文章编号: 1006-6616 (2000) 04-0088-07

河北蔚县崔家寨井田构造复杂程度定量评价

曹代勇, 穆宣社
(中国矿业大学煤炭资源教育部重点实验室, 北京 100083)

摘 要: 地质构造复杂程度定量评价是当前矿井地质工作的研究热点之一, 其关键技术体现在评价指标和评价数学模型两方面。在地质分析和勘探资料处理的基础上, 选取5个非连续性变形参数和5个连续性变形参数, 作为地质构造复杂性评价的指标, 分别采用统计综合评价和模糊综合评价数学模型, 对冀西北蔚县矿区崔家寨井田主采煤层的构造复杂程度进行定量评价, 取得良好效果。对比分析表明, 两种评价模型在矿井构造复杂程度定量评价方面各有优劣, 比较而言, 模糊综合评价模型更加客观合理。

关键词: 地质构造; 定量评价; 数理统计; 模糊评价
中图分类号: TD 163 **文献标识码**: A

0 引言

地质构造是影响矿产资源评价、勘探和开发的重要地质因素。对于煤矿床而言, 地质构造复杂程度不但决定了煤矿井型设计和开拓方式的选取, 也是导致矿井突水、瓦斯突出等安全事故的基本原因。构造复杂程度定量评价是当前矿井地质工作的研究热点之一, 近十余年来经过国内外矿井地质工作者的努力, 提出了多种评价方法, 其中较有代表性的有构造指数法、等性块段法、模糊综合评价法等[1~3]。构造复杂程度定量评价的核心在于评价指标和评价数学模型的选取[1], 矿井地质构造的复杂程度和研究角度的不同, 导致评价指标和评价模型的多样化。本文针对煤矿床勘探实际, 采用多参数统计综合评价与模糊综合平价对比方法, 对崔家寨井田构造复杂程度进行定量评价, 提出了基于数据处理的新指标。

1 地质特征和评价单元划分

崔家寨井田位于冀西北蔚-广盆地蔚县矿区北部。蔚-广盆地是叠加于中生代广灵—蔚县块坳之上的新生代断陷, 属于山西地堑系北部拉张区的一部分。盖层区域构造格局的形成经历了中生代挤压变形和新生代伸展变形两大阶段, 是SN向挤压、NW-SE向强挤压、NE-NW向弱挤压(NW-SE向伸展)等3期主要构造应力场综合作用的结果[4]。

收稿日期: 2000-04-10
作者简介: 曹代勇 (1955—), 男, 博士, 教授, 从事构造地质与地质力学、计算机应用研究。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

崔家寨井田包括水西煤矿、水东井田、莲花山区和在建的崔家寨煤矿（图 1)。主采煤层为侏罗系下花园组 5 号煤层, 煤系基底为下奥陶统和上寒武统。井田总体构造形态呈向 SE 倾斜的单斜层, 倾角 10～15°, 断裂构造及次级褶皱均较发育。褶皱构造主要展布于井田北部, 轴向NNW-SSE, 呈宽缓短轴褶曲, 两翼倾角仅 10 余度。断裂构造多分布于井田南部和西部, 是影响矿井生产的主要地质因素。勘探阶段控制落差 5m 以上的断层有 71 条, 其中逆断层 65 条, 占 92%; 正断层 6 条, 占 8%。按走向可分为NE 向、NW 向、近 SN 向和近 EW 向 4 组。

基于钻探和地震勘探资料, 作者对主采煤层底板标高趋势面分析、梯度分析、滑动窗口变异系数分析、应变—转动分析, 编制了断层密度和断层强度平面图①。资料分析表明, 井田内构造变形强度和幅度具有南北分区、东西过渡的特征。以此为依据, 并结合井田开发建设的需要, 将全井田划分为 8 个子区, 作为煤层地质构造复杂程度定量评价单元（图 1)。水西煤矿、水东井田、莲花山区各自单独划分为一个子区, 在建的崔家寨煤矿划分为 5 个子区, 其中首采区（第Ⅵ子区）进一步细分为两个次级子区Ⅵa（东一采区）和Ⅵb（西一采区)。

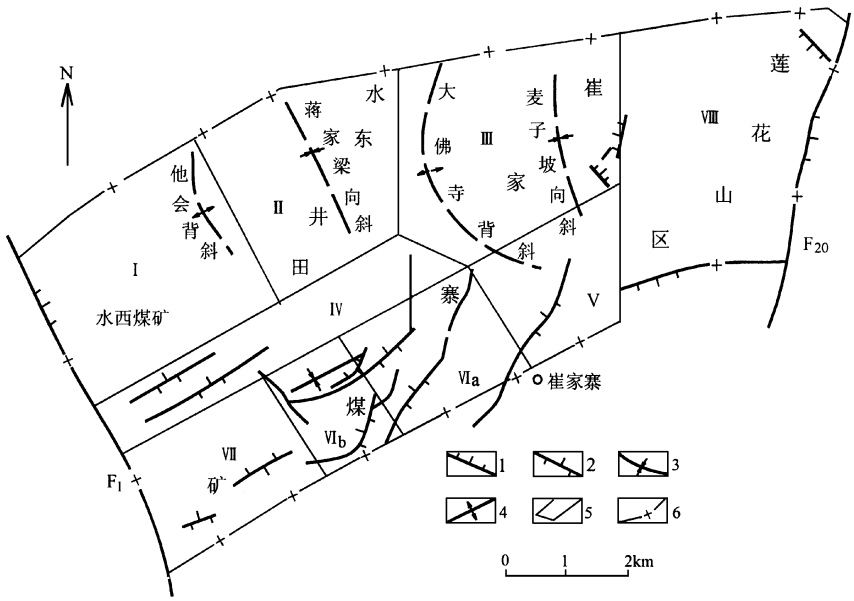

图 1　崔家寨井田构造纲要图及评价单元划分

Fig. 1　Structure sketch and evaluated units of Cuijiazhai mine

1. 正断层; 2. 逆断层; 3. 向斜; 4. 背斜; 5. 子区边界; 6. 井田边界

2　评价指标的选取和归一化

崔家寨井田是新生界覆盖区, 原始资料包括钻探和地震勘探成果。在定性分析地质构造对矿山建设和生产影响的基础上, 根据资料类型和数据处理方式, 选取了不连续性变形（断裂）参数和连续性变形参数两类评价指标。

① 穆宣社. 蔚县矿区构造特征定量研究, 中国矿业大学北京校区硕士学位论文, 1999.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2.1 不连续性变形参数

断层密度 P_1、P_2 指单位面积内断层条数，反映断层发育程度。根据断层对资源开发的影响程度，分别统计落差> 30m 的断层密度 P_1（主要影响矿井划分）和落差< 30m 的断层密度 P_2（影响开拓布局）。

断裂强度指数 P_3 是指单位面积内断层的落差与长度乘积之和，综合反映断层规模。

断层与煤层夹角指数 P_4。断层走向对采掘工程布置有影响，实践表明，断层走向与煤层（或工作面）走向平行或垂直时影响最大。

$$P_4 = \frac{\sum_{i=1}^{n} L_i \cos(2\theta_i)}{S}$$

式中：L_i 为断层走向长度，θ_i 为断层走向与煤层走向间的夹角，S 为统计面积。

断层性质参数 P_5。采掘生产中对正断层和逆断层的处理方式不同，正、逆断层出现概率越接近（P_5 值越大），断层性质的预测难度越大，对生产越不利。

$$P_5 = \frac{1}{|N - R|}$$

式中：N 为正断层数量百分比，R 为逆断层数量百分比。

2.2 连续性变形参数

连续性变形参数是在煤层底板标高数据处理基础上构建的二次参数。

平均转动角 P_6 是由应变—转动分析计算的转动角平均值，反映煤层变形的转动趋势。

变异系数 P_7 是评价单元内底板标高变异系数的平均值，反映煤层形态的变异性。

倾角变异系数 P_8 是评价单元内钻孔所揭露煤层的倾角的变异系数。

梯度系数 P_9 是煤层底板等高线梯度平均值，反映煤层底板空间形态变化速率。

偏差系数 P_{10} 是煤层底板标高趋势面偏差值的平均值，反映煤层形态的局部变异性。

2.3 参数的归一化

各评价指标数值范围相差较大，不能直接对比和综合，需进行数据归一化。本文将各项参数归一到同一数量级（0.33～1.00），取其相对值，故不考虑各指标的实际单位。采用的归一化公式为：

$$X' = (X_i - X_{min} + (X_{max} - X_{min})/2)/(X_{max} - X_{min} + (X_{max} - X_{min})/2)$$

式中：X' 归一化参数；X_i 为第 i 个子区的原始参数；X_{max} 为原始参数最大值；X_{min} 为原始参数最小值。

3 统计综合评价

3.1 权重的选择

所谓权重，是指根据各评价指标在决定整体构造复杂程度中的重要程度而赋予的不同系数。本文考虑矿井综采工艺对构造条件的要求以及各参数的构造意义，经反复试算并征求采矿专家意见，确定出各评价指标的权重（表 2）。由于本区影响综采的地质构造以断裂为主，所以不连续性变形参数的权重大于连续性变形参数的权重。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　各子区评价指标归一化值

Table 1　Regularizing values of evaluation indexes of sub-unite

评价子区 / 评价指标	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵa	Ⅵb	Ⅶ	Ⅷ
P_1	0.39	0.40	0.38	0.63	0.33	0.78	1.00	0.58	0.42
P_2	0.45	0.93	0.42	0.53	0.45	0.61	1.00	0.46	0.33
P_3	0.45	0.43	0.33	0.62	0.38	0.99	1.00	0.68	0.49
P_4	0.42	0.40	0.33	0.63	0.38	0.72	1.00	0.58	0.35
P_5	0.68	0.68	0.33	0.43	1.00	0.54	0.33	0.51	0.33
P_6	0.43	0.68	0.73	0.57	0.89	0.54	0.33	0.55	1.00
P_7	0.68	0.68	0.94	0.68	0.96	1.00	0.79	0.33	0.69
P_8	0.74	0.76	0.76	1.00	0.67	0.72	0.33	0.46	0.54
P_9	0.41	0.50	1.00	0.54	0.66	0.58	0.33	0.52	0.80
P_{10}	0.72	0.85	1.00	0.51	0.43	0.62	0.33	0.45	0.68

表 2　评价指标权重

Table 2　Weighting of evaluation indexes

评价指标	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}
权重	1	0.6	0.7	0.8	0.8	0.35	0.5	0.4	0.35	0.35

3.2　综合指数计算

用综合指数 Y 刻划子区构造复杂程度，Y 值越大，反映其构造复杂程度越高。

$$Y_i = \sum_{j=1}^{10} C_j \times X_{ij} \qquad i = 1, 2, \ldots, 9; \quad j = 1, 2, \ldots, 10$$

式中: C_j 为第 j 项评价指标的权重; X_{ij} 为第 i 子区的第 j 项评价指标 (归一化数据)。

各子区构造复杂程度综合评价结果列于表 3, 依据 Y_i 值降序排列为Ⅵa、Ⅵb、Ⅳ、Ⅱ、Ⅴ、Ⅲ、Ⅶ、Ⅰ、Ⅷ子区。

表 3　构造复杂程度统计综合评价结果

Table 3　The statistical comprehensive assessment of geological structure complexity

评价单元	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵa	Ⅵb	Ⅶ	Ⅷ
综合指数 Y	3.04	3.47	3.12	3.53	3.41	4.25	4.24	3.08	2.94

3.3　评价结果分析

综合指数 Y 值给出了各子区构造复杂程度的相对量度，评价结果与定性分析和数据处理分析基本吻合，井田构造南北分区、东西过渡的特征得以量化反映。井田北部构造样式以褶曲为主，煤层构造变形相对简单，此范围内的Ⅰ、Ⅲ、Ⅷ子区的 Y 值均低，仅Ⅱ子区 Y 值偏高。井田南部构造变形较复杂，构造样式以断裂构造为主，对生产影响较大; 该区或除Ⅶ子区外，其它子区的 Y 值普遍较高，其中Ⅵa、Ⅵb 子区的 Y 值达 4.25 和 4.24。在这两个子区进行的二维和三维地震勘探, 新发现落差> 30m 的断层 5 条、落差> 10m 的断层达 33 条[5], 断层密度在全井田范围最大。位于Ⅵb 子区的崔家寨煤矿 (建设中) 掘进巷道揭露落差 10m 以

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

下的小断层 13 条，断层间距一般为几十米，与原有精查勘探比较，地质构造类型偏复杂，依据三维地震勘探资料，已对该矿井初步设计进行了大幅度修改。

4 模糊综合评价

与许多地质问题相同，矿井构造复杂程度的评价具有“模糊”特征，采用模糊数学构建的评价模型更能客观地反映地质现象。80 年代后期以来，模糊数学方法开始应用于矿井构造研究，逐步形成以模糊综合评判法为核心，配合灰色关联分析的一套较系统的矿井构造评价预测方法体系[2~3]。模糊综合评价的关键是建立合适的因素集合评语集。

4.1 评价指标和权重计算（因素集）

以各种勘探工程均能较好控制的落差> 30m 的断层密度（P_1）作为表征构造复杂程度的基础，采用灰色关联分析法，计算出不同单元各指标间的关联度及其对应的权重系数（表 4），构成各评价因素权重的模糊集 A。

表 4 评价指标关联度分析

Table 4 Correlating analysis of evaluation indexes

评价指标	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}
关联度	P_1	0.698	0.692	0.688	0.502	0.606	0.516	0.510	0.626	0.564
权重	0.156	0.109	0.108	0.107	0.078	0.095	0.081	0.080	0.098	0.088

4.2 评语集确定（构造复杂程度的划分）

把 9 个评价子区组成的论域 W 划分为 V_1、V_2、V_3、V_4 等 4 个评语子集，分别代表构造简单、较简单、较复杂、复杂等 4 种类型，利用模糊聚类法，得到每种构造类型所对应的评价指标取值（未归一化值）范围（表 5）。

表 5 构造复杂程度划分标准

Table 5 Dividing standard of geological structure complexity

评价指标 \ 复杂程度	简单	较简单	较复杂	复杂
P_1	< 0.5	0.5~1	1~1.5	> 1.5
P_2	< 0.5	0.5~1	1~2.2	> 2.2
P_3	< 300	100~300	300~700	> 700
P_4	< 2	2~8	8~10	> 10
P_5	< 0.33	0.33~0.15	0.51~68	> 0.68
P_6	< 0.7	0.7~1	1~1.5	> 1.5
P_7	< 4	4~4.5	4.5~5	> 5
P_8	< 4.5	4.5~5	5~5.5	> 5.5
P_9	< 0.3	0.3~0.4	0.35~0.4	> 0.4
P_{10}	< 10	10~15	15~20	> 20

4.3 模糊综合评判

每个评语子集包含一定数量的子区，需要构造各自的隶属函数表达式。以子集 V_1 为例，设

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

该子集有 n 个单元, 其中第 j 个单元的 m 个指标实测值为 $(X_{1j}, X_{2j}, \cdots, X_{mj})$, 则有

$$\mu V_{1i}(X_{ij}) = e^{-\left(\frac{X_{ij}-a_i}{\sigma_i}\right)^2} \qquad i = 1, 2, \cdots, m; \quad j = 1, 2, \cdots, n$$

式中: μV_{1i} 为第 i 个指标对 V_1 子集的隶属度; α_i 为第 i 个指标的平均值; σ_i 为第 i 个指标的方差。

根据井田构造特点和评价指标体系的构成, 本文选用单层次综合评判模型。将各子区的评价指标取值代入隶属函数, 得到各自的模糊矩阵 R, 再由 A○R 即可求得各单元对各评语子集的综合隶属度, 判定其所属的评语子集 (构造复杂程度分级)。

4.4　模糊综合评价结果

模糊综合评价结果 (表 6) 与统计综合评价结果 (表 3) 相近, 均反映了井田构造复杂程度由北向南增加的趋势, 位于南部的Ⅵa、Ⅵb、Ⅶ子区分别归属于复杂和较复杂类型。其中两种方法对Ⅵa、Ⅵb 子区的评价结果相同, 而模糊评价结果将Ⅶ子区划归较复杂类型则更符合勘探揭露的实际情况。此外, 模糊聚类过程中取不同 λ 截值时, 发现子区Ⅰ与子区Ⅷ构造复杂程度具有较强的相似性, 可能体现了井田东、西边界断层的影响。

表 6　构造复杂程度模糊综合评价结果

Table 6　The Fuzzy comprehensive assessment of geological structure complexity

构造复杂程度	复杂	较复杂	较简单	简单
评价单元	Ⅵa、Ⅵb	Ⅶ	Ⅳ、Ⅱ、Ⅰ、Ⅲ、Ⅷ	Ⅴ

5　结语

多参数统计综合评价模型和模糊综合评价模型, 均可以充分利用勘探资料对地质构造复杂程度进行定量评价, 为合理的井型设计和采掘方式的选取提供依据。二者比较, 统计综合评价方法计算简单、直观, 易于被现场技术人员理解, 但该模型过于简化, 评价指标权重的确定带有人为因素; 模糊综合评价方法采用灰色关联分析计算指标权重, 根据关联序优选出反映构造复杂程度的优势指标, 分类更加客观合理, 因而是一种较为可靠的评价方法。但是这种方法的使用前提, 即评价指标的选择以及原始资料的精度, 对评价结果的影响等问题都有待进一步探讨和研究, 以使评价结果最大限度地接近地质实际。

参　考　文　献

[1] 曹代勇, 穆宣社, 傅正辉, 等. 为现代化矿井建设服务的地质构造定量研究技术 [A]. 世纪之交煤矿地质学术论文集 [C]. 西安: 西安地图出版社, 1999. 147～152

[2] 王桂梁, 龙荣生, 徐凤银, 等. 矿井构造预测 [M]. 煤炭工业出版社, 1993.

[3] 徐凤银, 魏铭康. 矿井构造预测与评价的理论、方法及其应用 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1993.

[4] 曹代勇, 穆宣社, 马保起. 山西地堑系中、北段煤田构造特征对比研究 [A]. 世纪之交煤矿地质学术论文集 [C]. 西安: 西安地图出版社, 1999. 55～59.

[5] 施家贺, 李桂芳, 王永君. 高分辨地震勘探在蔚县矿区的应用 [J]. 中国煤田地质, 1999 (增刊). 53～55.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

QUANTITATIVE EVALUATION ON GEOLOGICAL STRUCTURE COMPLEXITY OF CUIJIAZHAI MINE, HEBEI PROVINCE

CAO Dai-yong, MU Xuan-she
(*The Key Laboratory of Coal Resources, Ministry of Education, Beijing* 100083, *China*)

Abstract: The quantitative evaluation on geological structure complexity is one of the hotspots in the research of mining geology, the key techniques of which include selecting proper assessment indexes and assessment models. On the basis of analysis of geological setting and procession of exploration data, 5 continuous deformation parameters and 5 discontinuous deformation parameters are taken as indexes for the evaluation on geological structure complexity. The comprehensive statistical assessment model and comprehensive fuzzy assessment model are both adapted for the quantitative evaluation on geological structure complexity of Cuijiazhai mine, Hebei Province. A comparative study shows that both can be used for quantitative evaluation on geological structure complexity, with the fuzzy model being more plausible.

Key words: geological structure; quantitative evaluation; mathematical statistics; Fuzzy assessment

(上接第 50 页)

THE GEOCHEMICAL ELEMENT CHARACTERISTICS AND PALEOSEDIMENTARY ENVIRONMENT OF THE QUATERNARY DEPOSITS IN YINCHUAN BASIN

LIU Ping-gui, FAN Shu-xian, LI Xue-ju
(*Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS, Zhengding, Hebei* 050803, *China*.)

Abstract: From an analysis of the contents of geochemical elements and their vertical distribution of the core samples from Yinchuan Basin and the stratigraphic lithologies a zonation of the geochemical elements has been determined. Combining this with spare-pollen data, a discussion of the paleoclimate and paleoenvironment and their evoluation in the basin. Since the middle and late Quaternary has been maded.

Key words: Yinchuan Basin; distribution of geochemical elements; sedimentation environment and paleoclimate

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net