

采煤工作面安全预警指标体系构建

孟凡强¹ 李春霞²

1. 北京赛迪科技工程有限公司 北京 100089

2. 泰山职业技术学院机电技术工程系 山东 泰安 271001

摘要: 为了保障煤矿工人的生命安全和企业的稳定运营,建立一个完善的安全预警指标系统至关重要。本文通过对国内外相关文献的分析,结合我国煤矿生产的实际情况,提出了一套适用于我国煤矿的安全预警指标体系。为了验证该体系的有效性,选取了某煤矿作为实证研究对象,对其生产过程中的安全状况进行了全面的调查和分析。结果表明,通过实施该安全预警指标体系,可以有效降低事故发生的概率,提高煤矿生产的安全水平。

关键词: 采煤工作面;安全预警;指标体系;层次分析法;熵值法

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A

引言

采煤工作面是一个复杂的生产系统,采煤生产过程中,存在着地质构造突变、煤层厚度变异、煤层顶板及底板岩层移动、瓦斯突出、矿井突水、煤层自燃等地质灾害,伴随着产生有毒有害气体、煤尘堆积等^[1]。采用科学的预警方法和预警模型,对采煤生产过程及其状态进行监测,对工作面开采中发现的事故隐患及时报警,并对安全状况变化趋势进行预测,采取预防措施,提出预案。

1 采煤工作面安全预警指标体系

1.1 安全预警指标分析

采煤工作面安全事故隐患具有动态的、非线性的、相互耦合的特性,再加上大量复杂的外部风险因素的不确定性^[2],增加了生产系统的复杂性,很难建立一套比较完整地能够全面反映工作面风险的指标体系。

在指标设计时,既要做好预警指标体系顶层设计,也要考虑预警指标的个性与代表性。不仅要选择能够直接体现隐患警兆的静态指标,也要考虑揭示隐患警情动态变化的指标,建立一套范围比较宽泛的采煤工作面安全预警指标池,作为原始初选指标,然后再根据实际情况,对初选指标进行筛选。

1.2 一级安全预警指标初步选择

影响采煤工作面安全的三类危险源包括:第一类危险源为能量载体和物质,如瓦斯突出、工作面含水量、矿压等;第二类危险源主要指对第一类危险物质的采取的能量抑制措施破坏或失效,如顶板支护材料不合格、刮板机电机防护罩破损、采煤机司机操作失误等;第三类危险源主要指组织机构与制度、安全专项资金投入、安全教育培训、矿工文化程度、年龄结构等存在的问题^[3]。

查阅和分析相关文献及煤矿安全生产相关规程标

准、技术资料,并通过山东、山西、陕西、内蒙等煤矿访谈调查,了解采煤生产的安全生产现状,摸清一通三防、隐患排查治理、人力资源配置、组织管理、安全管理制度、机电运输等实际情况,初步选择涵盖地质、环境、设备、人员、管理、信息等6类因素的一级指标。

1.3 二级安全预警指标初步选择

二级安全预警指标初选主要依据《煤矿安全规程》《煤矿安全风险预控管理体系规范》等安全标准规范及相关文献研究成果。

本文选取了煤矿企业、院校及科研单位15位相关领域专业人员。其中,煤矿企业共12人,采煤技术3人、地质测量1人、机电管理1人、运输专业1人、安全监察3人、经营管理1人、采煤一线人员2人;矿业院校共2人,采矿工程1人、机电一体化1人;科研单位1人,是煤矿防治水领域的专家。采用发送电子邮件或线上问卷的方式进行调查和统计分析,按照指标频数从高到低排名,确定了二级预警初选指标。

1.3.1 地质安全预警指标:

采煤工作面地质安全预警指标包括:煤层自燃性、工作面含水量、瓦斯相对涌出量、断层落差、煤层稳定性、煤层倾角、顶底板稳定性等。

1.3.2 作业环境安全预警指标:

作业环境安全预警指标主要包括平均风速、温度、湿度、噪声、照明、有害气体、粉尘及工作场所状况等。

1.3.3 设备安全预警指标:

采煤工作面设备包括采煤机械及配套设备、转载及顺槽运输机械、供电设备、通风设备、除尘设施、安全监测自动化设备等,用设备标准化、完好率和先进性来衡量设备的安全性。

1.3.4 人员安全预警指标:

人员作为采煤生产活动的主体,安全预警的基本目标就是保证人员的安全。人员安全预警指标包括人的身体健康、工作状态、受教育程度、技术技能、培训情况、违章指数等。

1.3.5 管理安全预警指标:

管理安全主要包括采煤生产系统管理制度完善与执行程度、操作规程执行状况、安全资金投入、安全检查和隐患整改落实情况等。

1.3.6 信息安全预警指标:

信息在煤矿安全生产过程中越来越重要,尤其物联网、5G、工业互联网平台等先进的技术的应用,信息安全成为影响采煤安全生产的重要因素。信息安全预警指标可从设备的信息化应用程度、信息的辨识度、信息处理能力、信息沟通有效性等方面体现^[4]。

综上所述,本文初步选择了6类一级安全预警指标和37项二级安全预警指标,涵盖了采煤工作面的人员、环境、设备和管理等各个要素,安全预警初选指标系如图1所示。

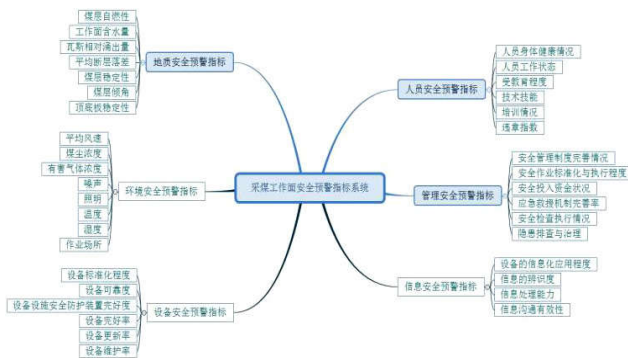


图1 采煤工作面安全预警初步选择指标

1.4 预警指标的筛选

因为事故隐患的复杂性、动态性、模糊性,依靠单纯的数学方法很难获得适用的指标,所以还需要借助人工经验进行筛选。为此,成立预警指标评价小组,采用多轮专家咨询论证方法进行筛选和优化指标^[5]。

操作步骤如下:

(1) 选择专家,成立预警指标小组。专家包括采煤、地质、机电、运输、安全等专业人士,还有煤矿生产、经营管理人员和经验丰富的一线人员。

(2) 提出初步选择预警指标方案,由小组进行讨论。

(3) 小组对初步选择安全预警指标讨论,对指标逐一分析评价,给出初步意见。根据讨论意见修改初步选择指标,进行第二轮专家讨论。针对二次讨论结果,再次进行专家讨论,直至获得比较满意的结果为止,获得

较为理想的安全预警指标。

1.5 预警指标信息的预处理

一致性处理。对于预警指标的一致性处理而言,就是使得处理后的各指标对评价结果的作用方向一致。对于作用方向不同的各类指标,要进行一致性处理。

无量纲处理。预警指标类型不同,量纲不同,各预警指标数量级也不同。为了不同类型的预警指标方便对比分析与加和计算,需要进行消除量纲处理。

由于采煤工作面各类事故隐患具有非线性、不确定性和动态性,使用数学模型很难描述,通过模糊数学方法可以很好地解决这一问题^[6],利用隶属度函数对隐患指标进行标准化处理。煤矿企业在月度安全风险等级评估时,常采用区间评分,然后评估安全状况等级,如各项管理指标分为I、II、III、IV四个等级,对应打分区间为(≥ 90 , $75\sim 90$, $60\sim 75$, ≤ 60),以此可采用半梯形、三角形分布进行指标的模糊处理^[1]。

结合煤矿安全规程、隐患判定标准、专家经验等,初步确定采煤工作面安全预警二级指标隶属度函数。

2 安全预警指标权重的确定

为了能够衡量各个指标在系统演化中所起的作用,需要确定指标的合理权重。依照分析方法和赋权数据的来源,赋权方法分为四种,分别是主观赋权法、客观赋权法、主客观赋权法、变权法。

本文采用主客观组合赋权法确定预警指标权重,并应用变权系数对权重进行变权处理。

3 主观权重的层次分析法赋权

采煤生产系统既包含大量的定量信息,又包含大量的定性信息,将定性信息最大限度地转为定量信息,需要通过专家知识和经验。层次分析法(AHP)是将人们的主观评价进行客观量化,将专家决策思维过程以数学方法表达的一种方法^[7]。

首先确定采煤工作面安全预警系统中各指标之间结构关系;其次构造判断矩阵并计算特征根。设 $W = \{W_1, W_2, \dots, W_k, \dots, W_N\}$ ($i = 1, 2, \dots, N$) 是计算得到的特征向量;然后进行一致性检验,再次逐层计算最低阶指标对上一层指标权重,最后得到最底层指标对最高层指标的权重,如下式所示:

$$W^{k \rightarrow k+2} = W_j^{k+1} \times W_j^k \quad (1)$$

式中各变量含义为:

$W^{k \rightarrow k+2}$ — k 层指标对 $k+2$ 层 i 指标的权向量;

W_j^k —第 k 层各指标对第 $k+1$ 层指标的权向量($j = 1, 2, \dots, n$), n 为第 k 层指标数;

W_{jk}^{k+1} —第 $k+1$ 层 j 指标对第 $k+2$ 层 i 指标的权重。

4 客观权重的熵值法赋权

采用信息熵分析采煤工作面安全预警指标体系中各指标的相对重要性,如果某个预警指标的熵比较小,则表明这个预警指标的信息程度高,该预警指标的重要性就大,权重高;如果指标的熵大,则表明这个预警指标的信息程度低,相应的指标权重也就小。

设安全预警系统原始数据矩阵 $X = (x_{ij})_{n \times m}$, 第 i 个样本第 j 项指标的初值是 x_{ij} , 那么第 j 项指标的熵值为

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \log_2 \left(\frac{1}{n} \right) = k \log_2(n) \quad (2)$$

式中 $k = 1/\log_2(n)$, 表示熵值修正系数。

第 j 项指标的权重系数 μ_j , 如下:

$$\mu_j = \frac{e_j}{\sum_{i=1}^n d_i} \quad (3)$$

式中 d_j 表示第 j 项指标的差异系数, 且 $d_j = 1 - e_j$ 。

5 主、客观权重组合

主观权重主要依靠专家经验获取,它比客观权重包含了更多的指标属性信息,而客观权重通过指标值计算得到,包含了更多的数据价值。为此,为了全面反映指标的属性,充分发挥两者的优点,采用主客观组合赋权的方法。加法合成组合赋权法是计算简单易于操作的方法,是常用的一种方法,其公式如下:

$$W_j' = \alpha W_j + (1 - \alpha) \mu_j \quad (4)$$

式中 α 、 $(1 - \alpha)$ 分别为主观权重、客观权重所占组合赋权法的比重系数,根据有关文献,在 $\alpha = 0.7$ 时,可以充分发挥主客观赋权法的优点。

6 实例分析

选取山东某矿 E3403 采煤工作面为例。按照前述方法,初步选择采煤工作面安全预警指标,并对采煤工作面安全预警指标进行调查问卷设计,问卷调查对象为该矿生产、地质、通风、机电、安全、经营等部门相关负责人或专业人员。根据专家经验确定一级预警指标权重,并引入相似度、差异度对专家评定结果进行修正,能够排除专家主观评定的局限性对权重的影响。按照专家调查的方法,选择五位相关专家,根据其经验知识,按照“非常重要”、“重要”、“同样重要”、“不重要”和“非常不重要”对指标的重要性程度两两打分,经过整理,得到代表专家意见的矩阵。采用通过计算专家对预警指标的评定结果的相似度和差异度,用来判断专家确定的权重,以克服对专家主观评定的局限性。

结果表明,在一级评价指标中,影响该采煤工作面

安全的因素中,地质安全因素影响力最大,权重占比 44.76%;其次是管理安全因素,权重占比为 21.30%,这两者累加权重为 66.06%,影响力最弱的是信息安全因素,权重占比仅为 3.806%。在地质安全预警二级指标中,影响采煤工作面安全影响力最大前两位是平均断层落差和煤层自燃性,权重累加占该项比例为 62.24%,管理安全预警指标中,影响采煤工作面安全影响力最大的前两位是隐患排查整改率和安全投入比例,权重累加占该项比例为 63.68%。由此,可见,该工作面受断层落差、煤层自燃危害较大;要加强安全检查及隐患治理方面管理,以及加大安全专项资金投入。这与该矿实际情况相符。

结束语

本文首先采用调查访谈、专家咨询等方法构建了涵盖地质、环境、设备、人员、管理和信息等元素的安全预警指标体系,并采用主客观组合赋权方法确定预警指标的权重。经过实例验证,建立全面的预警指标,实现采煤工作面的全方位预警,克服以往研究中仅依靠单项指标预警或单系统预警的不足,全面揭示采煤工作面事故隐患预警信息,提高预警可靠性。

参考文献

- [1]孟凡强.基于数据挖掘的采煤工作面安全预警研究[D].北京科技大学,2022.DOI:10.26945/d.cnki.gbjku.2022.000369.
- [2]宿国瑞,贾宝山,王鹏,申琢.基于多源异构数据的煤矿安全管理效果评估[J].中国安全科学学报,2021,31(06):64-69.
- [3]田水承,张利华,许永刚.基于三类危险源的瓦斯爆炸SD仿真[J].煤矿安全,2012,43(07):213-216.
- [4]Fanqiang M. Safety Warning Model of Coal Face Based on FCM Fuzzy Clustering and GA-BP Neural Network[J].Symmetry,2021,13(6):1082-1082.
- [5]余岚,马小勇,金小菊,等.基于Elmeri指标体系的煤矿作业区安全风险模糊综合评价[J].数学的实践与认识,2021,51(02):284-293.
- [6]方玲珍,史凯龙,陆彪,周晓军.基于维护效率的设备多目标预防维护优化建模[J].计算机集成制造系统,2018,24(06):116-122.
- [7]李刚,李建平,孙晓蕾,吴登生.兼顾序信息和强度信息的主客观组合赋权法研究[J].中国管理科学,2017,25(12):179-187.