

煤层稳定性模糊模式识别评价方法

霍丙杰¹, 张宏伟¹, 郭嗣琮²

1. 辽宁工程技术大学矿业学院, 辽宁阜新 123000
2. 辽宁工程技术大学理学院, 辽宁阜新 123000

摘要 基于模糊模式识别理论,研究了不同类型煤层稳定性的综合量化评价方法。在分析煤层稳定性关键影响因素的基础上,确定了煤层稳定性评价的特征因子,构建了不同类型煤层的模糊评价语言模式及其隶属函数,提出了煤层稳定性模糊模式识别评价方法。通过实例评价,验证了该方法的可行性,结果表明,该方法可实现对煤层稳定类型的定量划分和归属判定,可为煤层的可采性分析、开采安全性评价以及采煤方法的选择提供依据。

关键词 煤层稳定性;模糊模式识别;量化评价

中图分类号 TD821

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.21.006

Evaluation of Coal Seam Stability Based on Fuzzy Pattern Recognition

HUO Bingjie¹, ZHANG Hongwei¹, GUO Sicong²

1. Mining Institute, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, Liaoning Province, China
2. College of Science, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, Liaoning Province, China

Abstract The comprehensive quantitative evaluation methods for different kinds of coal seam stability based on the fuzzy pattern recognition theory are studied in this paper. The coal seam stability evaluation using the fuzzy pattern recognition method is proposed, with an analysis of the key factors affecting the coal seam stability, to determine the characteristics of the coal seam stability evaluation factors, and to build the fuzzy evaluation for different types of coal seam in language patterns and their membership functions. To verify the feasibility of the method, an example is taken for the evaluation. The results show that the method can realize the quantitative partition for the stability of the coal seam type and belonging, can provide the basis for the coal seam mineable analysis, the mining safety evaluation, and the mining method choice.

Keywords coal seam stability; fuzzy pattern recognition; quantitative evaluation

0 引言

不同矿区、不同成煤时期、不同开采条件的煤层具有不同的稳定性,不同稳定类型煤层需要不同的开采技术、开采装备、开采工艺参数等,煤层越复杂,其生产系统、开采技术越复杂,开采过程中安全隐患越多。近年来,国内学者开展了对煤层稳定性、复杂性方面的评价研究,刘建华等^[1]运用灰色系统理论中灰色聚类方法,对淮南煤田某井田煤层的稳定性进行定量评价;于莉莉等^[2]借鉴东煤地质局专家刘铁提出的变概比(CPR),对胜利煤田锡林露天矿主采煤层进行了煤层稳定性定量评价;阎严^[3]根据煤层厚度变化、煤层可采性、煤层结构等指标,利用数学统计方法探讨了煤层稳定性综合评价方法;霍丙杰^[4]等提出了煤层复杂性多因素模糊综合评价

方法。这些研究主要集中于单因素或半定性半定量的评价,而缺少综合性的定量评价方法。本文在分析筛选煤层稳定性关键影响因素的基础上,研究基于模糊模式识别的煤层稳定性综合量化评价方法。

1 煤层稳定性影响因素及评价指标

1.1 煤层稳定性影响因素

煤层稳定性受诸多因素的影响,总体可分为几何类因素和安全类因素两类,几何类因素属于不可控因素,安全类因素属于可控因素,不可控因素对煤层的稳定性影响占主导地位。几何类因素主要包括煤层赋存的断层构造条件、煤层倾角、煤层厚度变化、煤层顶底板条件、含夹矸层数及厚度、岩

收稿日期:2013-04-19;修回日期:2013-06-22

基金项目:国家自然科学基金项目(50874058)

作者简介:霍丙杰,讲师,研究方向为复杂难采煤层开采理论与技术、矿山压力与岩层控制,电子邮箱:huobingjie@163.com

溶塌陷、岩浆侵入以及埋藏深度等。安全类因素主要包括水文环境、瓦斯等级、煤层自然发火性以及煤尘爆炸性等。

影响煤层稳定性的因素一定意义上都具有不确定性,即模糊性。在进行煤层稳定性分类的定量综合评价中,这种不确定性是必须考虑的重要特性。因此,可采用模糊模式识别方法对定性因素进行定量分析。

1.2 煤层稳定类型划分及评价指标

借鉴国内外对煤层稳定性、复杂性的研究成果,笔者认为“煤及油页岩勘探规范”中提出的划分方案较合理,将煤层分为稳定型、较稳定型、不稳定型和极不稳定型4个级别^[4-11]。

评价指标的选择直接关系到评价的准确程度,评价指标应既能从本质上反映煤层赋存特性,又利于利用现有资料科学地反映煤层的稳定程度,且符合科学性、简明性、系统整体性、可比量可行及动态导向性原则。按照这一原则,根据煤层稳定性影响因素分析结果,从井下工程适用性出发,并考虑评价模型的简化,选取影响煤层稳定性的关键因素断层构造、褶曲构造和煤层厚度变化作为评价指标。

2 基于模糊模式识别的量化评价方法

2.1 模糊模式识别方法及评价因子

模式识别(Pattern Recognition)是20世纪60年代初发展起来的一门学科。由于客观事物本身的模糊性,人们对客观事物反映时所产生的模糊性大量存在,因此提出了模糊模式识别(Fuzzy Pattern Recognition)的理论^[12,13]。

模式识别工作可分为3个步骤^[14,15],即选取模式的特征因子集合、建立模糊模式及其隶属函数和归属判决。在模式识别的具体应用中,最关键的问题是模式或被识别对象的隶属函数构造,通常有3种主要方法,即简单模糊模式识别、基于语言模式的模糊模式识别和基于统计模式的模糊模式识别。本文应用基于语言模式的模糊模式识别方法,根据模糊综合评价最大隶属度原则进行煤层稳定性类型评判。

将筛选的煤层稳定性评价指标褶曲构造用煤层倾角变化表示,确定评价特征因子为断层构造条件 X_1 、煤层倾角变化 X_2 和煤层厚度变化 X_3 ,则模式的特征因子集合为

$$X=\{X_1, X_2, X_3\} \quad (1)$$

被识别的对象可表示为 $X_1 \times X_2 \times X_3$ 上的向量 (x_1, x_2, x_3) , $x_i \in X_i$ ($i=1, 2, 3$)。

2.2 模糊评价语言模式及其隶属函数的建立

根据煤层稳定性模式的特征因子和煤层稳定类型,在煤层稳定性类型模式识别中,煤层的稳定类型特征可以用下述语言描述。

I类(稳定型煤层)的语言模式:断层构造条件简单且煤层倾角变化小且煤层厚度变化小。

II类(较稳定型煤层)的语言模式:断层构造条件较简单且煤层倾角变化较小且煤层厚度变化较小。

III类(不稳定型煤层)的语言模式:断层构造条件复杂或者煤层倾角变化大或者煤层厚度变化大。

IV类(极不稳定型煤层)的语言模式:断层构造条件复杂且煤层倾角变化大,或者断层构造条件复杂且煤层厚度变化大,或者煤层倾角变化大且煤层厚度变化大。

这里引入模糊概念的集合表示。特征因子 X_1 上的模糊概念对应的模糊集分别为: \underline{A}_1 表示断层构造条件简单, \underline{A}_2 表示断层构造条件较复杂, \underline{A}_3 表示断层构造条件复杂,即

$$\underline{A}_1, \underline{A}_2, \underline{A}_3 \in F(X_1) \quad (2)$$

特征因子 X_2 上的模糊概念对应的模糊集分别为: \underline{B}_1 表示煤层倾角变化范围很小, \underline{B}_2 表示煤层倾角变化范围较小, \underline{B}_3 表示煤层倾角变化范围大,即

$$\underline{B}_1, \underline{B}_2, \underline{B}_3 \in F(X_2) \quad (3)$$

特征因子 X_3 上的模糊概念对应的模糊集分别为: \underline{C}_1 表示煤层厚度变化很小, \underline{C}_2 表示煤层厚度变化较小, \underline{C}_3 表示煤层厚度变化大,即

$$\underline{C}_1, \underline{C}_2, \underline{C}_3 \in F(X_3) \quad (4)$$

设 \underline{M} 为煤层稳定类型模糊集,基于确定的煤层稳定性特征语言模式,对4类煤层稳定类型相应的模糊集合运算分别叙述如下。

I类(稳定型煤层)的模糊集合运算形式为

$$\underline{M}_1 = \underline{A}_1 \cap \underline{B}_1 \cap \underline{C}_1 \quad (5)$$

对于给定的待识别煤层,可分析得到各种特征数据 (x_1, x_2, x_3) ,则该煤层属于“I类(稳定型煤层)”的程度,可用隶属函数表示为

$$\mu_{\underline{M}_1}(x_1, x_2, x_3) = \mu_{\underline{A}_1}(x_1) \wedge \mu_{\underline{B}_1}(x_2) \wedge \mu_{\underline{C}_1}(x_3) \quad (6)$$

II类(较稳定型煤层)的模糊集合运算形式为

$$\underline{M}_2 = \underline{A}_2 \cap \underline{B}_2 \cap \underline{C}_2 \quad (7)$$

对于给定的待识别煤层,可分析得到各种特征数据 (x_1, x_2, x_3) ,则该煤层属于II类(较稳定型煤层)的程度,可用隶属函数表示为

$$\mu_{\underline{M}_2}(x_1, x_2, x_3) = \mu_{\underline{A}_2}(x_1) \wedge \mu_{\underline{B}_2}(x_2) \wedge \mu_{\underline{C}_2}(x_3) \quad (8)$$

III类(不稳定型煤层)的模糊集合运算形式为

$$\underline{M}_3 = \underline{A}_3 \cup \underline{B}_3 \cup \underline{C}_3 \quad (9)$$

对于给定的待识别煤层,可分析得到各种特征数据 (x_1, x_2, x_3) ,则该煤层属于III类(不稳定型煤层)的程度,可用隶属函数表示为

$$\mu_{\underline{M}_3}(x_1, x_2, x_3) = \mu_{\underline{A}_3}(x_1) \vee \mu_{\underline{B}_3}(x_2) \vee \mu_{\underline{C}_3}(x_3) \quad (10)$$

IV类(极不稳定型煤层)的模糊集合运算形式为

$$\underline{M}_4 = (\underline{A}_3 \cap \underline{B}_3) \cup (\underline{A}_3 \cap \underline{C}_3) \cup (\underline{B}_3 \cap \underline{C}_3) \quad (11)$$

对于给定的待识别煤层,可分析得到各种特征数据(x_1, x_2, x_3),则该煤层属于IV类(极不稳定型煤层)的程度,可用隶属函数表示为

$$\mu_{\sim M_i}(x_1, x_2, x_3) = [\mu_{\sim A_i}(x_1) \wedge \mu_{\sim B_i}(x_2)] \vee [\mu_{\sim A_i}(x_1) \wedge \mu_{\sim C_i}(x_3)] \vee [\mu_{\sim B_i}(x_2) \wedge \mu_{\sim C_i}(x_3)] \quad (12)$$

2.3 模糊子集隶属函数的构建

根据煤矿井下生产经验数据分析及咨询专家意见,建立的煤层稳定性模糊模式识别评价方法的评价对象尺度以井田内某一开采单元(采煤工作面或采区)比较合适。同时,为了简化评价模糊子集,断层构造条件仅用断层数量表示(不考虑断层落差、倾角等因素,以后接着研究),褶曲构造对煤层的影响通过煤层倾角的变化来分析。其中,断层构造条件简单,则相应的断层数量取值判别范围为 $x_1 \leq 2$; 断层构造条件较复杂,则相应的断层数取值判别范围为 $2 < x_2 < 5$; 断层构造条件复杂,则相应的断层数取值判别范围为 $x_3 \geq 5$, 这里分析的断层均指划入采区范围内的小型断层。煤层倾角变化指开采单元中煤层倾角变化范围的差值,其中煤层倾角变化范围很小,则相应的煤层倾角变化取值判别范围为 $x_1 \leq 5^\circ$; 煤层倾角变化范围较小,则相应的煤层倾角变化取值判别范围为 $5^\circ < x_2 < 15^\circ$; 煤层倾角变化大,则相应的煤层倾角变化取值判别范围为 $x_3 \geq 15^\circ$ 。煤层厚度变化用煤厚变概比表示,其中煤层厚度变化很小,则相应的煤厚变概比取值判别范围为 $x_1 \leq 20$; 煤层厚度变化较小,则相应的变概比取值判别范围为 $20 < x_2 < 50$; 煤层厚度变化大,则相应的变概比取值判别范围为 $x_3 \geq 50$ 。

模糊子集 $\sim A_1, \sim A_2, \sim A_3, \sim B_1, \sim B_2, \sim B_3, \sim C_1, \sim C_2, \sim C_3$ 的隶属函数构建如下:

$$\mu_{\sim A_1}(x_1) = \begin{cases} 1 & x_1 \leq 2 \\ \frac{1}{1+(x_1-2)^4} & x_1 > 2 \end{cases} \quad (13)$$

该隶属函数的图形如图1所示。

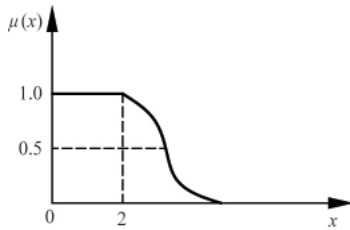


图1 $\mu_{\sim A_1}(x_1)$ 的图形

Fig. 1 Figure of $\mu_{\sim A_1}(x_1)$

$$\mu_{\sim A_2}(x_1) = \begin{cases} 0 & x_1 \leq 2 \\ \frac{1}{1+\frac{1}{2}(x_1-4)^2} & 2 < x_1 < 5 \\ 0 & x_1 \geq 5 \end{cases} \quad (14)$$

该隶属函数的图形如图2所示。

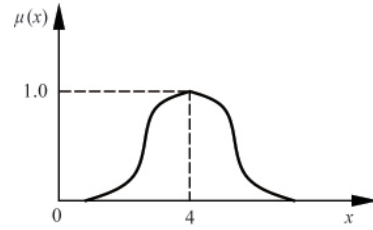


图2 $\mu_{\sim A_2}(x_1)$ 的图形

Fig. 2 Figure of $\mu_{\sim A_2}(x_1)$

$$\mu_{\sim A_3}(x_1) = \begin{cases} \frac{1}{1+(x_1-5)^2} & x_1 < 5 \\ 1 & x_1 \geq 5 \end{cases} \quad (15)$$

该隶属函数的图形如图3所示。

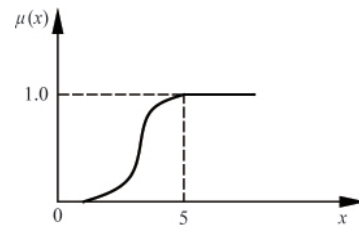


图3 $\mu_{\sim A_3}(x_1)$ 的图形

Fig. 3 Figure of $\mu_{\sim A_3}(x_1)$

$$\mu_{\sim B_1}(x_2) = \begin{cases} 1 & x_2 \leq 5 \\ 1-2\left(\frac{x_2-5}{10}\right)^2 & 5 < x_2 \leq 10 \\ 2\left(\frac{x_2-15}{10}\right)^2 & 10 < x_2 < 15 \\ 0 & x_2 \geq 15 \end{cases} \quad (16)$$

该隶属函数 $\mu_{\sim B_1}(x_2)$ 的图形如图4所示。

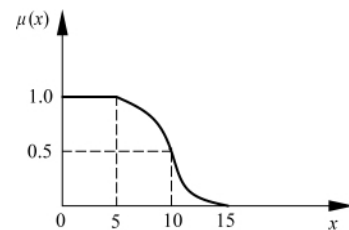


图4 $\mu_{\sim B_1}(x_2)$ 的图形

Fig. 4 Figure of $\mu_{\sim B_1}(x_2)$

$$\mu_{\sim B_2}(x_2) = \begin{cases} 0 & x_2 \leq 5 \\ \frac{1}{1+2(x-10)^2} & 5 < x_2 < 15 \\ 0 & x_2 \geq 15 \end{cases} \quad (17)$$

该隶属函数的图形如图 5 所示。

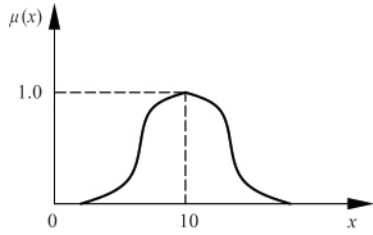


图 5 $\mu_{B_2}(x_2)$ 的图形

Fig. 5 Figure of $\mu_{B_2}(x_2)$

$$\mu_{B_2}(x_2) = \begin{cases} 0 & x_2 \leq 5 \\ 2\left(\frac{x_2-5}{10}\right)^2 & 5 < x_2 \leq 10 \\ 1-2\left(\frac{x_2-15}{10}\right)^2 & 10 < x_2 < 15 \\ 1 & x_2 \geq 15 \end{cases} \quad (18)$$

该隶属函数的图形如图 6 所示。

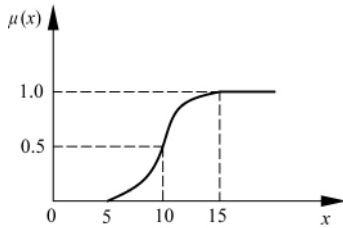


图 6 $\mu_{B_3}(x_2)$ 的图形

Fig. 6 Figure of $\mu_{B_3}(x_2)$

$$\mu_{C_1}(x_3) = \begin{cases} 1 & x_3 \leq 20 \\ 1-\frac{x_3-20}{40} & 20 < x_3 \leq 40 \\ 2\left(\frac{x_3-40}{50}\right) & 40 < x_3 < 50 \\ 0 & x_3 \geq 50 \end{cases} \quad (19)$$

该隶属函数的图形如图 7 所示。

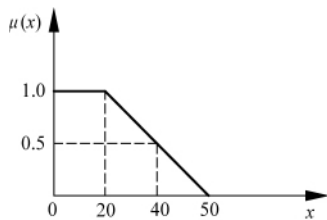


图 7 $\mu_{C_1}(x_3)$ 的图形

Fig. 7 Figure of $\mu_{C_1}(x_3)$

$$\mu_{C_2}(x_3) = \begin{cases} 0 & x_3 \leq 20 \\ \frac{1}{1+2(x_3-40)^2} & 20 < x_3 < 50 \\ 0 & x_3 \geq 50 \end{cases} \quad (20)$$

该隶属函数的图形如图 8 所示。

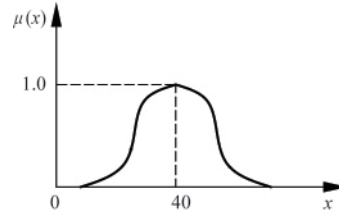


图 8 $\mu_{C_2}(x_3)$ 的图形

Fig. 8 Figure of $\mu_{C_2}(x_3)$

$$\mu_{C_3}(x_3) = \begin{cases} 0 & x_3 \leq 20 \\ 2\left(\frac{x_3-20}{40}\right)^2 & 20 < x_3 \leq 40 \\ 1-2\left(\frac{x_3-40}{50}\right)^2 & 40 < x_3 < 50 \\ 1 & x_3 \geq 50 \end{cases} \quad (21)$$

该隶属函数的图形如图 9 所示。

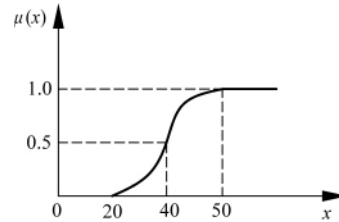


图 9 $\mu_{C_3}(x_3)$ 的图形

Fig. 9 Figure of $\mu_{C_3}(x_3)$

这样,可以通过分析待判定煤层的特征数据 (x_1, x_2, x_3) , 根据模糊子集 $A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, B_3, C_1, C_2, C_3$ 的隶属函数以及

$\mu_{M_1}, \mu_{M_2}, \mu_{M_3}, \mu_{M_4}$, 根据最大隶属度原则, 求出待判定煤层的稳定性类型为:

$$\tilde{M} = \max\{\tilde{M}_1, \tilde{M}_2, \tilde{M}_3, \tilde{M}_4\} \quad (22)$$

3 实例评价

为了验证建立的基于模糊模式识别的煤层稳定性量化评价方法的可行性, 运用该方法对大安山煤矿+680m 水平西三采区轴 9 上煤层进行实例评价。

3.1 煤层特征因子分析

大安山煤矿+680m 水平西三采区轴 9 上煤层位于百草台箱型倒转向斜轴底, 煤层总体走向 $80^\circ \sim 90^\circ$, 倾向 $N350^\circ \sim N360^\circ$ 。根据现有资料分析, 采区内小断层较发育, 断层数 4 条, 断层性质大部分为正断层, 断距约为 $0.50 \sim 2.50\text{m}$, 倾角变化为 $15^\circ \sim 26^\circ$, 平均倾角为 17° , 煤层倾角变化量为 11° , 煤层

厚度变化为 0.60~2.60m,煤层平均厚度为 1.5m。根据巷道揭煤资料,计算得+680m 水平西三采区 9 上煤层厚度变异系数为 0.40,变概比为 44.53,因此 9 上煤层的特征因子为

$$\begin{cases} x_1=4 \\ x_2 \in [15, 26] \\ x_3=44.53 \end{cases}$$

3.2 模糊模式及模糊子集隶属度分析

根据 $\underline{A}_1, \underline{A}_2, \underline{A}_3, \underline{B}_1, \underline{B}_2, \underline{B}_3, \underline{C}_1, \underline{C}_2, \underline{C}_3$ 的隶属函数,求得

$$\begin{aligned} \underline{\mu}_{\underline{A}_1}(x_1) &= 0.0588 & \underline{\mu}_{\underline{A}_2}(x_1) &= 1 & \underline{\mu}_{\underline{A}_3}(x_1) &= 0.5 \\ \underline{\mu}_{\underline{B}_1}(x_2) &= 0.32 & \underline{\mu}_{\underline{B}_2}(x_2) &= 0.3333 & \underline{\mu}_{\underline{B}_3}(x_2) &= 0.68 \\ \underline{\mu}_{\underline{C}_1}(x_3) &= 0.18 & \underline{\mu}_{\underline{C}_2}(x_3) &= 0.0241 & \underline{\mu}_{\underline{C}_3}(x_3) &= 0.9838 \end{aligned}$$

3.3 归属判决

根据上述分析可知,+680m 水平西三采区轴 9 上煤层属于 I 类(稳定型煤层)的程度为

$$\underline{\mu}_{\underline{M}_1}(x_1, x_2, x_3) = \underline{\mu}_{\underline{A}_1}(x_1) \wedge \underline{\mu}_{\underline{B}_1}(x_2) \wedge \underline{\mu}_{\underline{C}_1}(x_3) = 0.18$$

+680m 水平西三采区轴 9 上煤层属于 II 类(较稳定型煤层)的程度为

$$\underline{\mu}_{\underline{M}_2}(x_1, x_2, x_3) = \underline{\mu}_{\underline{A}_2}(x_1) \wedge \underline{\mu}_{\underline{B}_2}(x_2) \wedge \underline{\mu}_{\underline{C}_2}(x_3) = 0.3333$$

+680m 水平西三采区轴 9 上煤层属于 III 类(不稳定型煤层)的程度为

$$\underline{\mu}_{\underline{M}_3}(x_1, x_2, x_3) = \underline{\mu}_{\underline{A}_3}(x_1) \vee \underline{\mu}_{\underline{B}_3}(x_2) \vee \underline{\mu}_{\underline{C}_3}(x_3) = 0.9838$$

+680m 水平西三采区轴 9 上煤层属于 IV 类(极不稳定型煤层)的程度为

$$\begin{aligned} \underline{\mu}_{\underline{M}_4}(x_1, x_2, x_3) &= \left[\underline{\mu}_{\underline{A}_1}(x_1) \wedge \underline{\mu}_{\underline{B}_1}(x_2) \right] \vee \\ &\left[\underline{\mu}_{\underline{A}_3}(x_1) \wedge \underline{\mu}_{\underline{C}_3}(x_3) \right] \vee \left[\underline{\mu}_{\underline{B}_3}(x_2) \wedge \underline{\mu}_{\underline{C}_3}(x_3) \right] = 0.68 \end{aligned}$$

根据最大隶属度原则,大安山煤矿+680m 水平西三采区轴 9 上煤层的归属判决为 III 类(不稳定型煤层),从开采的角度评价该区域 9 上煤层基本可采,但煤层较复杂。根据煤层稳定性等级与采煤工艺之间的关系研究成果(另文叙述),建议选择普通机械化开采工艺。大安山煤矿过去一直采用炮采工艺,这次根据评价结果采用普通机械化开采工艺对 9 上煤层进行开采,取得了良好的技术经济效果,说明评价结果对现场采煤工艺选择起到了指导作用。

4 结论

(1) 本文提出的煤层稳定性模糊模式识别评价方法,实现了对煤层稳定性的定量评价。实例评价结果表明,基于模糊模式识别理论的评价方法是可行的,评价结果对现场采煤工艺选择和安全开采具有实际指导作用。

(2) 在本文方法中,评价因子的选取、模糊子集隶属函数的建立、模糊子集取值范围的确定等对评价结果均有较大的影响。本文在研究过程中征求了相关专家的意见,但是主观

成分仍然存在,后续的研究将进一步完善评价指标体系和相应隶属函数。

参考文献 (References)

- [1] 刘建华,汪大发.煤层稳定性的灰色评价之研究[J].煤炭学报,1998,23(4):406-411.
Liu Jianhua, Wang Dafa. Journal of China Coal Society, 1998, 23(4): 406-411.
- [2] 于莉莉,徐会,陈立云.煤层稳定性定量评价之研究[J].中国煤田地质,2007,19(4):16-24.
Yu Lili, Xu Hui, Chen Liyun. Coal Geology of China, 2007, 19(4): 16-24.
- [3] 阎严.关于煤层稳定性评价方法的探讨[J].企业科技与发展,2008(10):209-210.
Yan Yan. Enterprise Sci-tech & Development, 2008(10): 209-210.
- [4] 霍丙杰,张宏伟,张志.煤层稳定性评价理论探讨[J].世界科技研究与发展,2010,31(4):545-550.
Huo Bingjie, Zhang Hongwei, Zhang Zhi. World Sci-Tech Research and Development[J]. 2010, 31(4): 545-550.
- [5] 汪吉林,吴圣林,丁陈建,等.复杂地貌多煤层采空区的稳定性评价[J].煤炭学报,2009,34(4):466-471.
Wang Jilin, Wu Shenglin, Ding Chenjian, et al. Journal of China Coal Society, 2009, 34(4): 466-471.
- [6] 张小兵,王忠强,张伟.急倾斜煤层可采工艺性评价及应用研究[J].中国矿业大学学报,2007,36(3):381-385.
Zhang Xiaobing, Wang Zhongqiang, Zhang Wei, et al. Journal of China University of Mining & Technology, 2007, 36(3): 381-385.
- [7] 孟召平,王睿,汪元有,等.开滦范各庄井田 12 煤层底板突水危险性的地质评价[J].采矿与安全工程学报,2010,27(3):310-315.
Meng Zhaoping, Wang Rui, Wang Yuanyou, et al. Journal of Mining & Safety Engineering, 2010, 27(3): 310-315.
- [8] 刘海燕.兖州煤田主采煤层顶板稳定性评价[D].青岛:山东科技大学,2004.
Liu Haiyan. The stability evaluation of main coal seam's roof in Yanzhou coal field [D]. Qingdao: Shandong University of Science and Technology, 2004.
- [9] 刘衡秋,刘钦甫,付正,等.淮南潘三矿区 13-1 煤层空间分布特征及稳定性研究[J].煤田地质与勘探,2004,32(1):21-23.
Liu Hengqiu, Liu Qinfu, Fu Zheng, et al. Coal Geology & Exploration, 2004, 32(1): 21-23.
- [10] 王猛,题正义.模糊综合评判在深部煤层稳定性评价中的应用[J].矿业安全与环保,2006,33(5):48-50.
Wang Meng, Ti Zhengyi. Mining Safety & Environmental Protection, 2006, 33(5): 48-50.
- [11] 宋子岭,马云东.我国露天煤田分类研究(I):分类指标体系的建立[J].煤炭学报,2008,33(9):1002-1005.
Song Ziling, Ma Yundong. Journal of China Coal Society, 2008, 33(9): 1002-1005.
- [12] Marques de sa J P. Pattern recognition: Concepts, methods and applications[M]. Berlin: Springer-Verlag, 2001.
- [13] 刘丙军,陈晓宏.东江流域降水空间分布模式识别[J].中山大学学报:自然科学版,2009,48(5):148-152.
Liu Bingjun, Chen Xiaohong. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni 2009, 48(5): 148-152.
- [14] 郭嗣琮.工程应用软计算[M].徐州:中国矿业大学出版社,2009.
Guo Sicong. Soft computing application in engineering [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2009.
- [15] 王振中,薛林福,陈思雨.沉积相模糊模式识别法及应用[J].油气地球物理,2008,6(3):30-32.
Wang Zhenzhong, Xue Linfu, Chen Siyu. Petroleum Geophysics, 2008, 6(3): 30-32.

(责任编辑 韩星明)