

# 综放沿空掘巷围岩稳定性分类模型及应用

朱川曲, 王卫军, 施式亮

(湖南科技大学能源与安全工程学院, 湖南湘潭 411201)

**[摘要]** 讨论了综放沿空掘巷围岩的稳定性, 并根据理论分析、实践经验和现场观测数据的整理分析, 构造了综放沿空掘巷围岩稳定性影响因素的隶属函数, 建立了灰色-模糊分类模型; 实际应用表明, 该模型准确、可靠, 对于综放沿空掘巷的支护设计、施工和管理具有指导作用。

**[关键词]** 综放沿空掘巷; 围岩稳定性; 分类模型; 隶属函数

**[中图分类号]** TD322.4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2006)03-0035-04

巷道围岩稳定性分类可为巷道支护设计、施工和管理提供科学依据。几十年来, 国内外学者对地下工程围岩稳定性分类进行了大量研究, 提出了许多分类方法。根据分类时所考虑的因素和采用的指标不同, 巷道围岩稳定性分类大致可归纳为5种方法<sup>[1]</sup>: a. 单因素单指标分类法; b. 多因素定性与定量指标相结合分类法; c. 多因素单一综合指标分类法; d. 多因素多指标分类法; e. 模糊聚类分类法。这些分类方法中, a方法采用单一指标来判断受多种因素影响的围岩稳定性是不完善的。b, c, d方法虽然避免了单因素单指标分类法的局限性, 但由于考虑的影响因素不全面和准确, 而且对定性指标的区分带有主观性, 在不同程度上影响围岩分类结果的客观性。e方法对于模糊性强、多因素、多指标的巷道围岩稳定性分类, 有一定的适用性和科学性, 但这种分类方法要求的样本数量很大, 否则, 难于保证分类结果的准确性。

综放沿空掘巷是一类特殊巷道, 其围岩特征与普通的回采巷道不同, 也与留宽煤柱护巷的综放回采巷道不同<sup>[2]</sup>。对综放沿空掘巷围岩稳定性分类的研究是一个新的课题, 具有重要的实际意义。影响综放沿空掘巷围岩稳定性的因素中有一些是非确定

性的, 且具有随机性、模糊性, 因此, 笔者综合应用灰色系统理论和模糊数学理论对综放沿空掘巷进行围岩稳定性分类研究。

## 1 围岩稳定性影响因素及其隶属函数

根据综放沿空掘巷的特征, 围岩稳定性的影响因素主要有围岩强度、煤层强度、巷道埋藏深度、围岩节理裂隙发育程度、采动影响、顶煤厚度、煤柱宽度、巷道断面。影响因素的隶属函数由理论分析、实践经验和观测、统计数据的整理分析确定。

### 1.1 围岩强度

围岩强度  $p_1$  (MPa) 反映围岩自身承载能力的大小, 对巷道变形和破坏起重要作用。围岩强度越小, 围岩变形破坏程度越大, 巷道稳定性越差。岩石的单轴抗压强度能够反映围岩力学、物理性质, 因此取巷道宽度2倍范围内的顶板岩石、巷道宽度1倍范围内底板岩石的单轴抗压强度的加权平均值作为围岩的强度指标。围岩强度的隶属函数为

$$\mu_1 = \begin{cases} 0.5 & p_1 < 20, \\ 0.35p_1/3 - 5.5/3 & 20 \leq p_1 < 50, \\ 0.1p_1/3 + 7/3 & 50 \leq p_1 < 80, \\ 5 & p_1 \geq 80. \end{cases}$$

**[收稿日期]** 2004-10-28; **修回日期** 2005-11-24

**[基金项目]** 国家自然科学基金资助项目(50274060); 湖南省自然科学基金资助项目(03JJY3077)

**[作者简介]** 朱川曲(1962-), 男, 湖南望城县人, 博士, 湖南科技大学教授

## 1.2 煤层强度

由于综放沿空掘巷的两帮及顶板均为煤层,煤层强度  $p_2$  (MPa) (单轴抗压强度) 对综放沿空掘巷的稳定性有较大影响。煤层强度的隶属函数为

$$\mu_2 = \begin{cases} 0.5 & p_2 < 10, \\ 0.25p_2/3 - 2 & 10 \leq p_2 < 20, \\ 2p_2/15 + 1/3 & 20 \leq p_2 < 35, \\ 5 & p_2 \geq 35. \end{cases}$$

## 1.3 巷道埋藏深度

原岩应力对巷道围岩稳定性影响很大<sup>[3]</sup>,它包括自重应力和构造应力。自重应力一般等于  $\gamma H$ ,  $\gamma$  为上覆岩层的平均容重,  $H = p_3$  (m) 为巷道埋藏深度,随巷道埋藏深度的增加而加大。因此,巷道埋藏深度的大小决定了自重应力的大小,因而直接影响巷道围岩的稳定性。大量的现场矿压观测表明,随着巷道埋藏深度的增加,巷道矿压显现加剧,巷道围岩移近量加大,巷道的稳定性降低。巷道埋藏深度的隶属函数为

$$\mu_3 = \begin{cases} 5 & p_3 < 200, \\ -0.005p_3 + 6 & 200 \leq p_3 < 500, \\ -0.006p_3 + 6.5 & 500 \leq p_3 < 1000, \\ 0.5 & p_3 \geq 1000. \end{cases}$$

## 1.4 围岩节理裂隙发育程度

一般煤岩体不同程度地含有层理、节理、裂隙、软弱夹层等,这些弱面和结构面在很大程度上削弱了煤岩体的完整性,降低了煤岩体的强度,可能引起围岩失稳,造成巷道稳定性差,维护困难。

围岩节理裂隙发育程度  $p_4$  属于定性因素,采用分类方式表示,其类别划分及函数值  $\mu_4$  见表1。

表1 围岩节理裂隙发育程度的类别及函数值

Table 1 The classification and functional value of joint and crack of surrounding rock

| 类别          | 很发育 | 发育  | 中等发育 | 不发育 |
|-------------|-----|-----|------|-----|
| 函数值 $\mu_4$ | 0.5 | 2.0 | 3.5  | 5.0 |

## 1.5 采动影响

采动影响是指工作面回采引起的超前支撑压力的影响,采动影响系数用直接顶厚度与采高的比值  $p_5$  表示。直接顶厚度越大,工作面采高越小,则老顶的支撑条件越好,工作面回采引起的支撑压力越小,有利于巷道的稳定;否则,巷道的稳定性降低。采动影响的隶属函数为

$$\mu_5 = \begin{cases} 0.5 & p_5 < 0.5, \\ 1.2p_5 - 0.1 & 0.5 \leq p_5 < 3, \\ 1.5p_5 - 1 & 3 \leq p_5 < 4, \\ 5 & p_5 \geq 4. \end{cases}$$

## 1.6 顶煤厚度

综放沿空掘巷不同于一般的巷道,其顶部为一定厚度的顶煤,而顶煤厚度  $p_6$  (m) 对巷道的稳定性有重要影响。一般情况下,顶煤厚度越大,老顶给定变形越大,则巷道的稳定性越差。顶煤厚度的隶属函数为

$$\mu_6 = \begin{cases} -p_6 + 6.5 & 1.5 \leq p_6 < 3, \\ -1.5p_6 + 8 & 3 \leq p_6 < 5, \\ 0.5 & p_6 \geq 5. \end{cases}$$

## 1.7 煤柱宽度

综放沿空掘巷护巷煤柱宽度  $p_7$  (m) 直接影响到侧向支撑压力的大小,而侧向支撑压力引起巷道的强烈变形,因此,护巷煤柱宽度是影响综放沿空掘巷稳定性的十分重要的因素。根据现场观测和实验室研究,当煤柱宽度较小时,随着护巷煤柱宽度的加大,巷道围岩变形量急剧增加并达到一个峰值。峰值过后,随着护巷煤柱宽度的增加,巷道围岩变形量开始下降。一般情况下,综放沿空掘巷的护巷煤柱宽度在1~8 m之间。煤柱宽度的隶属函数为

$$\mu_7 = \begin{cases} -0.5p_7 + 2.5 & 1 \leq p_7 < 4, \\ 2.5p_7 - 9.5 & 4 \leq p_7 < 5, \\ 2p_7/3 - 1/3 & 5 \leq p_7 < 8. \end{cases}$$

## 1.8 巷道断面

巷道断面的形状及其大小影响围岩应力的重新分布及围岩变形量的大小<sup>[4]</sup>。巷道宽度增加时,顶底板移近率增加;巷道高度增加时,两帮移近率增加;巷道断面面积  $p_8$  (m<sup>2</sup>) 越大,则悬露顶板范围就越大,在重力或构造应力作用下,更易使顶板发生离层现象或弯曲破坏。另外,随着巷道断面面积的增大,将导致巷道周围破碎区的扩大,引起巷道周边位移的增加。巷道断面的隶属函数为

$$\mu_8 = \begin{cases} 5 & p_8 < 5, \\ -0.3p_8 + 6.5 & 5 \leq p_8 < 10, \\ -0.6p_8 + 9.5 & 10 \leq p_8 < 15, \\ 0.5 & p_8 \geq 15. \end{cases}$$

## 2 灰色-模糊分类模型

应用灰色决策中的灰色统计方法及模糊数学理

论建立综放沿空掘巷围岩稳定性分类模型<sup>[5]</sup>。

令  $V = \{V_1, V_2, V_3, V_4, V_5\} = \{\text{非常稳定, 稳定, 中等稳定, 不稳定, 极不稳定}\}$  为综放沿空掘巷围岩稳定性类别, 即  $\{I, II, III, IV, V\}$  5个类别, 对应  $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5$  有图1中 a, b, c, d, e 表示的标准函数, 图1中  $f_k (k = 1, 2, \dots, 5)$  为隶属函数值  $\mu_i$  属于第  $k$  类的值。以  $f_k (p_i)$  表示待分类的综放沿空掘巷的隶属函数值  $\mu_i$  通过第  $k$  个标准函数查得的值, 则该综放沿空掘巷围岩稳定性属于第  $k$  类的灰色统计数

$$C_k = \sum_{i=1}^m f_k(p_i) a_i,$$

式中  $a_i$  为指标的权值,  $m$  为指标数目。

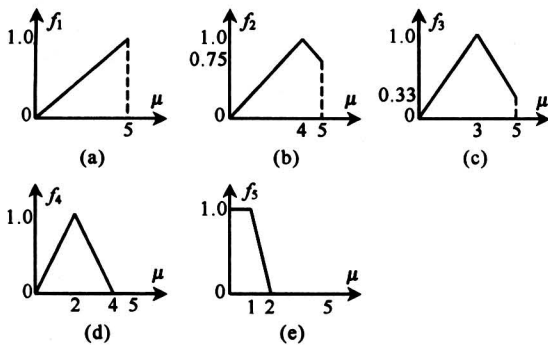


图1 标准函数

Fig.1 Standard function

综放沿空掘巷围岩稳定性影响因素的指标权值, 采用层次分析法, 由专家和现场经验丰富的工程技术人员综合确定, 其步骤为: a. 建立层次结

构模型; b. 构造判断矩阵; c. 层次单排序; d. 层次总排序; e. 一致性检验。聘请12位专家, 建立了12套判断矩阵, 通过解矩阵的特征值确定各项指标相对重要性权值, 并进行一致性检验且全部通过, 其结果见表2。

表2 指标的权值

Table 2 The weight of indexes

| 指标 | $p_1$ | $p_2$ | $p_3$ | $p_4$ | $p_5$ | $p_6$ | $p_7$ | $p_8$ |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 权值 | 0.15  | 0.22  | 0.12  | 0.08  | 0.10  | 0.07  | 0.18  | 0.08  |

综放沿空掘巷围岩稳定性的灰色统计数  $C$ , 和围岩稳定性属于第  $k$  类的灰色数  $b_k$  分别为:

$$C = \sum_{k=1}^5 C_k,$$

$$b_k = \frac{C_k}{C}.$$

因此, 待分类的综放沿空掘巷围岩稳定性从属于灰类  $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5$  的权值向量

$$B = (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5).$$

令  $B^* = b_j = \max \{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5\}$ , 则该综放沿空掘巷围岩稳定性属于第  $j$  类。

### 3 分类模型的应用

应用上述灰色-模糊分类模型对兖州矿业集团兴隆庄矿、东滩矿和水城矿业集团汪家寨矿的6条综放沿空掘巷进行分类, 其围岩稳定性影响因素指标值及分类结果见表3。分类结果与实际巷道的围岩稳定状况相符, 说明分类模型的准确性较高。

表3 围岩稳定性影响因素及分类结果

Table 3 The influence factors and classified results of the stability of surrounding rock

| 巷道序号 | $p_1/\text{MPa}$ | $p_2/\text{MPa}$ | $p_3/\text{m}$ | $p_4$ | $p_5$ | $p_6/\text{m}$ | $p_7/\text{m}$ | $p_8/\text{m}^2$ | 分类结果 |
|------|------------------|------------------|----------------|-------|-------|----------------|----------------|------------------|------|
| 1    | 42.5             | 16.1             | 486            | 中等发育  | 2.06  | 3.5            | 4.5            | 10.7             | III  |
| 2    | 37.8             | 14.7             | 492            | 很发育   | 1.51  | 3.7            | 4.0            | 11.6             | IV   |
| 3    | 38.2             | 13.4             | 652            | 发育    | 1.92  | 2.5            | 3.9            | 11.5             | IV   |
| 4    | 37.1             | 12.7             | 647            | 发育    | 1.64  | 2.6            | 3.6            | 12.0             | IV   |
| 5    | 45.2             | 14.0             | 347            | 中等发育  | 2.23  | 3.5            | 5.5            | 10.2             | III  |
| 6    | 55.0             | 13.9             | 375            | 发育    | 2.12  | 5.0            | 4.8            | 10.5             | III  |

### 4 结论

1) 综放沿空掘巷是一类特殊巷道, 其围岩稳定性分类研究是一个新课题。笔者在综放沿空掘巷

围岩稳定性影响因素分析的基础上建立的灰色-模糊分类模型, 可为综放沿空掘巷的支护方式、支护参数的合理选择及施工和管理提供科学依据。

2) 实际应用表明, 灰色-模糊分类模型准确、

可靠、简便,可以对综放沿空掘巷围岩稳定性进行科学分类。

3) 随着综放沿空掘巷的推广和应用,其围岩稳定性影响因素的隶属函数应不断修正和完善。

#### 参考文献

- [1] 侯朝炯,郭励生,勾攀峰.煤巷锚杆支护[M].徐州:中国矿业大学出版社,1999.62~65
- [2] 周保生,朱维申,李术才.综放回采巷道围岩稳定

性分类的研究[J].煤炭学报,2000,25(5):469~472

- [3] 马念杰,侯朝炯.采准巷道矿压理论及应用[M].北京:煤炭工业出版社,1995.144~147
- [4] 周保生,朱维申,李术才.神经网络在综放回采巷道锚杆支护设计中的应用研究[J].岩石力学与工程学报,2001,20(4):497~501
- [5] 朱川曲,缪协兴.急倾斜煤层顶煤可放性评价模型及应用[J].煤炭学报,2002,27(2):134~138

## Classification Model and Its Application of Stability of Roadway Driving Along Next Goaf for Fully-mechanized Caving Face

Zhu Chuanqu, Wang Weijun, Shi Shiliang

(School of Energy and Safety Engineering of Hunan University of Science and Technology, Xiangtan, Hunan 411201, China)

[Abstract] The stability of roadway driving along next goaf for fully-mechanized caving face is synthetically influenced by many factors such as intensity of surrounding rock, intensity of coal, mining depth, joint and crack of surrounding rock, mining operation, top coal thickness, width of pillar and roadway section. On the basis of theoretical analysis, practical experience and observation data, the subordination functions of the factors influencing the stability of roadway driving along next goaf for fully-mechanized caving face are structured and the grey-fuzzy classification model is established. The application of examples shows that the model is accurate and reliable, and plays an important part in the support design, construction and management of roadway driving along next goaf for fully-mechanized caving face.

[Key words] roadway driving along next goaf for fully-mechanized caving face; stability of surrounding rock; classification model; subordination function

(cont. from p.34)

## Multi-band Synchronization Model for Speech Recognition Under Noisy Condition

Sun Wei, Wu Zhenyang

(Department of Radio Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

[Abstract] Based on perception characteristic of human ear, this paper proposes synchronization multi-band maximum likelihood linear regression algorithm for robust speech recognition under noisy condition. The algorithm utilizes maximum likelihood as estimation criteria to compensate the effects of noisy condition with multi-band synchronization model and noise corruption assumption. The tests show that the proposed algorithm improves the performance of recognition system effectively.

[Key words] hidden Markov model; maximum likelihood; multi-band synchronization model; speech recognition