



# 矿井构造的灰色预测与综合评价

徐凤银 (西南石油学院 南充 637001)

郑守权 黄占兴 (铜川矿务局 铜川 727000)

**摘要** 使用模糊数学、灰色系统理论等多种数学方法和计算机手段,从评价指标的确定优选,已采区的评价检验到未采区不同块段各指标值的定量预测和综合评判,系统地提出一套未采区构造复杂程度预测与评价的研究方法,并成功地用于铜川矿区金华山矿井的构造预测,为该矿二水平选择出两块地质条件简单、适合综采的场地。

**关键词** 矿井地质;等性块段;评价;模糊数学;灰色系统

**中国图书资料分类法分类号** TD164.1

地质构造是影响矿井生产重要的地质因素之一。近年来,国内外研究了一些关于构造复杂程度评价和预测的方法,特别是应用数学和计算机手段,使评价方法有了明显的进展,如构造指数法<sup>[1]</sup>、等性块段法<sup>[2]</sup>,以及应用模糊数学和配套指标方法<sup>[3]</sup>等。但是这些方法只限于开采区、地质条件已知或半已知区的情况。煤矿生产的特点决定了构造复杂程度评价的目的是掌握未开拓区域的基本特征,为未开拓区的采掘布置提供地质依据。但未采区往往揭露信息少,构造规律不清,给准确预测带来困难。针对这一问题,几年来我们应用灰色系统理论与其它方法相结合,对其作了探索。这里以金华山矿井的构造预测与评价为例,讨论其研究方法。

## 1 地质依据及方法实质

矿井构造是多种因素控制的产物。大量理论研究和生产实践表明,矿井构造从单体到组合,从一维到多维均显示出种种规律,这就使构造定量评价与预测成为可能。其中,分区分块性和模糊灰色性则为应用模糊数学和灰色系统理论奠定了基础。

### 1.1 分区分块性

构造分区分块性是指一个矿区或矿井按构造展布规律和复杂程度等划分出的不同块段。它是构造发育不均一性的客观反映,也是进行矿井构造分区预测的重要基础。同一矿井,在同一次构造运动作用下往往形成具有某种固定型式的构造格局,这种格局主要受构造应力场的控制,表现为明显的分区性。在其内部,不同区段由于岩性和边界条件的差异,使构造出现相对的随机性,在相对均一的块段内部又具有相对均等性,从而形成由大到小的分区格架。这种现象在经历多次构造作用的矿井表现得更为明显。

### 1.2 模糊灰色性

模糊灰色性是指矿井构造在发生、发展等一系列过程中构造规律的不分明性或过渡性。其主要表现在两个方面:一是构造形成的控制因素具有模糊性,岩层在变形、变位时受包括沉积基底和盖层的物质成分、几何形态,煤系的岩石力学性质、组合特点,周边构造格局,构造应力场的主应力方向、大小、作用方式、构造运动方式、作用时间以及岩浆活动等多种因素控制;而且自然界保留下来可供研

究的只是一些变形后的残留形迹,人们只能根据这些形迹反推其形成机制;加之研究者的主观性,都必然导致对矿井构造形成机制及展布规律的模糊认识。二是构造展布具有灰色性,矿井构造形成机制及影响因素的研究,一般可以揭示某些特有的规律,比如方向性、成带性、等距性等,利用物探、钻探以及矿井生产也可揭露某些地段的构造特征;但不可能完全搞清每一构造形迹的空间分布及其内在联系,特别对未采区更是如此,这种状态即是“灰色”状态。

为了直接预测未采区的构造,我们试图通过建立评价指标体系的方式间接反映具有“等性构造”块段的构造特征。这种方法的实质是在分析岩石力学性质、应力应变和矿井构造展布规律的基础上,充分收集矿井已采区和勘探钻孔的各种构造信息,使其定量化,然后借助灰色系统建模预测、关联分析、模糊数学综合评判以及地理信息系统等方法,使各种信息有机地结合起来,直接对矿井未开拓区域不同区段的构造复杂程度作出定量化预测,划分出相应的构造类型,指导采掘工作面的合理布置。研究方法见图 1。

## 2 评价指标的确定——以金华山矿为例

### 2.1 研究区概况

铜川矿区金华山矿地处鄂尔多斯地块南缘、秦岭褶皱造山带北侧,主体为一走向北东、倾向北北西的单斜构造。出露地层自下而上有:奥陶系、石炭系、二叠系、三叠系、第三系和第四系。太原组 10" 煤层和 5" 煤层为主采煤层。区内次级构造发育,规模极小的断层、褶皱严重影响生产。

### 2.2 指标的确定

根据本区地质构造特征及生产需要,选择了两类评价指标,即全矿井能获得取值的指标和已采区能获得取值的指标。

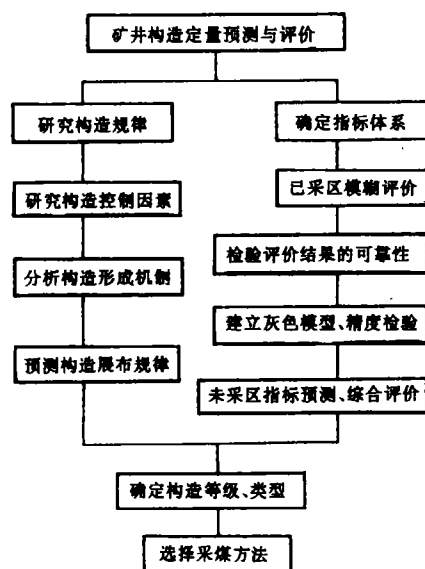


图 1 矿井构造定量预测与评价框图

#### 2.2.1 全矿井能获得取值的指标

(1)  $K_4$  砂岩厚度( $K$ )  $K_4$  砂岩是本区煤系的重要标志层。据研究,次级构造的发育与  $K_4$  砂岩的厚度具有密切关系。一般情况下,  $K_4$  砂岩厚度大的地段,煤层小断层相对较少;  $K_4$  砂岩厚度小的地段,小断层相对较多;在  $K_4$  砂岩厚度变化大,或与煤层不规则接触的地段,小断层尤为复杂。这是选择  $K_4$  砂岩厚度作为间接反映断层复杂程度评价指标的依据。它可以通过分布在矿区的钻孔资料取值。

(2) 褶皱复杂性指数( $W$ ) 以生产揭露看,本区大规模褶皱较少,但小型波状起伏多,煤层倾角普遍较小,但局部变化较大,而且褶皱紧密程度和煤层倾角同时变化,因此,对生产影响较大。为了同时反映这两种影响程度,我们采用了褶皱复杂性指数。该指数最初由前苏联学者提出,它是指一定范围内每个小褶皱的曲率与煤层倾角斜率的乘积平均值。为了便于数据的获取,此次工作取统计单元内底板等高线发生最大弯曲时的曲率与该单元内等高线条数的乘积作为褶皱复杂性指

数。以  $W$  表示,表达式为:

$$W = \bar{\omega} / n$$

式中:  $\bar{\omega}$ ——统计单元内底板等高线的最大曲率值,单位为弧度;

$n$ ——等高线条数。

(3)煤层底板等高线变异系数( $R$ ) 该指标与前一指标既有共性,也有区别,它体现了统计单元内煤层倾角的变化程度,而不反映倾角本身的大小,以  $R$  表示,表达式为:

$$R = \left( \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \bar{\alpha})^2 / \bar{\alpha}} \right) \times 100\%$$

式中:  $\bar{\alpha}$ ——煤层倾角平均值;

$\alpha_i$ ——各统计点的煤层倾角;

$n$ ——统计点数。

### 2.2.2 已采区获得取值的指标

参考四川芙蓉矿区杉木树矿井构造定量评价的有关指标,经过取舍,选择了断层密度( $M$ )、断层强度指数( $F$ )、断层走向影响指数( $Q$ )、平面褶皱强度指数( $D$ )、构造面积损失系数( $S$ )、构造巷道损失指数( $J$ ),其表达式及物理意义已有不少专述<sup>[5]</sup>。

## 3 未开拓区的定量预测

从评价指标的物理意义可以看出,依据地质勘探成果,在矿井各统计单元均可获得前3个指标,但可靠性较差;根据矿井生产揭露资料,在已开采区获得的6个指标可靠程度较高。欲对未开采区构造获得较准确的预测,就要设法预测出已采区这些指标在未采区每个统计单元内的具体取值,为此,我们采用了灰色系统,GM(0,  $N$ )和GM(1,  $N$ )两种预测模型。从计算结果看,GM(0,  $N$ )模型对于某些指标效果更好。现将预测原理与方法讨论于下:

### 3.1 GM(0, $N$ )模型的数学原理

GM(0,  $N$ )是零阶的  $N$  个变量,基于生成函数  $x^{(1)}$  的非微分模型是一种静态模型,其数学表达式为:

$$x_1^{(1)} = a + \sum_{i=1}^{n-1} b_i x_{i+1}^{(1)}$$

系数向量为:  $\hat{a} = [a, b_1, b_2, \dots, b_{n-1}]^T$

用最小二乘法求解:

$$\hat{a} = [x(B)^T x(B)]^{-1} x(B)^T y_M$$

式中:  $y_M = [x_1^{(1)}(1), x_1^{(1)}(2), \dots, x_1^{(1)}(M)]^T$

$$x(B) = \begin{Bmatrix} 1 & x_2^{(1)}(1) & x_3^{(1)}(1) & \dots & x_n^{(1)}(1) \\ 1 & x_2^{(1)}(1) & x_3^{(1)}(2) & \dots & x_n^{(1)}(2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_2^{(1)}(M) & x_3^{(1)}(M) & \dots & x_n^{(1)}(M) \end{Bmatrix}$$

将求解的  $\hat{a}$  值代入方程式,即得:

$$\hat{x}_1^{(1)} = a + b_1 x_2^{(1)} + b_2 x_3^{(1)} + \dots + b_{n-1} x_n^{(1)}$$

用上述方程式求得  $\hat{x}_1^{(1)}$  计算值及其误差,经过检验符合精度要求时,即可进行预测。

### 3.2 指标值的预测

根据各定量评价指标的性质和GM(0,  $N$ )模型的数学原理,在已采区部分统计单元内可同时获得前述9个指标的取值(表1),以其取值进一步建立以钻孔资料获得的指标与开采资料获得的指标之间的相关关系,从而推演、预测未采区的构造信息。计算通过微机实现,最终得出每个指标的预测模型分别为:

表1 已采区各指标在部分单元的统计值

单元号	K	R	W	M	F	Q	D	S	J
1	4.8	32.0	7.2	1.0	44.4	27.9	28.6	23.3	21.2
2	3.5	30.8	11.3	0.9	25.2	20.8	38.7	5.0	7.6
3	2.5	26.3	13.3	0.8	121.3	21.4	40.8	11.0	7.3
4	5.7	29.2	12.5	1.6	285.7	44.3	27.0	40.1	8.5
5	8.8	34.2	10.1	2.1	263.2	61.3	15.2	43.4	17.6
6	10.7	33.3	13.7	1.3	110.3	38.0	23.1	14.8	11.5
7	4.13	27.4	2.8	1.5	69.1	38.9	15.6	34.9	25.8
8	3.13	31.6	7.0	1.2	58.7	35.5	20.6	11.2	9.1
9	3.25	22.6	17.0	1.3	77.4	29.7	29.5	9.8	8.1
10	5.15	26.8	14.5	1.8	148.4	29.6	27.6	22.0	5.2
11	9.38	30.3	6.3	1.9	214.5	45.3	18.3	31.2	13.3
12	12.75	30.0	11.8	1.4	220.2	40.9	18.6	24.3	16.0

(1)平面褶皱强度指数( $D$ )

$$D = -8.255 - 1.248K \\ + 0.711R + 1.617W$$

(2)断层密度( $M$ )

$$M = 2.439 + 5.49 \times 10^{-2}K - 3.625 \\ \times 10^{-2}R - 3.987 \times 10^{-2}W$$

(3)断层强度指数( $F$ )

$$F = 152.67 + 17.305K \\ - 4.395R - 1.403W$$

(4)断层走向影响指数( $Q$ )

$$Q = 58.507 + 2.143K \\ - 0.848R - 1.391W$$

(5)构造面积损失系数( $S$ )

$$S = 43.914 + 1.342K \\ - 0.375R - 1.689W$$

(6)构造巷道损失指数( $J$ )

$$J = 17.74 + 0.762K \\ - 1.546R - 0.956W$$

所有计算均通过计算机实现。将未采区每个单元获得的前三个指数代入上述模型即可最终预测出每个单元各指标的取值(表 2)。

## 4 构造类型的综合评价

通过上述方法求得了未采区段的各项指标,还要对其进行综合评判,才能为生产决策使用,为此采用模糊综合评判法。

### 4.1 基本模型

假设有两个论域分别为:

因素集  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ ,  $u_i$  —— 评价因素,  
评语集  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_i\}$ ,  $v_i$  —— 评语因素

对  $U$  中全部因素分别进行单因素评价,可获得从  $U$  到  $V$  的一个模糊关系  $\tilde{R}$ ,

$$\tilde{R} \in F(U \times V) \\ \tilde{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

表 2 部分单元各指标预测值

单元号	$M$	$F$	$Q$	$D$	$S$	$J$
13	2.0	144.4	47.9	4.4	34.3	14.2
14	1.9	147.1	49.8	2.4	39.5	18.7
15	1.8	144.6	48.1	4.4	40.9	21.4
16	1.7	127.4	44.8	7.2	38.1	19.8
17	1.8	117.2	45.4	5.5	37.7	18.5
18	1.7	92.9	41.0	9.0	33.9	16.4
19	1.6	78.4	39.6	9.6	34.0	16.8
20	1.5	90.9	37.2	13.6	30.7	15.3
21	2.1	138.8	53.5	2.9	42.5	19.1
22	2.0	136.1	51.6	0.7	42.1	19.9
23	1.8	116.4	45.3	5.6	37.9	18.8
24	1.6	90.4	39.3	10.9	32.4	15.7
25	1.7	88.0	39.3	10.7	30.6	13.7
26	1.6	80.5	38.3	11.3	30.5	13.9
27	1.6	81.4	39.6	9.8	33.1	15.9
28	1.4	82.3	31.1	20.4	22.1	9.6
29	1.6	97.9	35.7	15.9	25.0	10.4
30	1.9	110.4	47.6	2.1	38.6	17.7
31	1.5	62.1	36.9	11.6	32.4	16.2
32	1.1	49.2	24.6	25.9	18.6	9.0
33	1.3	107.5	26.4	28.2	11.2	2.0
34	1.6	133.1	36.1	18.2	20.4	6.6
35	1.5	92.2	36.3	14.8	29.2	14.4
36	1.6	102.7	40.5	10.5	33.5	16.7
37	2.1	166.2	50.9	2.5	36.9	16.0
38	1.9	121.8	46.7	4.2	37.3	17.4
39	1.5	117.6	35.3	18.1	25.1	11.6
40	1.4	138.1	30.3	25.9	15.6	5.7
41	1.5	130.1	35.3	19.2	23.2	10.2

称之为单因素评判矩阵,一般  $0 \leq r_{ij} \leq 1 (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$ 。

若  $\tilde{R} \in F(U \times V)$  一经确定,而且存在一个模糊向量  $\tilde{A} \in F(U)$ ,则可唯一确定一个由  $U$  到  $V$  的模糊变换  $\tilde{B}$ ;

$$\tilde{B} = (b_1, b_2, \dots, b_m) = \tilde{A} \circ \tilde{R} \\ = (a_1, a_2, \dots, a_n) \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

其中,  $A=(a_1,a_2,\cdots,a_n)$  为评价因素权重集。  
利用模糊合成结果  $\tilde{B}$  作为评判基础, 按照最大隶属度原则和调整原则, 则可得出最终评价结果。

4.2 综合评价

根据上述模型, 首先利用灰色关联分析法求出各指标在综合评价时的权重影响系数<sup>[6]</sup>(表 3); 再利用最优分割法按四类构造等级求出每个指标对应每类构造等级的取值范围(表 4)。在此基础上, 利用灰色建模预测得出的未采区各单元每个指标的取值, 在计算机上综合评价出每个块段的构造复杂程度类型(表 5), 并借助 Auto CAD 绘图辅助系统绘出各构造等级在空间的分布图(图 2)从已采区评价结果看, 与实际基本吻合。结合其它研究成果, 在未采区划分出一系列适合不同采煤方法的“等性块段”。通过与一水平已采区对比, 在二水平选择出 2 个块段作为下一步的综采场地, 其余各块段仅适于炮采。

本文曾得到王桂梁教授、龙荣生教授、柴光运处长、段保鑫等的热情帮助, 在此一并致谢。

表 3 各指标的关联度及权重值

指标	D	M	F	Q	S	J
关联度	0.908 7	0.807 1	0.955 7	0.977 6	1	0.983 5
权重	0.161	0.143	0.169	0.173	0.178	0.176

表 4 各指标对应各构造类型的取值标准

指标	D	M	F	Q	S	J
I	<15	<1	<100	<25	<5	<10
II	15~25	1~1.5	100~150	25~35	5~30	10~15
III	25~35	1.5~2	150~250	35~45	30~50	15~20
IV	>35	>2	>250	>45	>50	>20

表 5 未采区各单元构造复杂程度类型

单元号	类型	单元号	类型	单元号	类型
13	2	23	3	33	2
14	2	24	3	34	2
15	1	25	2	35	2
16	3	26	2	36	2
17	2	27	4	37	2
18	2	28	2	38	1
19	2	29	2	39	2
20	2	30	2	40	2
21	2	31	1	41	4
22	2	32	2		

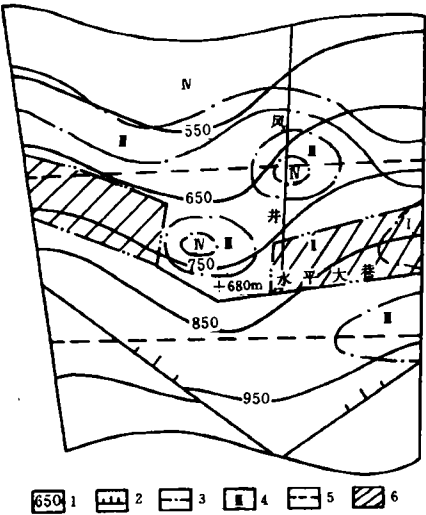


图 2 金华山矿井构造类型分区预测图  
1—等高线;2—断层;3—构造类型界线  
4—构造等级;5—生产水平界线;6—综采块段

参考文献

1 王俊庸. 综采地质条件的设计评价. 矿井地质(试刊), 1987  
2 詹才高, 范念寒等. 应用等性块段指数法定量划分华北煤矿勘探类型. 煤田地质与勘探, 1985; 5: 16~24  
3 徐凤银, 龙荣生. 煤矿构造复杂程度评价指标的优选途径. 煤田地质与勘探, 1991; 1: 20~23  
4 徐凤银等. 矿井地质构造定量评价及其预测. 煤炭学报, 1991; 16(4): 93~101  
5 徐凤银等. 模糊聚类分析法在矿井构造定量划分中的

# 矿井深部地温的灰色数列预测

刘建华 (煤炭部合肥设计研究院 230041)

**摘要** 运用灰色系统理论中数列预测方法,对某矿井的近似稳态测温孔的深部地温进行了预测和检验,取得了远比公式法计算的精度高得多的效果。

**关键词** 地温;灰色数列预测;GM(1,1)模型

**中国图书资料分类法分类号** TD163.1

## 1 引言

目前我国许多矿井都面临着地温问题,一些矿井深部地温已超过了煤矿安全规程的允许范围,出现了程度不同的热害。在研究矿井地温资料时,常因部分钻孔缺少某一深度地温值而造成资料使用上的困难。那么,能否通过某种方法预测测温孔中某点的未知地温值呢?在此之前确有人提出过用恒温带的深度、温度以及地热增温级计算某深度处的地

温值的计算式。这种方法虽然简单,但总有一定的误差。为了提高预测精度,笔者试用灰色系统理论中数列预测方法,对某矿井实施近似稳态测温的 871 号孔深部地温进行预测和检验,取得了理想的效果。

## 2 地温灰色数列预测的可行性

### 2.1 地温系统是一个灰色系统

所谓灰色系统是人们对那些内部信息部分确知的研究对象的统称。地温是一个具有

应用. 阜新矿业学院学报,1991;2

法. 中国矿业大学学报,1991;20(4):60~65

6 徐凤银等. 矿井构造定量预测中指标权重的确定方

(收稿日期 1993-04-02)

## GREY PREDICTION AND COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF GEOLOGICAL STRUCTURES IN COAL MINE

Xu Fengyin *et al.* (South-West Petroleum Institute)

**Abstract** With the organic combination of Fuzzy sets, grey system theory and other mathematical methods, the paper proposes systematically a set of research methods for quantitative prediction and assessment of complexity of structures in coal mine, which concerns the optimum seeking of assessment indexes, the assessment examination in mined area, and the quantitative prediction and comprehensive assessment of unmined area. The set of methods has been successfully used in the prediction of structures in Jin huashan coal mine in Tun chuan mine district, and selected two blocks which have simple geological condition for mining. The suggestion has been accepted by mining department of the mine.

**Keywords** mining geology; equiproperty block; evaluation; fuzzy mathematics; grey system