

# 兖州煤田主采煤层顶板稳定性特征分析

刘海燕<sup>1</sup>, 伍法权<sup>1</sup>, 李增学<sup>2</sup>, 刘彤<sup>1</sup>

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 2. 山东科技大学, 山东 青岛 266510)

**摘要:** 对兖州煤田主采煤层顶板稳定性特征进行分析, 把影响煤层顶板稳定性的因素归纳为岩石的沉积学特征、构造特征、力学性质等几个方面。从沉积学特征分析, 把煤层顶板分为下软上硬型、下硬上软型及复合型; 从构造特征分析, 煤层顶板分成构造特别发育型、发育型、中等发育型和不发育型; 从岩石强度方面把煤层顶板分成强度特高型、强度高型、强度中等和强度低型。综合考虑各因素, 利用层次分析法原理和模糊综合评判理论对煤层顶板稳定性进行评价。把兖州煤田主采煤层顶板稳定性特征划分为非常稳定型、稳定型、中等稳定型和不稳定型4级。非常稳定区主要是沉积厚层中粗砂岩, 构造极少发育, 岩石力学强度高; 稳定区主要是沉积中厚层细粉砂岩, 构造少量发育, 断续展布, 岩石力学强度较高; 中等稳定区主要是沉积粉砂及泥岩, 构造大量发育且部分贯通, 岩石力学强度中等; 不稳定区主要是沉积泥岩及煤线, 构造相当发育, 大都相互贯通, 裂隙较多, 岩石力学强度低。

**关键词:** 采矿工程; 层次分析法; 顶板稳定性; 模糊数学; 权重

**中图分类号:** TD 35

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000 - 6915(2006)07 - 1450 - 07

## STUDY ON STABILITY CHARACTERISTICS OF MAIN SEAM ROOF IN YANZHOU COALFIELD

LIU Haiyan<sup>1</sup>, WU Faquan<sup>1</sup>, LI Zengxue<sup>2</sup>, LIU Tong<sup>1</sup>

(1. *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;*

*2. Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266510, China)*

**Abstract:** The stability characteristics of main seam roof in Yanzhou coalfield are analyzed. And the different influencing factors are generalized as the sedimentary characteristics, tectonic characteristics, mechanical property and some others. From sediment analysis, the main seam roof is divided into hardness-upward, softness-upward or their compound. From tectonic characteristics, the main seam roof is divided into super structure-development, structure-development, middle structure-development, and nondevelopment. From rock strength, the main seam roof is divided into extra-high intensity, high intensity, middle intensity, and low intensity. All factors are comprehensively analyzed, and based on analytical hierarchy process(AHP) and fuzzy mathematics method, the stability characteristics of main seam roof are evaluated in Yanzhou coalfield. The stability roof are divided into four grades: super stability, stability, middle stability and instability. The zone of super stability is thick coarse sandstones, with few structures and extreme high strength. The zone of stability is medium-bedded fine sand and silt with a few structures and intermittent, and high strength. The zone of middle stability are silt and mudstone with many structures of partly cutting through and medium strength. The zone of instability are mudstone and seam with large quantity and continuous structures and low strength.

**收稿日期:** 2005 - 01 - 12; **修回日期:** 2005 - 03 - 29

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(90302011)

**作者简介:** 刘海燕(1978 - ), 女, 2001年毕业于山东科技大学地质工程专业, 现为博士研究生, 主要从事工程地质方面的研究工作。E-mail: lhylsj@mail.iggcas.ac.cn

**Key words:** mining engineering; analytical hierarchy process(AHP); stability of seam roof; fuzzing mathematics; weight

### 1 引言

对于矿井采煤工程来说, 煤层顶板稳定性主要由顶板岩体岩性、结构特征及岩石力学性质所决定。顶板稳定性问题是岩体结构复杂性与井下工程适应性和协调性的综合反映, 因此在开采设计中准确了解岩体结构及其对顶板稳定性的影响, 具有重要的理论和实际应用价值。近些年来, 国内外一些学者从含煤地层沉积环境入手, 分析煤层及其顶板形成。建立不同沉积模式, 分析区域性沉积与顶板稳定性关系, 取得了一定的成果<sup>[1~3]</sup>。本文从研究区实际情况出发, 考虑具体条件, 对煤层顶板稳定情况进行分析, 对煤矿开采生产具有实用价值。

### 2 主采煤层顶板特征分析

兖州矿区位于山东省西南部, 含煤地层为石炭 - 二叠系, 主要含煤层段是上石炭统和下二叠统太原组、下二叠统山西组。由于主采煤层赋存于下二叠统下部山西组, 所以本文主要研究对象为下二叠统山西组三煤顶部岩层。

#### 2.1 顶板沉积特征分析

兖州煤田第 3 层煤是在三角洲平原上聚积形成的, 因此顶板的沉积层序总体可概括为向上变细层序、向上变粗层序和粗细相间层序<sup>[4]</sup>, 对应的顶板类型可分为下硬上软型、下软上硬型和复合型 3 类(见图 1)。

#### (1) 下硬上软型顶板——向上变细层序(见图 1(a))

这种类型主要是河流作用为主的三角洲平原环境下形成的沉积层序。顶板岩体强度由下往上迅速降低, 中间存在明显的沉积弱面。砂岩与泥岩界面常由于在成岩作用过程中产生的差异压实作用而产生滑面和纵向节理, 从而使岩体强度降低, 给支护带来一定的困难。在采动过程中下硬上软型顶板稳定性极好, 但易造成大面积冒顶事故, 需采用特殊方法控制和管理。

#### (2) 下软上硬型顶板——向上变粗层序(见图 1(b))

这种类型主要形成于三角洲平原沉积环境, 如大型决口扇和分流间泛滥平原沉积、发育较好的三角洲沉积序列。由下向上粒度逐渐增大, 因而沉积物的岩性及结构, 在垂直层序上具有下细上粗的特征, 岩体工程性质由下向上有增高的趋势。这类顶板为下软上硬型沉积组合结构, 是一种最为理想的顶板管理类型。

#### (3) 复合型顶板——粗细相间层序(见图 1(c))

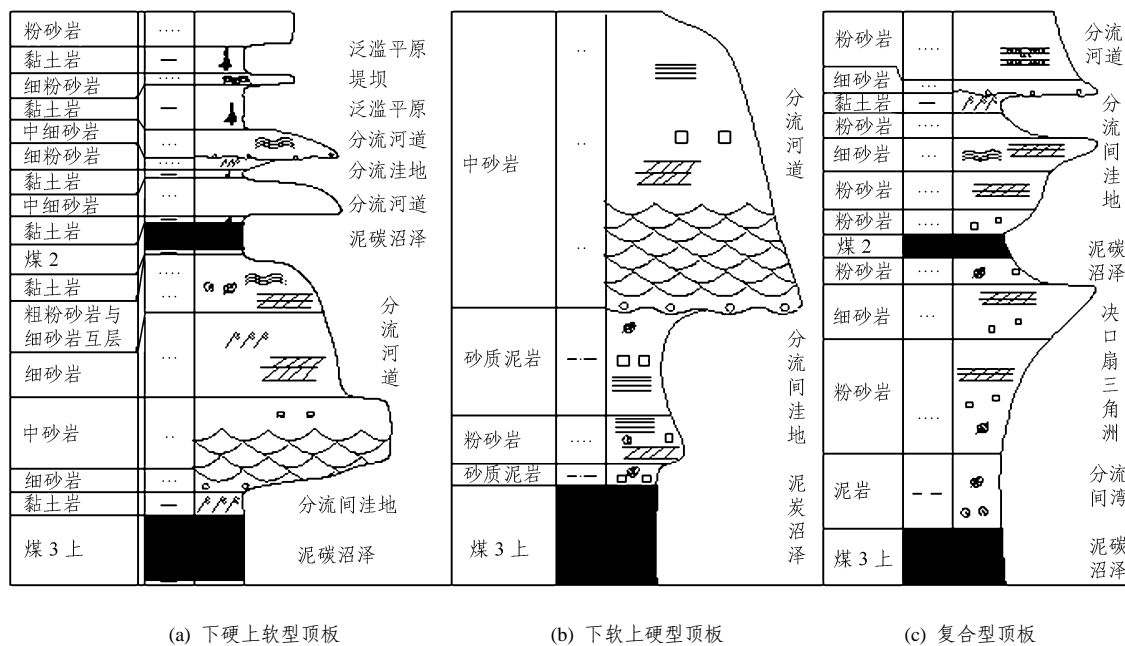


图 1 主采煤层顶板类型

Fig.1 Types of main seam roof

复合型顶板沉积层序由下向上沉积有分流间洼地、分流河道、决口扇、分流间泛滥平原、堤坝等。沉积形成复合型顶板时,水动力条件起决定作用。砂泥岩互层形成于水动力强弱交替、变化频繁且剧烈的环境中,使得沉积物在成分和结构上产生不均一性和交互性,沉积软弱结构面发育。此外,在较厚的泥岩中往往发育一层或数层碳质页岩或薄煤层。在细砂岩沉积层中局部发育裂隙,充填方解石脉,底部常具大型交错层理和冲刷结构。

## 2.2 顶板构造特征分析

依据断层及褶皱的展布特点,按已采区揭露的顶板小断层分布情况划分煤层顶板构造分区。将顶板类型分为4级:构造极发育区、构造发育区、构造中等发育区和构造不发育区。

构造不发育区内小构造数量有限,断续展布,主要集中分布在井田北部及西部地区,分布在远离构造密集的地带。构造中等发育区内小构造数量不多,连通性不良,独个产出,这种类型全区基本均匀分布,属较稳定顶板,与较不稳定顶板成过渡带分布。构造发育区多指大构造附近区域,许多伴生小构造发育,相互贯穿连通,破坏岩体的完整性,岩石力学性质降低,是顶板冒落和破坏的主要因素。构造极发育区内小断层密集成带,顶板岩层破碎,节理裂隙较多。一般大构造出现的地方往往小构造也很密集,因为在区域构造力的作用下,大构造逐渐形成过程中,小构造伴生出现,使岩体的不稳定程度和范围都相应增加。

## 2.3 顶板岩石力学性质分析

根据顶板岩层岩石力学性质特点,对煤层顶板按岩石力学性质进行分区,共分为4种类型:极高强度区、高强度区、中等强度区和低强度区。

在极高强度区,顶板岩层的抗压强度 $>55$  MPa,仅分布在井田中部和南部,面积较小。在高强度区,顶板岩层的抗压强度为 $45\sim 55$  MPa,井田北部、西部和南部大部分地区属于此类。在中等强度区,顶板岩层的抗压强度为 $35\sim 45$  MPa,主要分布在井田最北部,中西部以及东南部地区。在低强度区,顶板岩层的抗压强度 $<35$  MPa,零星分布在全井田范围内,主要受沉积和构造等多方面的影响,岩石体力学性质低。

# 3 主采煤层顶板稳定性影响因素

由于影响煤层顶板稳定性的因素众多而又复杂,

而且绝大多数影响因素只是对其稳定性的定性评价,给进一步分析造成了困难。层次分析法(analytical hierarchy process, AHP)是由美国著名运筹学家、匹兹堡大学 T. L. Saaty 教授于 20 世纪 70 年代中期提出的多目标多准则决策方法,原理简单,有数学依据,可以对非定量事物进行定量分析、对人们的主观判断进行客观描述,并已在许多领域中得到广泛应用<sup>[5]</sup>。

## 3.1 层次分析法基本原理

层次分析法是对所需要解决的问题,依据其内容和各因素间的相互关系,将因素按不同层次集合,把复杂的问题条理化、简单化,明确要解决的问题,利用数学手段确定每一层各因素相对重要性的权重,再把上一层信息传递到下一层,最后得出各因素相对重要性总的排序。根据总排序(即权重),确定出各因素对目标的影响程度,以此确定影响建设工程质量和可能造成工程隐患的原因,实施有效的控制措施。

层次分析法的基本步骤<sup>[6]</sup>如下:

- (1) 对问题进行分析;
- (2) 建立描述系统功能或特征的内部独立的递阶层次结构;
- (3) 同属一级的要素以上一级要素为准则进行两两比较,根据判断尺度确定其相对重要性,建立判断矩阵;
- (4) 对同一级元素判断矩阵进行层次单排序;
- (5) 对判断矩阵进行一致性检验;
- (6) 计算各要素的层次总排序。

下面根据层次分析法的基本原理,分析影响煤层顶板稳定性的几个重要因素。

## 3.2 主采煤层顶板稳定性影响因素分析

影响因素主要从4个方面进行分析,包括沉积学、构造学、岩石力学及其他因素。

### (1) 建立问题的递阶层次结构

首先把决策的复杂系统分解为各种组成因素,将这些因素按支配关系分解为次级组成因素,如此层层分解,形成一个有序的树状层次结构,称为递阶层次结构,构成不同层次因素之间的相互关系。其中最上层为目标层,最下层为可供选择的决策方案层,顶板稳定性影响因素之间的关系表示为如图2所示的递阶层次结构。

### (2) 构造判断矩阵

构造各层判断矩阵,均是建立本层次对上一层次与某一因素有关的因素之间相对重要性程度的

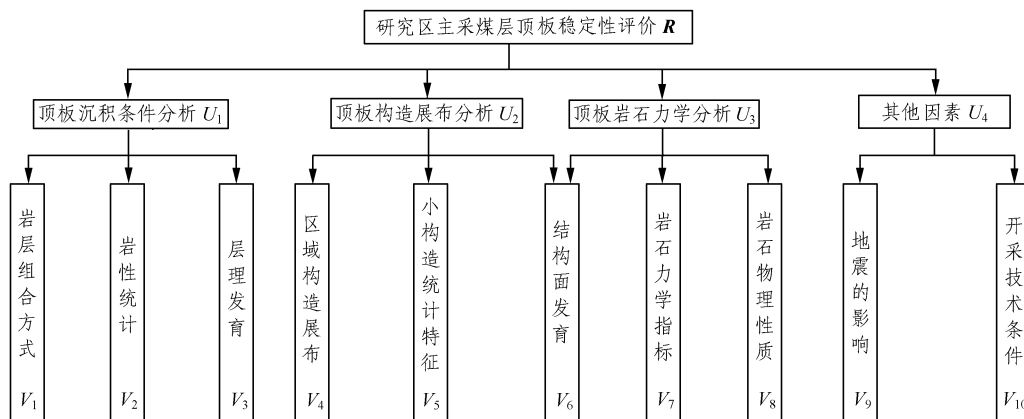


图 2 层次分析结构模型

Fig.2 Structural model of analytical hierarchy process

矩阵，矩阵元素是本层次各个因素之间重要性的量化数值，由人的主观判定给出。

基本层因素运用标度 1~9(见表 1)，两两比较得到判断矩阵形式如表 2 所示。表 2 中分数取值表示因素  $U_i$  与因素  $U_j$  相比得  $a_{ij}$ ，则  $U_i$  比  $U_j$  判断为  $a_{ij} = 1/a_{ji}$ 。

表 1 判断矩阵标度及其涵义<sup>[6, 7]</sup>

Table 1 Matrix scales for judging and its implication<sup>[6, 7]</sup>

标度	涵义
1	两个因素相比，具有相同的重要性
2	重要性介于标度 1 和 3 之间
3	两个因素相比，一个因素比另一个因素稍微重要
4	重要性介于标度 3 和 5 之间
5	两个因素相比，一个因素比另一个因素明显重要
6	重要性介于标度 5 和 7 之间
7	两个因素相比，一个因素比另一个因素强烈重要
8	重要性介于标度 7 和 9 之间
9	两个因素相比，一个因素比另一个因素极端重要

表 2 判断矩阵

Table 2 Matrix scales for judgment

R	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	W
$U_1$	1	1/3	1	5	0.21
$U_2$	3	1	3	7	0.53
$U_3$	1	1/3	1	5	0.21
$U_4$	1/5	1/7	1/5	1	0.05

(3) 逐层单排序，并进行一致性检验

首先解出每个判断矩阵的最大特征值  $\lambda_{max}$ ，再利用  $A\omega = \lambda_{max}\omega$  解出  $\lambda_{max}$  所对应的特征向量  $\omega$ ， $\omega$  经过标准化后，即为同一层次中相应元素对上一层中某因素相对重要性的排序权重(W)<sup>[6]</sup>。

由此可得

$$\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n \frac{(A\omega)_i}{n\omega_i} \tag{1}$$

式中： $(A\omega)_i$  为  $A\omega$  的第  $i$  个元素。

得到  $\lambda_{max}$  后，需要进行一致性检验，首先计算矩阵的一致性指标  $CI$ ，定义为

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \tag{2}$$

式中： $n$  为矩阵阶数，当  $CI = 0$ ，即  $\lambda_{max} = n$  时，矩阵具有完全一致性。 $CI$  愈大，矩阵的一致性愈差。

将  $CI$  与平均随机一致性指标  $RI$  进行比较，令  $CR = \frac{CI}{RI}$ ，称  $CR$  为随机一致性比率。当  $CR < 0.10$

时，矩阵具有满意的一致性，否则要对矩阵重新调整，直到具有满意的一致性。这样计算出的  $\lambda_{max}$  所对应的特征向量  $\omega$ ，经过标准化后，才可以作为层次单排序的权重(W)，计算权重与一致性检验结果见表 2， $RI$  取值见表 3。

表 3 判断矩阵的平均随机一致性指标  $RI$  值<sup>[8]</sup>

Table 3 Average random consistency indexes  $RI$  of matrix for judgment<sup>[8]</sup>

阶数 $n$	$RI$ 值
1	0.00
2	0.00
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45

(4) 权重分配, 进行总排序

根据判断矩阵得出各因素的权重大小, 计算并进行一致性和随机性检验后, 得各类、各项影响因素指标的两级权重分配(见表 4)。

表 4 各项影响因素权重的排序

Table 4 Ordering weight values of influencing factors

各类、各项因素指标编号	分支层权重分配	单因素对目标层权重	基本层权重分配
U <sub>1</sub>	V <sub>1</sub>	0.72	0.151 2
	V <sub>2</sub>	0.20	0.042 0
	V <sub>3</sub>	0.08	0.016 8
	V <sub>4</sub>	0.07	0.037 1
U <sub>2</sub>	V <sub>5</sub>	0.28	0.148 4
	V <sub>6</sub>	0.65	0.344 5
	V <sub>6</sub>	0.65	0.136 5
U <sub>3</sub>	V <sub>7</sub>	0.23	0.048 3
	V <sub>8</sub>	0.12	0.025 2
U <sub>4</sub>	V <sub>9</sub>	0.83	0.041 5
	V <sub>10</sub>	0.17	0.008 5

## 4 两级模糊评判方法与评价标准

### 4.1 评价方法

模糊综合评判就是根据已给出的评判标准及评价因素的数值, 首先进行单因素评价, 形成单因素模糊矩阵 **A**, 再利用 AHP 法确定每个因素对评价目标贡献大小即权重向量 **R**, 经模糊合成, 得到对系统总体评价的评语集 **B**, 即  $ROA = B$ , 其中  $B = [B_1, B_2, \dots, B_j]$ ,  $B_i$  为评价对象对第  $i$  条评语的隶

属度。

关于评判矩阵 **A** 与权集 **R** 的合成办法, 常用模型有: 主因素决定型、主因素突出型和加权平均型<sup>[9]</sup>。由于顶板稳定性是各影响因素共同作用的结果, 并非单一因素决定, 因而本次评价采用加权平均型进行评价。

设  $O = M(\cdot, \odot)$  为加权平均型, 其中 “ $\cdot$ ” 为普通乘法, “ $\odot$ ” 为求和运算<sup>[9]</sup>。引入模糊矩阵:

$$A = (a_{ij})_{n \times m} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \end{bmatrix}$$

与权重向量  $R = (r_i)_{1 \times n} = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ , 则可得

$$\text{评语集 } B = ROA = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}, \quad b_j = \sum_{i=1}^n r_i a_{ij} \quad (j = 1, 2, \dots, m)$$

### 4.2 单因素评价准则及隶属度的确定

#### (1) 单因素评价准则

在前人研究资料的基础上, 结合本区的实际特点, 对兖州煤田顶板稳定性分 4 级进行评价: 非常稳定区 I, 稳定区 II, 中等稳定区 III, 不稳定区 IV。相应地, 评价因素的指标界限一般也按其质量状况划分成 4 级(见表 5)。

#### (2) 隶属度的确定

模糊关系运算中的隶属度是指分类指标从属于某种类别的程度大小, 一般是以隶属函数来表示。隶属函数的确定是一项非常复杂的工作, 目前尚无

表 5 顶板稳定性评价因素指标

Table 5 Indexes for single factor evaluation of roof stability

因素	非常稳定区 I	稳定区 II	中等稳定区 III	不稳定区 IV
岩层组合方式	厚层砂或细砂岩	厚~中厚砂岩组合	中厚层细~粉砂岩	薄层粉砂~泥岩组合
岩性差异	坚硬砂岩	砂岩及细砂岩	细砂及粉砂岩	泥岩及煤线
层理变化	块状、无层理	水平层理	波状层理	交错层理
区域构造展布	无断裂构造	无或老断裂存在	活动断裂的分支断裂存在	主活动断裂存在
小构造统计特征	无	<1 条/m <sup>2</sup>	1~5 条/m <sup>2</sup>	>5 条/m <sup>2</sup>
结构面发育	无	较少结构面发育, 延展长度不大, 不影响岩层的整体性	有一定量的结构面发育, 影响岩层的整体性	大量结构面发育, 使岩层切割成小块体
岩石力学指标	>55 MPa	45~55 MPa	35~45 MPa	<35 MPa
岩石物理性质	好, 岩体指标变化较小	岩体指标有轻微变化	中等, 受水及风化的影响强度指标会降低	差, 受水及风化影响大
地震的影响	无	无	轻微	严重
开采技术条件	低地应力区且地下水影响范围小	地应力、地下水等条件中等	地应力、地下水等条件中等	高地应力区且地下水影响严重

一套完整而具有普遍意义的确定办法。人们往往是根据具体研究对象采取一定的统计推断得到，多数情形是以正态函数代替隶属函数，使用起来很不方便，而且物理意义不很明显<sup>[9]</sup>。

在总结前人确定隶属度的基础上，结合本次工作区的实际情况，采用剖分面积元的方法来确定因素的隶属度。

首先按照钻孔统计数据，将评价地区进行 0.5 km×0.5 km 网格化，每个网格面积为  $S = 0.25 \text{ km}^2$ 。

设  $a_{ik}(i = 1, 2, 3, \dots, 10; k = 1, 2, 3, 4)$  为第  $i$  个因素在第  $n_{ij}$  个单元对第  $k$  等级的隶属度，其表达式为

$$a_{ik} = \begin{cases} 0 & (\text{表示第 } i \text{ 个因素在单元第 } k \text{ 等级中所占面积为 } 0) \\ \frac{S_k}{S} & (\text{表示第 } i \text{ 个因素在单元第 } k \text{ 等级中所占面积为 } S_k) \\ 1 & (\text{表示第 } i \text{ 个因素在单元第 } k \text{ 等级中所占面积为 } S) \end{cases}$$

这种方法确定的隶属度非常直观，易于计算，而且也很符合实际情况，是一种可行的方法。

(3) 量测各网格中各指标归属于上述区域稳定等级的面积值，计算其隶属度的大小。

### 4.3 二级模糊综合评判过程

按照两级模糊综合评判的基本原则，整个评判过程如下：

(1) 全矿区按照上述网格划分方法，共分为 685 个单元格，作为 3 煤层顶板稳定性定量评价单元(见图 3)。并按表 5 的分级标准，绘制各因素分区图。

(2) 计算各网格中指标归属于各等级的面积值，计算其隶属度的大小。

(3) 一级模糊综合评判：按单元序号分别将每个单元在  $U_1, U_2, U_3, U_4$  下的隶属度值组成的关系矩阵  $A_1, A_2, A_3, A_4$  和利用上述层次分析求出的权重向量  $R_1, R_2, R_3, R_4$  进行  $ROA = B$  的模糊合成。由此即得到各准则评价价值：

$$U_1: B_1 = R_1OA_1 = \{r_{11}, r_{12}, r_{13}, r_{14}\} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} =$$

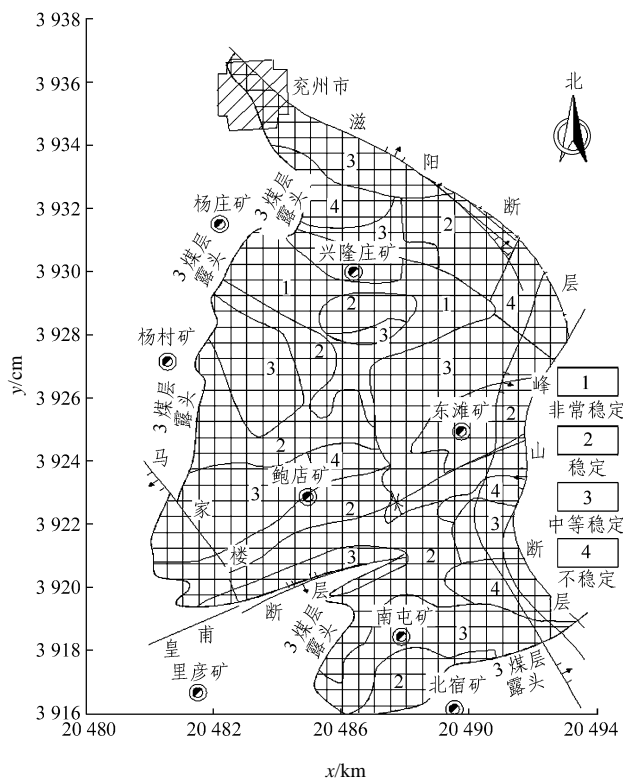


图 3 兖州煤田主采煤层顶板稳定性综合分区图  
Fig.3 Synthetical subarea map of stability of main seam roof in Yanzhou coalfield

$$\begin{aligned} & \{b_{11}, b_{12}, b_{13}, b_{14}\} \\ U_2: B_2 &= \{b_{21}, b_{22}, b_{23}, b_{24}\} \\ U_3: B_3 &= \{b_{31}, b_{32}, b_{33}, b_{34}\} \\ U_4: B_4 &= \{b_{41}, b_{42}, b_{43}, b_{44}\} \end{aligned}$$

(4) 二级模糊综合评判：同样，在目标层  $R$  下，由  $B_1, B_2, B_3, B_4$  组成的模糊关系矩阵  $A = (b_{ij})_{4 \times 4}$ ，再次经  $C = ROA$  合成，即

$$C_1 = ROA = \{r_{11}, r_{12}, r_{13}, r_{14}\} \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} & b_{34} \\ b_{41} & b_{42} & b_{43} & b_{44} \end{bmatrix} = \{c_{11}, c_{12}, c_{13}, c_{14}\} \quad (3)$$

$$c_j = \max\{c_{j1}, c_{j2}, c_{j3}, c_{j4}\} \quad (j=1, 2, 3, 4) \quad (4)$$

式中： $c_j$  为该评价单元隶属于区域稳定各等级的隶属度，并按最大隶属度原则进行评价，确定其稳定性。其中， $c_1$  代表非常稳定区， $c_2$  代表稳定区， $c_3$  代表中等稳定区， $c_4$  代表不稳定区。依此类推得

$$\begin{aligned} U_2: C_2 &= \{c_{21}, c_{22}, c_{23}, c_{24}\} \\ U_3: C_3 &= \{c_{31}, c_{32}, c_{33}, c_{34}\} \\ U_4: C_4 &= \{c_{41}, c_{42}, c_{43}, c_{44}\} \end{aligned} \quad (5)$$

式中:  $c_{ij}$  为准则层  $U_i$  下各因素评价值对  $U_i$  的隶属度<sup>[10]</sup>。

## 5 综合评价

按照表 5 的分级标准, 通过单因素模糊评价, 绘制各因素的分区图<sup>[10]</sup>。然后根据兖州矿区各因素相关关系, 经二级模糊综合评判, 确定准则层相对于目标层的隶属度, 将所有网格按区域稳定等级连成一片, 最后得到总评价结果。

## 6 结 论

利用层次分析法确定影响因素权重后, 对研究区进行综合分析。把兖州煤田主采煤层顶板基本类型分为 4 种: 顶板非常稳定区、顶板稳定区、顶板中等稳定区和顶板不稳定区。

### (1) 顶板非常稳定区

主要位于井田中北部, 岩性主要以中粗砂岩为主, 构造极少发育, 岩石力学强度高。

### (2) 顶板稳定区

主要位于井田的西部、西南以及东北部, 主要以细砂岩、粉砂岩及薄层互层为特征, 含少量泥岩, 构造发育中等, 局部小构造密集, 岩石力学性质处于高强度区与中等强度区的过渡地段。

### (3) 顶板中等稳定区

主要位于井田西南部, 中部及东南部地区, 南北向条带状分布, 岩性以粉砂岩、泥岩、黏土岩为主, 构造属极发育区、发育区或中等发育区, 局部小构造密集发育, 主要为大型断裂的两侧或临近地区, 岩石力学性质处于中等强度。

### (4) 顶板不稳定区

主要位于井田北部及东部小块区域, 岩性以泥岩、泥质粉砂岩和粉砂岩为主, 构造极发育, 岩层裂隙较多, 岩石力学性质较差。

**致谢** 本文在资料收集过程中, 得到兖州煤田部分领导的热情帮助, 在文章修改过程中得到祁生文博士后的指导与帮助, 在此表示感谢!

## 参考文献(References):

[1] 孟召平, 彭苏萍, 屈洪亮. 煤层顶底板岩石成分和结构与其力学性质的关系[J]. 岩石力学与工程学报, 2000, 19(2): 136 - 139.(Meng Zhaoping, Peng Suping, Qu Hongliang. The relationship between composition and texture of sedimentary rock and its mechanical

properties in the roof and floor[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2000, 19(2): 136 - 139.(in Chinese))

[2] 刘长友, 瞿群迪, 王志军. 深部大倾角综采工作面顶板稳定性数值模拟[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(增): 2 121 - 2 124.(Liu Changyou, Qu Qundi, Wan Zhijun. Numerical simulation on rock stability in fully mechanized coal face under the condition of deep mining and large inclination[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21(Supp.): 2 121 - 2 124.(in Chinese))

[3] 曹胜根, 钱鸣高, 缪协兴, 等. 综放开采端面顶板稳定性的数值模拟研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2000, 19(4): 472 - 475.(Cao Shenggen, Qian Minggao, Miao Xiexing, et al. Numerical simulation study on roof stability of face area in fully mechanized mining with top coal caving[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2000, 19(4): 472 - 475.(in Chinese))

[4] 孟召平. 煤层顶板沉积岩体结构及其对顶板稳定性的影响[博士学位论文][D]. 北京: 中国矿业大学, 1999.(Meng Zhaoping. Influence of sedimentary characters on stability of roof of coal seams[Ph. D. Thesis][D]. Beijing: China University of Mining and Technology, 1999.(in Chinese))

[5] 庄锁法. 基于层次分析法的综合评价模型[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2000, 23(4): 582 - 585.(Zhuang Suofa. Study of synthetic evaluation model based on analytical hierarchy process[J]. Journal of Hefei University of Technology(Natural Science), 2000, 23(4): 582 - 585.(in Chinese))

[6] 范金志, 郭德勇, 张建国. 层次分析法确定煤与瓦斯突出影响因素的权重[J]. 矿业安全与环保, 2004, 31(3): 4 - 8.(Fan Jinzhi, Guo Deyong, Zhang Jianguo. Confirm the weight value of coal and gas by AHP[J]. Mining Safety and Environmental Protection, 2004, 31(3): 4 - 8.(in Chinese))

[7] 孙 叶, 谭成轩, 杨贵生, 等. 中国区域地壳稳定性量化评价与分区[J]. 地质力学学报, 1997, 3(3): 42 - 52.(Sun Ye, Tan Chengxuan, Yang Guisheng, et al. Quantitative assessment and zonation of regional crustal stability in China[J]. Journal of Geomechanics, 1997, 3(3): 42 - 52.(in Chinese))

[8] Saaty T L, Wong M M. Projective average family size in rural India by the analytic hierarchy process[J]. Journal of Mathematical Sociology, 1983, 9: 181 - 209.

[9] 聂洪峰, 祁生文, 孙进忠, 等. 重庆市区域稳定性层次分析模糊综合评价[J]. 工程地质学报, 2002, 10(4): 408 - 414.(Nie Hongfeng, Qi Shengwen, Sun Jinzhong, et al. Analytical hierarchy process and fuzzy mathematical evaluation of regional stability of Chongqing municipality[J]. Journal of Engineering Geology, 2002, 10(4): 408 - 414.(in Chinese))

[10] 刘海燕. 兖州煤田主采煤层顶板稳定性评价[硕士学位论文][D]. 青岛: 山东科技大学, 2004.(Liu Haiyan. The evaluation of stability characters of main seam roof in Yanzhou coalfield[M. S. Thesis][D]. Qingdao: Shandong University of Science and Technology, 2004.(in Chinese))