-mail:zwanbo2001@163.com。

0 引言

根据《中华人民共和国突发事件应对法》和中国应急管理体系“一案三制”的基本框架^[1],相关学者进行了一系列区域多级风险评估体系研究,如:毛锐等^[2]提出一种省地县一体化调度安全生产保障能力评估系统;刘颖等^[3]提出一种区域多级模糊评估模型;汤童等^[4]提出一种国家、省部级部署的一体化重大自然灾害应急评估系统;要瑞璞等^[5]提出一种专家评价法和 AHP 法相结合的方法,采用 4 种不同的评价模型对多层次、多指标的问题进行评判;董军等^[6]提出一种“逐层纵横向”拉开档次法确定多层次系统在不同时刻的评价值。

在煤炭行业,国内学者开展了一些企业级煤矿安全管理风险预控一体化体系的理论^[7-8]和实践^[9-10]研究,并与煤矿现有安全管理措施(煤矿隐患排查治理、煤矿安全质量标准化)形成一个完整的体系^[11-13]。但是,煤矿事故风险管理仍然面临以下问题:① 煤矿风险管理多局限于企业范围,缺乏省(直辖市)、市(区、县)和县(镇、乡)三级风险评估的理论和方法研究;② 缺乏连续一体化研究,未抓住煤矿隐患排查治理、煤矿安全质量标准化体系和煤矿安全风险预控管理体系之间的内在联系;③ 缺少省级区域煤矿事故风险采集、风险评估、三级危险源监测预警与更新、信息发布机制。

目前,国内部分省市已经在推行煤矿风险管控工作,在神华集团矿用本安管理体系的理论和实践的基础上,形成了相关行业标准 AQ/T—1093《煤矿安全风险预控管理体系》。但是,对省级区域煤矿风险的评估依然缺乏理论和方法,有必要对省级区域煤矿事故风险多级评估理论和方法进行研究。

1 省级区域煤矿事故风险的识别和评价指标

省级区域煤矿事故风险评估的基本流程:建立专家组—选定风险集—确定风险等级—确定风险权重—项目风险综合评估。

根据煤矿事故风险评估需要,选取 3 组与煤矿事故风险相关的管理、技术、生产领域的工作经验和专业技术知识丰富的专家,每组 11 人。专家通过会商研判、实地踏勘、现场测量、查阅历史资料等方式,分析采掘、通风、机电、运输、地测等工作任务特点,整理各自的工作区域和关键点,罗列每个工作区域

工作任务并识别重要任务或工序。如果 11 位专家中有 7 位以上的专家认为某风险指标对某项目存在作用即可选取,否则予以排除,通过辨识每个工作区域(地理位置)的工位(具体位置)中的煤矿事故风险指标集,选定项目的风险指标集,包括评价指标、量化评价标准和综合评判方法。煤矿安全生产风险分为 8 类一级指标和 20 类二级指标,见表 1。

表 1 煤矿事故风险评价指标

序号	一级指标	二级指标
1	煤矿瓦斯事故风险	瓦斯爆炸事故风险
		煤与瓦斯突出事故风险
		瓦斯窒息事故风险
2	煤矿顶板事故风险	冲击地压事故风险
		断层构造事故风险
		应力集中带事故风险
3	煤矿运输事故风险	运输设备运行、保护事故风险
		一坡三挡事故风险
4	煤矿水害事故风险	采空区水害事故风险
		地表水、构造水事故风险
		防水、排水、监测事故风险
5	煤矿机电事故风险	供电系统可靠性、保护事故风险
		机电设备设计、安装、运行事故风险
6	煤矿放炮事故风险	一炮三检事故风险
		爆炸材料存储、管理事故风险
7	煤矿火灾事故风险	煤自燃事故风险
		火区管理事故风险
		井下明火作业事故风险
8	煤矿其他事故风险	煤矿坠落事故风险
		煤矿粉尘事故风险

2 省级区域煤矿事故风险评估

采用风险矩阵法对煤矿事故风险进行量化,分别用煤矿事故风险发生概率和煤矿事故风险损害等级 2 个指标来描述一个煤矿事故风险值,采用 Borda 序值法和层次分析法确定煤矿事故风险的权重值。

2.1 煤矿事故风险值评估

2.1.1 煤矿事故风险损害等级

设 N 为煤矿事故风险总个数, i 为某一特定的事故风险, G_i 为煤矿事故风险值, I_i 为事故风险损害后果值, P_i 为事故风险发生可能性值。煤矿事故风险损害等级的确定可分为以下几步:① 事故场景描述。设置矿井事故发生时间、地点、原因和持续时间、影响范围、造成的损失等。② 损害等级评估。

依据损害临界值标准,在预期损害规模基础上,确定对应指标的损害等级。③ 计算损害后果。根据每个参数损害等级值,计算出最终的损害后果值。

2.1.2 煤矿事故风险发生概率

事故风险发生可能性值 P_i 的确定可分为以下 2 步:① 预判风险发生可能性,并进行分级,确定等级。由风险管理单位牵头,不同专业的专家及相关人员参与,通过技术分析、集体会商、多方论证评估得出煤矿事故发生可能性。② 分析、填写可能性等级值。

2.1.3 煤矿事故风险等级

风险值计算函数:

$$G_i = F(I_i, P_i) = I_i P_i \tag{1}$$

根据煤矿事故风险损害后果值和煤矿事故风险发生可能性值,查表 2 得到风险值,从而得出煤矿事故风险等级。

表 2 煤矿事故风险等级划分

煤矿事故风险 损害后果值	煤矿事故风险 发生可能性值	煤矿事故 风险值	等级
0~1.25	0~1.25	0~6.25	一般
1.25~2.50	1.25~2.50	6.25~12.50	较大
2.51~3.25	2.51~3.25	12.60~18.75	重大
3.26~5.00	3.26~5.00	18.76~25.00	特大

2.2 煤矿事故风险权重的确定

2.2.1 事故风险指标重要性排序

结合风险损害后果和风险发生概率,采用 Borda 序值法给所有的风险模块排序,可以有效降低专家打分法的主观性和盲目性^[14]。设 k 表示某一准则, $k=1$ 表示风险损失后果 I_i , $k=2$ 表示风险发生概率 P_i , b_i 表示第 i 个煤矿事故风险的风险数, G_{ik} 表示风险 i 在准则 k 下的风险等级,则有

$$b_i = \sum_{k=1}^2 (N - G_{ik}) \tag{2}$$

2.2.2 煤矿事故风险的权重

将煤矿事故风险按重要性排序后,专家组针对区域煤矿事故风险准则层,判断各风险点的相对重要程度,然后两两比较打分,构建判断矩阵,利用层次分析法确定各个煤矿事故风险的权重,其具体步骤如下^[15-16]:

(1) 建立区域煤矿事故风险评价层次结构模型。将区域煤矿事故风险评价作为层次分析的目标层,将煤矿事故作为层次分析的中间层,将各煤矿事

故的风险预警指数作为层次分析的方案层。

(2) 构造判断矩阵并求最大特征根和特征向量。由于层次结构模型确定了上下层元素间的隶属关系,所以可针对上一层的准则构造不同层次的两两判断矩阵。

设两两判断矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$,则

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}(i, j = 1, 2, \dots, n) \tag{3}$$

(3) 计算判断矩阵一致性指标,并检验其一致性。为检验矩阵的一致性,定义 $CI=\frac{\lambda_{\max}-n}{n-1}$, $\lambda_{\max}$ 为判断矩阵 A 的最大特征值,当完全一致时, $CI=0$; CI 值越大,矩阵的一致性越差。设 CR 为矩阵的随机一致性比例,当 $CR<0.10$ 或 $CR\approx 0.1$ 时,矩阵具有满意的一致性,否则需重新调整矩阵。

(4) 层次总排序。假设 X 层次所有要素排序结果分别为 $x_1, x_2, \dots, x_m$,计算其下一层次 Y 中各要素相对于层次 X 的总排序权值。这里是计算在区域煤矿中,各二级危险元素相对于区域煤矿事故风险等级的排序,其结果也要进行一致性检验,结合与 CI 同阶的平均随机一致性指标 RI 来判断矩阵的

随机一致性指标,当 $CR = \frac{CI}{RI} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i CI_i}{\sum_{i=1}^n x_i RI_i} < 0.1$ 时,

认为层次总排序结果具有满意一致性。

2.3 煤矿事故综合风险等级的确定

确定多个煤矿事故风险的风险等级量化值和风险权重后,采用加权法,即将各风险点的风险等级量化值与相对应的风险权重相乘,然后将得到的结果相加,得到该区域煤矿事故的综合风险等级量化值^[17-18]。设煤矿事故风险第 n 个($0 \leq n \leq N$)风险等级量化值为 G_i ,风险权重为 ω_i ,区域煤矿事故的综合风险等级量化值为 GT ,则

$$GT = \sum_{i=1}^n G_i \omega_i \tag{4}$$

根据风险等级标准表(表 2),对照所得的综合风险等级量化值,即可确定省级区域煤矿事故的综合风险等级。

3 煤矿企业事故风险评估应用算例

在煤矿事故风险量化评估过程中,先由专家根据相关信息及经验,对项目各风险指标的风险损害

程度量化值和风险发生概率进行评估打分。在此基础上,采用简单算术平均法对各模块风险指标的影响量化值和发生概率进行处理,分别推导出8个煤矿事故风险模块的风险损害程度量化值和风险发生概率,利用式(1)计算出煤矿事故风险值,再计算某

个风险模块的权重,最后计算风险模块的综合风险等级。

煤矿事故风险评估体系层次结构模型如图1所示。

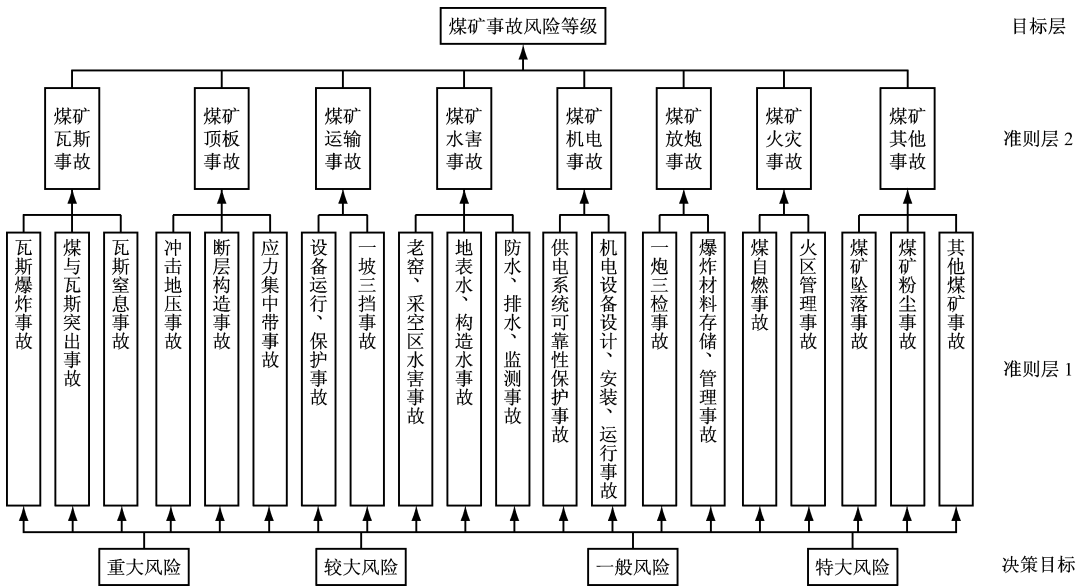


图1 煤矿事故风险评估体系层次结构模型

煤矿事故风险值由大到小的顺序:煤矿瓦斯事故,煤矿顶板事故,煤矿运输事故,煤矿水害事故,煤矿机电事故,煤矿火灾事故,煤矿放炮事故和煤矿其他事故。在对某煤矿进行评估时,其煤矿事故风险权重柱形图如图2所示。

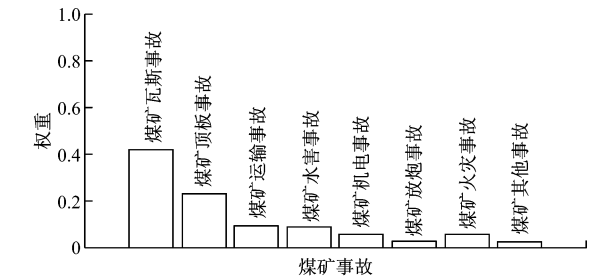


图2 煤矿事故风险权重

根据煤矿事故风险等级的评价结果可知,一致

性比例为0.0980,对煤矿事故风险等级的权重为1.0000, $\lambda_{\max}=8.9674$,基本达到评估要求。

4 区域煤矿多级多目标决策方法及算例

按照风险评估的风险值,将某煤矿8大风险的风险等级分为3个等级的二级指标,见表3,将煤矿瓦斯事故危险源风险值分为高、中、低3个级别,并罗列出瓦斯事故危险源评估结果清单。

在确保评价体系一致的情况下,统计某个区域多个煤矿的8大风险值的累计数目,见表4。算例: L_1 (瓦斯事故风险值) $=25(N_{11}/N_{10})+8(N_{12}/N_{10})+N_{13}/N_{10}$; $N_{10}=N_{11}+N_{12}+N_{13}$; 总风险等级 $L_0=L_1\omega_1+L_2\omega_2+\dots+L_8\omega_8$ 。

表3 某煤矿瓦斯事故危险源风险值评估结果清单

重大瓦斯事故风险危险源 (风险值3~5)			中等瓦斯事故风险危险源 (风险值1.5~3)			一般瓦斯事故风险危险源 (风险值0~1.5)		
序号	危险源名称	风险值	序号	危险源名称	风险值	序号	危险源名称	风险值
1	XX工作面瓦斯爆炸	XX	1	XX瓦斯突出	XX	1	XX巷道瓦斯窒息	XX
2	XX工作面瓦斯突出	XX	2	XX巷道瓦斯窒息	XX	2	XX工作面瓦斯突出	XX
3	XX巷道瓦斯窒息	XX	3	XX工作面瓦斯突出	XX	3	XX巷道瓦斯突出	XX
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
N_{11}	...	...	N_{12}	...	...	N_{13}	...	...

表 4 煤矿事故风险一级指标分级统计

风险名称	风险等级	数量
瓦斯事故风险 L_1	高	N_{11}
	中	N_{12}
	低	N_{13}
顶板事故风险 L_2	高	N_{21}
	中	N_{22}
	低	N_{23}
水害事故风险 L_3	高	N_{31}
	中	N_{32}
	低	N_{33}
⋮	⋮	⋮
其他事故风险 L_8	高	N_{81}
	中	N_{82}
	低	N_{83}

将煤矿事故风险归类到 8 大事故灾害,并统计出危险源的数目,就可以得出该区域多个煤矿 8 大事故的风险等级,最终查表 2 得到省级区域煤矿事故的综合风险等级。

5 结语

针对省级区域煤矿风险评估需求,首先,建立整体煤矿事故 8 类一级指标和 20 类二级指标体系;其次,采用风险矩阵法对煤矿事故风险进行量化,采用 Borda 序值法和层次分析法确定煤矿事故风险的权重值;再次,以某煤矿风险评估为算例,计算出对应指标的一级指标的权重;最后,统计出区域多个煤矿一级要素的高、中、低 3 个风险等级的数目,建立区域煤矿省(直辖市)、市(区、县)和县(镇、乡)三级多层次风险等级评估的方法。

参考文献:

[1] 江田汉,邓云峰,李湖生,等. 基于风险的突发事件应急准备能力评估方法[J]. 中国安全生产科学技术, 2011,7(7):35-41.

[2] 毛锐,张毅,何明,等. 省地县一体化调度安全生产保

障能力评估系统建设[J]. 四川电力技术, 2010, 33(6):23-25.

[3] 刘颖,尹华川,阳岁红. 区域制造业信息化工程多级模糊评估模型分析[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2008,31(11):1251-1256.

[4] 汤童,范一大,杨思全,等. 重大自然灾害应急监测与评估应用示范系统的设计与实现[J]. 国土资源遥感, 2014,26(3):175-181.

[5] 要瑞璞,沈惠璋,刘铎. 多层次系统的综合评价方法研究[J]. 系统工程与电子技术,2005,27(4):656-658.

[6] 董军,国方媛. 多层次系统的动态评价研究[J]. 运筹与管理,2011,20(5):176-184.

[7] 林光侨,王颜亮. 煤矿风险预控本质安全管理体系建设与应用[J]. 煤炭工程,2013,45(6):135-138.

[8] 孟现飞,宋学锋,张炎治. 煤矿风险预控连续统一体理论研究[J]. 中国安全科学学报,2011,21(8):90-94.

[9] 任占昌. 风险预控管理在保德煤矿的应用[J]. 煤矿安全,2014,45(8):234-236.

[10] 罗建军. 神华集团上湾煤矿风险预控管理体系的建设与应用[J]. 煤炭经济研究,2009(10):100-102.

[11] 梁子荣,辛广龙,井健. 煤矿隐患排查治理、煤矿安全质量标准化与煤矿安全风险预控管理体系三项工作关系探讨[J]. 中国煤炭,2015,41(7):116-119.

[12] 赵振海. 煤矿安全风险预控管理体系与质量标准化体系比较探究[J]. 中国煤炭,2014,40(4):118-121.

[13] 李光荣,杨锦绣,刘文玲,等. 2 种煤矿安全管理体系比较与一体化建设途径探讨[J]. 中国安全科学学报, 2014,24(4):117-123.

[14] 毛晶. 发电企业投资煤电一体化项目的风险评估及规律策略[D]. 北京:华北电力大学(北京),2011.

[15] 毛念华. 基坑围护结构型式决策分析[J]. 城市建设, 2009(36):131-133.

[16] 刘沙沙. 哈尔滨市大气环境质量现状研究与预测[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2008.

[17] 李海凌,项勇. 基于风险矩阵的工程项目投标风险排序[J]. 西华大学学报(自然科学版), 2009, 28(2): 51-52.

[18] 李洁. 基于企业价值的人力资源外包决策研究[D]. 南京:南京师范大学,2008.