

文章编号: 1001-1986(2012)03-0013-05

地质构造对煤层复杂性影响的定量评价方法

霍丙杰, 张宏伟, 韩 军

(辽宁工程技术大学矿业学院, 辽宁 阜新 123000)

摘要: 定量分析地质构造条件对煤层复杂性的影响, 进行煤层复杂性的定量评价, 对于不同复杂度煤层开采方法的选择等具有重要意义。经过分析和确定煤层复杂性的影响因素, 提出“煤层复杂度”概念, 并根据煤层复杂度对煤层进行了新的定量分类。通过对影响煤层复杂性关键因素——地质构造的多级定量分析, 建立了基于地质构造条件的煤层复杂性评价指标体系, 根据模糊数学建立了煤层复杂性评价模型, 应用层次分析法确定了各级评价指标的权重, 提出了煤层复杂性模糊综合评价方法, 实现了煤层复杂性的定量评价。

关键词: 地质构造; 煤层复杂度; 评价方法; 定量评价

中图分类号: P628.1 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1001-1986.2012.03.003

Evaluation method of influence of structural geologic conditions on coal seam complexity

HUO Bingjie, ZHANG Hongwei, HAN Jun

(College of Mining Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract: For selection of mining methods aiming at seams of different complexity, it is very important to quantitatively analyze the influence of geologic and structural conditions on coal seam complexity, and to quantitatively evaluate the complexity of seams. The paper, through analysis and determination of the influencing factors of seam complexity, put forward the concept of coal seam complexity, and reclassified quantitatively coal seams according to the complexity of coal seams. Evaluation index system of coal seam complexity was established by using multilevel quantitative analysis of geological structure. Model of coal seam complexity was built on the basis of fuzzy mathematics, and the analytic hierarchy process was applied to determine weight of the evaluation index. The fuzzy synthetic evaluation method of the coal complexity was established, and the quantitative assessment of coal seam complexity was realized.

Key words: geological structure; coal seam complexity; evaluation method; quantitative evaluation

煤层赋存状态对矿井采掘巷道的布置、回采工艺、工作面的单产与回采率等有重要的影响。不同赋存状态的煤层具有不同的复杂程度, 所以可以通过研究煤层复杂程度来研究煤层的开采技术。我国煤层稳定与复杂程度定性分类方法一直采用前苏联“煤及油页岩勘探规范”的半定量方法, 即把煤层分为稳定型、较稳定型、不稳定型和极不稳定型4个级别, 对煤层稳定性只规范了概略性的评价, 缺少量化概念^[1-2]。由于没有一个确切的量化指标来评价煤层的复杂程度, 使得在矿井开采设计和采煤方法的选择上往往多凭经验, 有时会导致采煤方法选择不合理, 造成采掘工程量的浪费。

1 煤层复杂度及其影响因素分析

煤层的复杂性受诸多因素的影响和控制, 其总

体可分为几何类因素和安全类因素两类, 前者属于不可控因素, 后者属于可控因素。几何类因素对煤层复杂性的影响占主导地位。几何类因素主要包括煤层赋存的地质构造环境、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、岩溶塌陷及岩浆侵入和埋藏深度等; 安全类因素主要包括水文环境、瓦斯等级、煤层自燃发火性、煤尘爆炸性、煤层硬度和地质力学环境等。地质构造是引起煤层赋存状态复杂的重要因素之一, 其对煤层的形态、倾角和厚度的变化以及对煤田勘探、煤层开采的影响均很大。不同的大地构造单元、不同的构造形式、不同的构造规模及密度, 对煤层地质构造环境、煤层的叠加和改造作用有着不同影响, 所以, 这些影响因素对煤层复杂性的影响程度不同^[3-5]。

为了定量描述煤层复杂程度, 引进煤层复杂度

收稿日期: 2011-06-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(50874058)

作者简介: 霍丙杰(1980—), 男, 山西朔州人, 博士, 讲师, 从事矿井开采理论与技术等研究。

的概念。煤层复杂度是综合反映煤层受几何类因素和安全类因素影响的程度,其取值范围为[0, 100]。复杂度值越大,表明煤层越复杂,开采越困难;复杂度值越小,表明煤层越简单,开采越容易。

2 地质构造对煤层复杂性影响的定量分析

影响煤层复杂性的因素有很多,其中关键性因素是地质构造。下面通过地质构造对煤层复杂性影响的定量分析,来探讨煤层复杂性量化评价方法,从而实现煤层复杂性定量评价。

地质构造对煤层复杂性的影响主要从断层和褶曲两方面分析。

2.1 断层对煤层复杂性影响的定量分析

断层落差是评价断层规模的基本指标,但是,研究断层对煤层复杂性的影响不能只考虑断层落差,例如,缓倾角断层和陡倾角断层,即使两者落差相同,其对生产的影响和对煤层的破坏程度也不同。因此,研究断层对煤层复杂性的影响时,除了考虑断层落差外,还应考虑断层倾角等因素。同时,还要参照煤层厚度、倾角和采煤方法等,如相同落差的断层,对厚煤层影响较小,对薄煤层影响较大;对炮采影响较小,对综采影响较大。断层构造各种指标对煤层复杂性影响程度的分析见表 1,通过对反映断层构造的各种指标的多级划分及不同级对煤层复杂性的影响分析,实现断层指标对煤层复杂性的定量评价。

2.2 褶曲对煤层复杂性影响的定量分析

褶曲分级指标较难确定,褶曲对煤层的影响主要体现在煤层沿走向和倾向上倾角的变化,其在顺层巷道中比较容易追索和查明。所以,褶曲构造对煤层的影响主要用煤层倾角的变化来表示。为了定量研究复杂煤层倾角的变化程度,可通过研究煤层倾角变化处曲率半径的大小和一定范围(如被评价煤层或采区、工作面等开采单元)内煤层在走向或倾向上曲率变化次数这两个指标,来分析褶曲对煤层复杂性的影响情况(表 2)。曲率是表示曲线弯曲程度的量,曲率越大表示曲线的弯曲程度越大,曲率半径为曲率的倒数。

通过对我国不同矿区煤层赋存条件调研和分析,通常赋存较稳定的煤层其倾角在一个较大的区域,如 1 000 m×1 000 m 范围,甚至更大的区域变化不大,如神东矿区和南票矿区煤层赋存形态(图 1、图 2)。复杂煤层其倾角在一个较小的区域,如 100 m×100 m 范围变化不大,但是在一个相对较大的区域内(300 m×300 m)变化很大,如北京大安山矿煤层赋存形态(图 3)。对于地质条件复杂的煤层,就

表 1 断层对煤层复杂性的影响程度
Table 1 The impact of faults on coal seam complexity

断层指标	断层指标评价等级划分	断层对煤层影响的重要程度分析	影响程度
落差/m	$<m_1$	0~0.25	0.30
	$m_1\sim15$	0.25~0.50	
	15~30	0.50~0.75	
	>30	>0.75	
倾角/(°)	>60	0~0.25	0.25
	45~60	0.25~0.50	
	25~45	0.50~0.75	
	<25	>0.75	
断层带宽度/m	<5	0~0.25	0.20
	5~10	0.25~0.50	
	10~20	0.50~0.75	
	>20	>0.75	
导水性	不导水	0~0.25	0.15
	差	0.25~0.50	
	较好	0.50~0.75	
	好	>0.75	
延展长度/m	<500	0~0.25	0.10
	500~1 000	0.25~0.50	
	1 000~2 000	0.50~0.75	
	$>2 000$	>0.75	
断层密度/(n·km ⁻¹)	0	0~0.25	1
	1~2	0.25~0.50	
	2~5	0.50~0.75	
	>5	>0.75	

注:1. m_1 —煤层厚度; n/km—开采单元内煤层沿走向每 km 的断层个数。

2. 影响程度的大小,表示各指标对煤层复杂性影响的重要程度,不参与评价计算。

表 2 褶曲(煤层倾角变化)对煤层复杂度的影响
Table 2 The influence of folds(variation of seam dip) on coal seam complexity

曲率变化次数/(n·km ⁻¹)	曲率半径/m			
	$>1 000$	1 000~100	100~10	<10
0	<0.10	0.10~0.20	0.20~0.30	0.30~0.40
1~3	<0.20	0.20~0.30	0.30~0.40	0.40~0.50
3~5	<0.30	0.30~0.40	0.40~0.50	0.50~0.60
>5	<0.40	0.50~0.60	0.60~0.70	>0.80

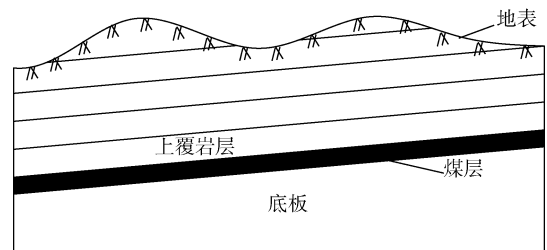


图 1 神东矿区煤层赋存形态

Fig. 1 The occurrence state of coal seam in Shendong mining area

整个煤层来说,有的区域煤层赋存复杂,有的区域则相对稳定,如在褶曲的轴部等。从大区域来说,整体是复杂的,但是对于某些开采单元,煤层赋存

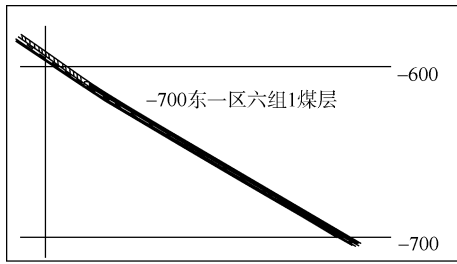


图 2 南票矿区煤层赋存形态

Fig. 2 The occurrence state of coal seam in Nanpiao mining area



图 3 大安山矿煤层赋存形态

Fig. 3 The occurrence state of coal seam in Da'an Shan mining area

条件可能相对简单。所以,以开采单元进行煤层的复杂性评价是科学而有意义的。

3 地质构造对煤层复杂性影响的定量评价方法

3.1 评价指标体系的建立

评价指标的选择,直接关系到评价结果的准确程度。通过分析地质构造对煤层复杂性的影响,选择断层和褶曲为地质构造对煤层复杂性评价的一级评价指标^[6]。进而,选择断层落差、断层倾角、断层带宽度、断层导水性、断层延展长度和断层密度作为定量分析断层对煤层复杂度影响的二级评价指标(为了简化评价体系,将断层密度和断层产状的各指标划为一类指标);选择曲率半径和曲率变化次数作为定量分析褶曲对煤层复杂度影响的二级评价指标。各二级指标的三级划分及各级指标的层次关系见图 4。

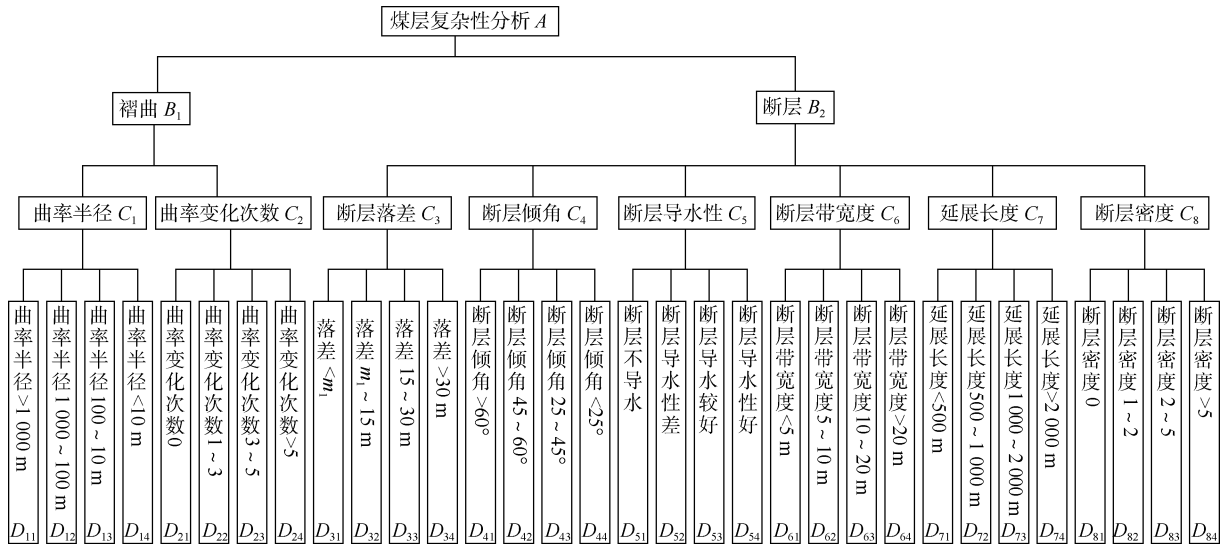


图 4 地质构造对煤层复杂性影响评价指标体系

Fig. 4 The evaluation system of the impact of geological structure on coal seam complexity

3.2 指标的标准化及模糊评价模型的建立

由于各个分类指标类型、量纲不同,同时,指标间数量级差别较大,为避免因各指标所取数值差别太大引起评价值不准确(即数值较大的指标在分类时所起的作用大,而数值较小的指标在分类时所起的作用小,甚至被淹没),使各个指标对分类具有相同的贡献率,将上述分类指标进行标准化处理,使各个指标的数值在相同的数量级上^[7]。各个指标在评价中对煤层复杂性影响程度的大小通过指标的权重系数体现。

指标标准化处理后,通过确定煤层复杂性各项指标的权重值,就可以对煤层复杂性进行综合评价。把煤层复杂性的综合评分满分定为 100 分,100 分

表示煤层最复杂,0 分表示煤层最稳定、最简单;将煤层按复杂程度划分为 4 类,划分类型及划分标准见表 3。根据煤层复杂性影响因素特点及评价指标体系,应用模糊数学建立煤层复杂性评价的模型式(1),应用层次分析法确定各指标的权值。

$$F = \sum_{i=1}^n w_i F_i \quad (1)$$

式中 F_i 为第 i 项评价指标评价值; w_i 为第 i 项评价指标的权重值; n 为评价指标数目。

3.3 评价指标权重的确定

层次分析法是一种定性与定量分析相结合的多目标决策分析方法^[8],运用层次分析法解决问题分 4 步:建立问题的递阶层次结构模型;构造出各层次

表 3 煤层复杂性分类及划分标准

Table 3 The criterion for coal seam complexity classification

煤层复杂度 类型	稳定 不复杂型	较稳定 稍复杂型	不稳定 较复杂型	极不稳定 特复杂型
复杂度评价	< 25	25~50	50~75	> 75

中的所有判断矩阵；层次单排序及一致性检验；层次总排序及一致性检验。

一致性检验用于检验判断矩阵的合理性。判断矩阵的一致性检验方法如下。

a. 计算一致性指标 CI ：

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

其中 λ_{\max} 为判断矩阵的最大特征值，用 MATLAB 软件的矩阵计算功能求得； n 为判断矩阵的阶数，据阶数查找相应的平均随机一致性指标 RI 值。

b. 计算一致性比例 CR ：

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

当 $CR < 0.10$ 时，认为判断矩阵的一致性可以接受，否则应对判断矩阵作适当修正。

根据生产实践对影响煤层复杂性的各指标的重要性进行排序，建立比较判断矩阵，并对其进行一致性检验，检验合格后，采用规范列平均法对判断矩阵进行归一化处理，求取各指标的权重。现以曲率半径为例介绍应用规范列平均法求权重的过程，其他指标权重的计算过程从略，只写出权重的求解结果。

曲率半径的判断矩阵：

C_1	D_{11}	D_{12}	D_{13}	D_{14}
D_{11}	1	1/3	1/5	1/7
D_{12}	3	1	1/3	1/5
D_{13}	5	3	1	1/3
D_{14}	7	5	3	1

$\lambda_{\max} = 4.117\ 0$; $CI = 0.039\ 0$; $RI = 0.890\ 0$; $CR = 0.043\ 8$

曲率半径的判断矩阵列求和：

C_1	D_{11}	D_{12}	D_{13}	D_{14}
D_{11}	1	1/3	1/5	1/7
D_{12}	3	1	1/3	1/5
D_{13}	5	3	1	1/3
D_{14}	7	5	3	1
列求和	16	28/3	68/15	176/105

求曲率半径的标准判断矩阵，并求标准判断矩阵的行平均值，即各因子的权重：

C_1	D_{11}	D_{12}	D_{13}	D_{14}	行平均值
D_{11}	0.06	0.04	0.04	0.09	0.06
D_{12}	0.18	0.11	0.07	0.12	0.12
D_{13}	0.31	0.32	0.22	0.20	0.26
D_{14}	0.44	0.54	0.66	0.60	0.56

由行平均值可知，曲率半径 C_1 的权重向量：

$$w_1 = (0.06, 0.12, 0.26, 0.56)^T$$

用同样的方法，求得其他指标的权重向量如下：

曲率变化次数的权重向量

$$w_2 = (0.04, 0.14, 0.31, 0.51)^T$$

断层落差的权重向量

$$w_3 = (0.05, 0.14, 0.27, 0.54)^T$$

断层倾角的权重向量

$$w_4 = (0.04, 0.09, 0.30, 0.57)^T$$

断层导水性的权重向量

$$w_5 = (0.05, 0.10, 0.25, 0.60)^T$$

断层带宽度的权重向量

$$w_6 = (0.04, 0.09, 0.26, 0.61)^T$$

延展长度的权重向量

$$w_7 = (0.05, 0.10, 0.28, 0.57)^T$$

断层密度的权重向量

$$w_8 = (0.04, 0.11, 0.23, 0.62)^T$$

褶曲权重向量

$$w_z = (0.13, 0.87)^T$$

断层权重向量

$$w_d = (0.24, 0.15, 0.09, 0.05, 0.03, 0.44)^T$$

煤层复杂性权重向量

$$w = (0.58, 0.42)^T$$

4 北京大安山矿采区煤层复杂性评价实例

4.1 +680 m 水平西三采区轴 9 上煤层地质构造条件

北京大安山矿+680 m 水平西三采区位于百草台箱型倒转向斜轴底(图 5)，煤层总体走向 $80^\circ \sim 90^\circ$ ，倾向 $N350^\circ \sim 360^\circ$ 。采区煤层赋存在褶曲轴部，采区内煤层受褶曲影响 1 次，煤层倾角变化在 $15^\circ \sim 26^\circ$ ，平均倾角 17° ，由几何关系分析得，褶曲处曲线半径约为 297.9 m。

采区内没有较大断层，但小断层发育，断层密度较大，断层数大于 5 条/km；断层性质大部分为正断层；断层落差在 0.50~2.50 m；据巷道和工作面揭露观测，断层倾角均在 60° 以上；断层带宽度较小，均小于 5 m；断层延展长度较小，为 20~500 m；因断层大部分为张性断层(正断层)，因而具有较好的导水性。

4.2 +680 m 水平西三采区轴 9 上煤层复杂性评价

4.2.1 +680 m 水平西三采区轴 9 上煤层复杂性评价指标判别

据+680 m 水平西三采区轴 9 上煤层地质构造条件分析，其煤层复杂性评价指标判别结果见表 4。

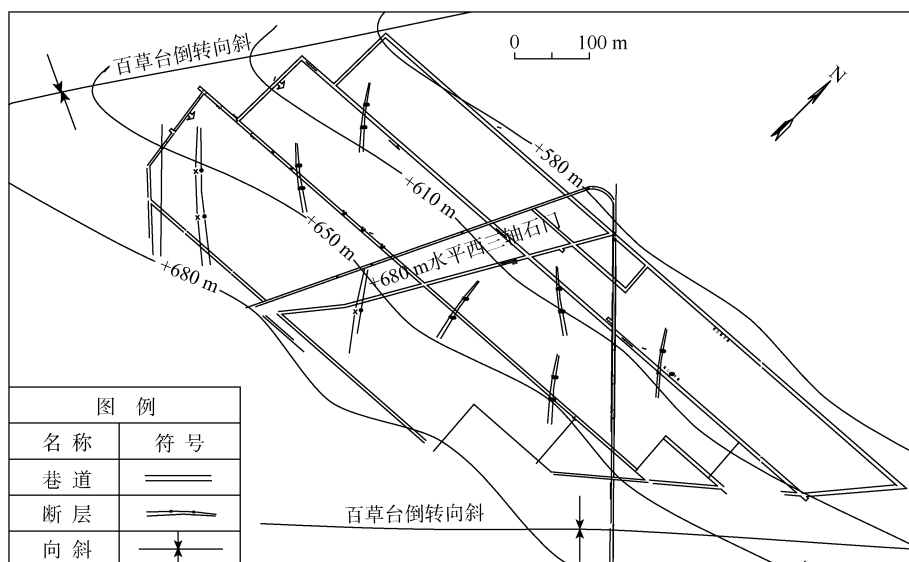


图5 大安山矿+680 m水平西三采区轴9上煤层底板等高线

Fig. 5 Contour line of 9# coal seam floor of the west 3th mining area in +680 m

表 4 大安山矿+680 m 水平西三采区轴 9 上煤层复杂性评价指标判别表

Table 4 The coal seam complexity evaluation index of the upper coal seam at axis 9 in west 3rd mining area at +680 m level

指标	曲率半径 C_1				曲率变化次数 C_2				断层落差 C_3				断层倾角 C_4			
	D_{11}	D_{12}	D_{13}	D_{14}	D_{21}	D_{22}	D_{23}	D_{24}	D_{31}	D_{32}	D_{33}	D_{34}	D_{41}	D_{42}	D_{43}	D_{44}
判别	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0

指标	断层导水性 C_5				断层带宽度 C_6				断层延展长度 C_7				断层密度 C_8			
	D_{51}	D_{52}	D_{53}	D_{54}	D_{61}	D_{62}	D_{63}	D_{64}	D_{71}	D_{72}	D_{73}	D_{74}	D_{81}	D_{82}	D_{83}	D_{84}
判别	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1

注:判别结果 1 指被评价煤层的特征符合复杂性评价指标所描述的情况;判别结果 0 指被评价煤层的特征不符合复杂性评价指标所描述的情况。

4.2.2 +680 m 水平西三采区轴 9 上煤层复杂性评价结果

由+680 m水平西三采区轴9上煤层各评价指标的识别结果及各级评价指标权重向量,计算出煤层复杂性评价得分为33.70。由煤层复杂度分类及划分标准可知,+680 m水平西三采区轴9上煤层复杂度属于II类—较稳定稍复杂型。

5 结语

a. 煤层经过原生沉积因素和后生改造因素的影响, 煤层赋存形态差异很大, 而不同赋存状态的煤层需要不同的开采技术。研究煤层复杂性评价方法, 可以将不同赋存形态煤层的复杂性定量化, 从而建立“煤层复杂度”与采煤方法之间的对应关系, 为煤矿开采设计中采煤方法的选择提供依据。

b. 提出了“煤层复杂度”概念,并用该概念对煤层进行了定量分类。煤层复杂度评价可用于指导煤矿采区或工作面采煤方法的选择,实现采煤方法选择的科学化。

c. 建立了基于地质构造条件的煤层复杂性模

糊综合评价方法。确定了以断层和褶曲为影响因素的多级评价指标体系,基于模糊数学建立了评价模型,应用层次分析法确定了各级评价指标的权重向量。并应用该方法评价了北京大安山煤矿+680 m 水平西三采区轴 9 上煤层的复杂性。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 童玉明,陈胜早,王伏泉,等. 中国成煤大地构造[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [4] 杨孟达. 煤矿地质学[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2000.
- [5] 李增学,马兴祥,王大曾,等. 实用矿井地质研究——方法与进展[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- [6] 霍丙杰,张宏伟,张志. 煤层复杂性评价理论探讨[J]. 世界科技研究与发展, 2010, 31(4): 545-550.
- [7] 宋子岭,马云东. 我国露天煤田分类研究()——分类指标体系的建立[J]. 煤炭学报, 2008, 33(9): 1002-1005.
- [8] 苏为华. 多指标综合评价理论与方法问题研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2000.