

采区煤层煤炭自燃发火危险模糊 评价方法的研究

评价

③

8-11,7

陈立文
(阜新矿业学院)

TD/52

采区煤层煤炭自燃发火危险程度综合评价预测的目的是揭示煤炭自燃的规律,以采取相应的技术决策,控制煤炭自燃,减少损失,实现安全生产。

煤层自燃灾害的预测与防治技术的研究涉及到大量的信息处理问题,及信息处理所必须的数学分析与计算。然而,人们却很难找到一种有效的数学方法来处理这些系统的信息。另外,煤炭的构成及其自燃受许多因素影响,而这些因素又很难定量描述,而且采区煤层自燃发火危险程度预测又具有模糊性,因此,对系统精确的数学刻画是十分困难的。我们以采区煤层煤炭自燃发火危险程度的预测为研究对象,采用模糊信息处理技术,对如何克服其障碍的方法作一探讨。

1 煤炭自燃发火危险程度评价特点及其影响因素

1.1 煤炭自燃发火危险程度评价特点

(1) 煤炭自燃发火危险程度的评价预测是一个复杂的系统工程,目前人们对它的各种局部性质形态和机制认识都还不很清楚,这使得在评价预测时,往往要求处理许多模糊性的概念。煤炭自燃发火危险程度评价预测的模糊性主要表现在:信息的模糊性,推理过程的模糊性,预测结论的模糊性。模糊综合评价预测理论方法就是解决上述问题强有力的数学手段。

(2) 由于煤炭自燃发火危险程度评价预测的复杂性,评价预测时往往要考虑多种

因素,使得在构造综合评价预测数学模型时,使用模糊综合评价预测一级模型困难,即模型失效。另外,因素多还带来权重分配的困难,难于真实反映各因素在系统中的地位。

鉴于上述两个特点,我们在煤炭自燃发火危险程度综合评价预测中使用模糊综合评价多级模型,进行多层次综合评价。

1.2 影响煤炭自燃发火危险程度的因素及层次

矿井发生煤炭自燃必须同时具备三个基本条件:有残煤存在,不断供氧使煤炭氧化,通风不良使煤炭蓄热温度不断升高。由于煤炭自燃发火危险程度的评价预测问题是一个较复杂的系统评价问题,涉及的因素很多,难于把影响煤炭自燃发火危险程度的各种因素尽可能多地加以兼顾。此外,由于存在许多不可预测的因素,因而在实际中,要对某一条件作完全控制是有困难的。但是,依据共性可以将影响煤炭自燃发火危险程度的因素分成五方面的因素(最高层因素):煤炭本身的自燃倾向性(u_1),开采煤层的地质赋存条件(u_2),开采技术因素(u_3),通风因素(u_4)和预防措施情况(u_5)。前两方面的因素是内在因素,后三方面的因素是外在因素。为了更细致地评价开采煤层的煤炭自燃发火危险程度,还可以将上述五方面的因素再细划分,分解为一组低层次的因素。本文将因素分为二个层次,表示为一

二个二级评价问题。二个层次因素如下：

煤的自然倾向性 $u_1 = \{$ 变质程度 u_{11} , 含水份 u_{12} , 含硫量 u_{13} , 孔隙度 u_{14} , 瓦斯含量 u_{15} , ... 导热性 $u_{1k1}\}$;

煤层地质赋存条件 $u_2 = \{$ 煤层厚度 u_{21} , 煤层倾角 u_{22} , 埋藏深度 u_{23} , 开拓方式 u_{24} , 顶板性质 u_{25} , ... , 地质构造 $u_{2k2}\}$;

开采技术因素 $u_3 = \{$ 采煤方法 u_{31} , 开拓巷道布置 u_{32} , 区段巷道布置 u_{33} , 顶板管理 u_{34} , 回采速度 u_{35} , ... , 回采顺序 $u_{3k3}\}$;

通风因素 $u_4 = \{$ 通风系统结构 u_{41} , ... , 通风管理 $u_{4k4}\}$;

预防措施 $u_5 = \{$ 预防性灌浆 u_{51} , 阻化剂防火 u_{52} , ... , 均压防火 $u_{5k5}\}$ 。

评价因素的多少视主观需要而定, 因素越多, 评价越细致, 结果越可靠。但因素增多带来计算困难和权重分配困难。另外, 评价的所有因素是指低层次因素的全体, 这些因素中有可测因素(可以测量的因素), 有特款因素(定性类别的因素), 也有开关因素(开关因素的状态仅取有、无或是、非两种)。

对于任给的一个因素 u_{ij} , 被评价对象(煤层)在因素 u_{ij} 的状态集上表现为一具体状态。用 X_{ij} 表示因素 u_{ij} 的状态集。专家们在对开采煤层的煤炭自然危险程度做出评价时, 他们的分析判断往往是模糊的, 不甚精确的, 但却是有经验根据的, 有预见性的, 因而对生产有指导意义。由于影响煤炭自然发火危险程度的各种因素难以定量描述, 专家们用评分的方法对各项影响因素做出的评价仍属于模糊性判断, 同时这里还涉及多因素的综合评价问题。为了便于分析, 本文采用评分集 $X = [0, 20]$, 对影响因素集 u 中的各因素进行评分, 并设 $x \in X$ 为对 u 中某因素的评分。为简化计算, 用单一数值表示评分指标。我们总结了有关专家的思想方法和推理方法, 依据理论知识 and 实践经验, 采用式(1)定义一个 x_{ij} 到 $[0, 1]$

上的对应关系 f_{ij} , 即归一化。若评价指标在 x_{ij} 上的状态越趋于自然发火, 则该状态的函数值越趋于1, 反之, 则该状态对应的函数值越趋于0。对于给定的评价对象 x , 用 $f_{ij}(x)$ 表示这个函数值, 有 $0 \leq f_{ij}(x) \leq 1$ 。

$$f(X_{ij}) = \frac{x_{ij} - \text{Inf}(x_{ij})}{\text{Sup}(x_{ij}) - \text{Inf}(x_{ij})} \quad (1)$$

式中 $\text{Sup}(x_{ij})$ —— 因素 i 特征值的上确界,

$\text{Inf}(x_{ij})$ —— 因素 i 特征值的下确界。

$$\text{Sup}(x_{ij}) = X_{i1} \vee x_{i2} \cdots \vee x_{in} \quad (2)$$

$$\text{Inf}(x_{ij}) = X_{i1} \wedge x_{i2} \wedge \cdots \wedge x_{in} \quad (3)$$

\vee —— 取大符合;

\wedge —— 取小符号。

2 评价预测方法

在综合评价中, 对于因素特征的描述是模糊的, 评价的结果可以用优、良、可、差描述, 我们称这种评价方法为模糊综合评价。

设 $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 为被评价对象(煤层)的集合, $u = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ 为评价因素(目标)集合。对于给定的任一个评价对象 $x_i \in X$, 可表示成一个 m 维矢量形式:

$$x_i = \{u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{im}\} \quad i=1, 2, \dots, n; \quad j=1, 2, m, \dots \quad (4)$$

u_{ij} 是对象 x_i 在因素 u_j 上所取的状态。

我们在因素 u_j 的状态集上建立一个单目标模糊评价函数:

$$f_{ij}: u_j \rightarrow [0, 1] \quad j=1, 2, \dots, m \quad (5)$$

对于给定的被评价对象集合 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, 函数值 $f_{ij}(x_i) \triangleq f_{ij}(u_{ij}) \in [0, 1]$ 表示就因素 u_j 而言, 对象 x_i 优于优越的程度, 或 x_i 具有某种属性的程度。记 $r_{ij} = f_{ij}(x_i)$, 可以得到一个模糊关系矩阵:

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{pmatrix} \quad (6)$$

由于 u 中各因素的地位不一定平等,用 u 上的模糊集 $\tilde{W}=\{w_1, w_2, \dots, w_m\}$ 表示各因素在评价中的权重分配,这里:

$$\sum_{i=1}^m w_i = 1 \quad w_i \in [0, 1] \quad (7)$$

模糊综合评价的数学模型是:

$$\tilde{W} \circ \tilde{R} = \tilde{B} \quad \text{即} \quad (8)$$

$$(w_1, w_2, \dots, w_m) \circ \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{pmatrix} = (b_1, b_2, \dots, b_n) \quad (9)$$

其中:

$$b_i = (w_1 \wedge r_{1i}) \vee (w_2 \wedge r_{2i}) \vee \dots \vee (w_m \wedge r_{mi}) \quad (10)$$

b_i 为对象 x_i 综合所有因素得到的具有评价属性的程度, $b_i \in [0, 1] \quad i=1, 2, \dots, n$. \wedge, \vee 是一对抽象的运算符号,通常 \wedge 可以选取普通乘法“ \cdot ”或取最小运算“ \wedge ”;而 \vee 可以选取普通加法“ $+$ ”或取最大运算“ \vee ”。

在复杂系统的评价预测中,需要考虑的因素往往很多,而且这些因素还可能分属不同的层次和类别。在评价时,为便于区分各因素在总的评价中的地位 and 作用,较全面地吸收所有因素所提供的信息,可以先在较低的层次中分门别类地进行第一级综合评价,然后再综合它们的评价结果,进行高一层次的第二级综合评价。对于特别复杂的系统,还可以分成更多层次进行综合评价。

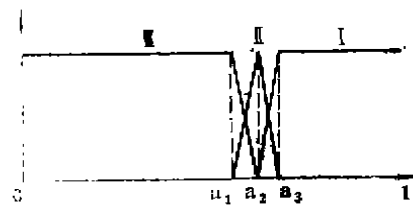
对于煤炭自燃发火危险程度的综合评价预测来说,设 u 上的权重分配为 $\tilde{w}_i=(w_1, w_2, \dots, w_{ik})$,则对象在因素 u_i 上的综合评价为:

$$b_i = \sum_{k=1}^{k_i} w_{ik} \cdot f_{ik}(x) \in [0, 1] \quad i=1, 2, \dots, 5 \quad (11)$$

又设 u 上的权重分配为 $\tilde{w}=(w_1, w_2, \dots, w_5)$,则对象 x 的最终评价为:

$$b = \sum_{k=1}^5 w_k b_k \in [0, 1] \quad (12)$$

设煤层自燃发火危险程度分为三个等级(类别),它们被表示成 $[0, 1]$ 实数区间的三个模糊子集 \tilde{I} (极易自燃), \tilde{II} (容易自燃), \tilde{III} (可能自燃),它们的隶属函数图形分别如附图所示。



附图 模糊危险等级

对给定的被评价对象,由式(11)、式(12)可计算出最终评价值 $b \in [0, 1]$,记:

$$\tilde{B} = (\mu_{\tilde{I}}(b), \mu_{\tilde{II}}(b), \mu_{\tilde{III}}(b)) \triangleq (q_1, q_2, q_3) \quad (13)$$

容易看出,当模糊等级 $\tilde{I}, \tilde{II}, \tilde{III}$ 是 $[0, 1]$ 上的一个模糊划分时,有 $\sum_{i=1}^3 q_i = 1$.它表示被评价对象的一个模糊评价结论, q_i 是对象 x 属于第 i 等级的可能性程度, $i=1, 2, 3$.为了得出清晰的评价,可以按最大隶属度原则确定,但是这样做丢失了若干评价信息,为此我们提出了评价值的概念。

把“极易自燃”视为80,“容易自燃”视为60,“可能自燃”视为40,写成:

$$M = (80, 60, 40)^T$$

定义评价值为:

$$Y = B \times M \quad (14)$$

3 实例分析

现结合某矿实际说明因素划分、因素集权向量模糊子集、隶属函数及关系矩阵等的具体确定方法。

方法是采用模糊二级综合评价模型。为简便起见，一级模糊综合评价，即单因素评价过程略，只介绍第二层的计算过程，第一层次同第二层次。

第二层次因素集的划分前面已叙述过，即 $u = \{\text{煤的自燃倾向性 } u_1, \text{煤层地质赋存条件 } u_2, \text{开采技术因素 } u_3, \text{通风因素 } u_4, \text{预防措施 } u_5\}$ 。权重分配根据专家经验选取，即 $w = \{w_1, w_2, w_3, w_4, w_5\} = \{0.3, 0.2, 0.15, 0.15, 0.2\}$ 。隶属函数中 a_1, a_2, a_3 的确定方法如下：选取十个典型样本，请专家按要求评分，进行归一化，用逐步聚类分析法，求出“极易自燃”、“容易自燃”、“可能自燃”三种模式的聚类中心如下表：

表 1 依据选定的煤层样本的自燃发火危险程度聚类中心

分 类	自燃倾向	地质因素	开采技术	通风因素	预防措施
	标准化值	标准化值	标准化值	标准化值	标准化值
极易自燃	0.99	0.50	0.51	0.25	0.80
容易自燃	0.93	0.49	0.49	0.25	0.63
可能自燃	0.76	0.48	0.49	0.25	0.63

依据上表求出

$$a_1 = 0.3 \times 0.76 + 0.2 \times 0.48 + 0.15 \times 0.47 + 0.15 \times 0.25 + 0.2 \times 0.63 = 0.558.$$

同理：

$$a_2 = 0.614, \quad a_3 = 0.671 \text{ 则相应的隶属函数为:}$$

$$\mu_{\tilde{I}}(x) = \begin{cases} 1 & x \geq a_3 \\ 17.544x - 10.772 & a_2 < x < a_3 \\ 0 & x \leq a_2 \end{cases}$$

$$\mu_{\tilde{I}}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a_1 \\ 17.857x - 9.964 & a_1 < x \leq a_2 \\ 11.772 - 17.544x & a_2 < x < a_3 \\ 0 & x \geq a_3 \end{cases}$$

$$\mu_{\tilde{I}}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq a_1 \\ 10.964 - 17.857x & a_1 < x < a_2 \\ 0 & x \geq a_2 \end{cases}$$

如该矿某采区煤种为长焰煤，自燃期为 3 个月，采区煤层服务年限为 17 年，自燃发生次数 44 次。经专家评分，按上述方法计算整理得最后一层次的五方面因素标准化值分别为：自燃倾向标准化值 1.00，地质因素标准化值 0.46，技术因素标准化值 0.50，通风因素标准化值 0.25，预防措施标准化值 0.75。根据权重分配得该采区煤层最后评价得分为：
 $x = 0.3 \times 1.00 + 0.2 \times 0.46 + 0.15 \times 0.5 + 0.15 \times 0.25 + 0.2 \times 0.75 = 0.6545$

由隶属函数得：

$$B = (\text{极易自燃, 容易自燃, 可能自燃}) = (0.711, 0.289, 0)$$

按最大隶属原则，该采区煤层极易自燃发火。

$$\text{评价值 } Y = B \times M = (0.711, 0.289, 0) \cdot (80, 60, 40)^T = 74.22$$

所以该采区煤层自燃发火危险程度的评价结果为 74.22 分。

4 结论

(1) 本文采用模糊数学的方法，对煤炭自燃发火危险程度这一本来难以定量化描述的问题进行定量分析，给出煤炭自燃发火危险程度的等级判定及评价值。通过理论研究及应用实例分析，证明该方法在预测煤炭自燃发火危险程度研究中是正确的，适用的，为煤炭自燃发火危险程度的预测及制定相应预防措施，提供了一种实用方法。

(2) 在煤炭自燃发火危险程度预测中，权向量的确定对最终结果影响很大，应用时要特别注意。

(3) 隶属函数的确定，要选取大量典
(下转第 7 页)

2.1 清扫孔

清扫孔一般设于倾斜和水平管道的侧面,异形管、三通、弯管的附近或端部。清扫孔的制作应严密、不漏风。

2.2 调节阀门

集中式除尘系统阻力不平衡的情况在运行中是难免的,因此,在与吸尘罩连接的垂直管段上设调节阀门。常见的调节阀门有蝶阀、斜插板阀等。

在吸入段管道上,一般不容许采用直插板阀,因为它容易引起管道堵塞。作为调节风量用,无论是斜插板或蝶阀,都必须装在垂直管段上,因为阀板前后产生强烈的涡旋,粉尘很容易沉积,如果这类阀板装在斜管或水平管段上,沉积粉尘还会妨碍阀板的开关或堵塞管道。

2.3 测定孔

除尘系统在运行前应进行启动调节,运行过程中也要进行空气动力性能测定,因此管道上要事先留出调节和测试用的测定孔。

测定孔的开设位置尽可能避开气流的涡流区,一般设置在:(1)与吸尘罩连接的管段上;(2)除尘器前后的管段上;(3)风机进出口管段上;(4)对除尘器应设在能够显示出设备本身的压力损失的部位。

2.4 法兰盘

除尘管道一般用钢板焊接制作,采用法兰盘式连接,便于拆卸清理。法兰盘中的衬

垫可用胶皮或在水中泡湿的和在干性油内煮过并涂了铅丹油的厚纸垫。输送不超过70℃的正常湿度的空气的管道可以用厚纸垫,超过70℃则用石棉厚纸垫或石棉绳。

3 管道布置

(1)管道布置力求简单,尽可能垂直或倾斜装设,倾斜角一般不得小于50°,使管道内的积尘能自然滑下。

(2)分支管与水平管或主管连接时,一般从管道的上面或侧面接入。

(3)管道一般采用圆形截面,因为方形、矩形截面管道四角会产生涡流,易积粉尘。最小直径一般不小于100mm,以防管道堵塞。

(4)管道不宜支承在设备上(如通风机外壳),应设支、吊架。钢制管道水平安装时,其固定件的间距,当管径不超过360mm时,不大于4m;超过360mm时,不大于3m。当垂直安装时,其固定件的间距不大于4m,拉绳和吊架不允许直接固定在法兰盘上。

(5)为减轻风机的磨损,宜将除尘装置置于风机之前。

以上是管道设计应注意的几个问题,在实际设计中,管道的直径、风速和流量,还要根据实际情况进行阻力计算,在保证使用效果的前提下,使输运气流的能耗最小。

(收稿日期:1984-11-09)

(上接第11页)

型样本,否则不具代表性。另外算子的选择要做具体分析,选择的恰当与否直接影响评价结果。

参 考 文 献

- 1 张跃等编著,模糊数学方法及其应用,北京:煤炭工业出版社,1992
- 2 朱森,模糊数学在矿业设计评标中的应用,煤炭学报,1988,4

(收稿日期:1984-11-02)