

9、2017年11月，论文《基于模糊数学的煤层顶板稳定性评价研究》发表在《煤炭技术》。

创刊于1982年 · 全国中文核心期刊 · 全国煤炭优秀科技期刊

ISSN 1008-8725

CODEN MJEIA3

Vol.36

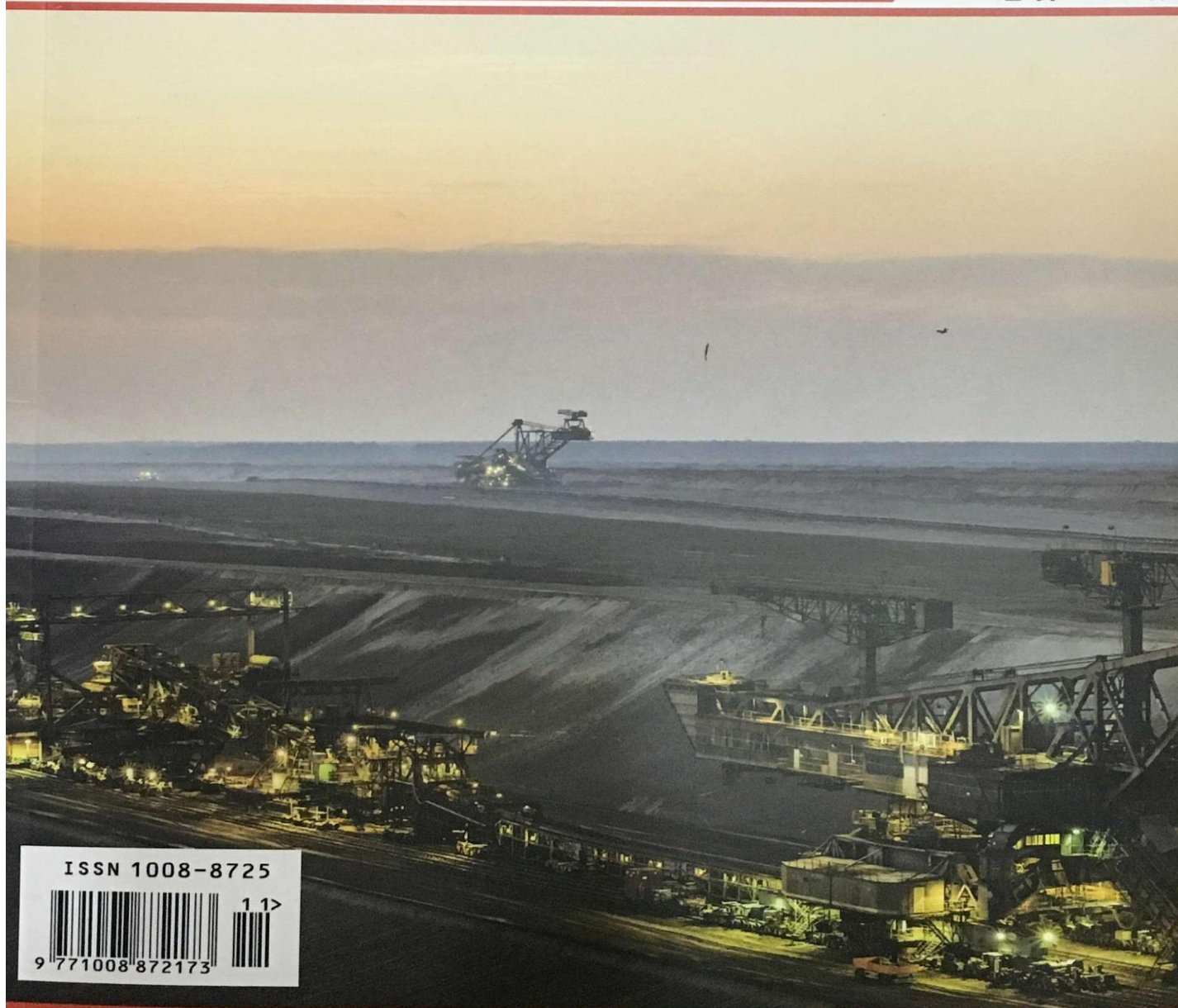
# 煤炭技术

COAL TECHNOLOGY

11

2017

总第287期



ISSN 1008-8725



9 771008 872173

11

黑龙江科技大学 主管

哈尔滨煤矿机械研究所 主办

<http://mtjs.cbpt.cnki.net>



# 煤炭技术

## MEITAN JISHU

公开发行

(月刊)

1982年创刊

### 目次

#### ■ 采矿与井巷工程

大倾角煤层伪倾斜综放工作面变角度布置方法研究 ..... 伍永平,武会杰,王红伟,胡博胜(1)

基于模糊理论的急倾斜煤层采煤方法优选 ..... 段军,梁智广,岳洪辉(4)

常村煤矿2101工作面覆岩破坏规律研究 ..... 刘树新,王文杰,魏丁一,张彬鑫(7)

基于BP神经网络的爆破参数优化研究 ..... 袁绍国,王振涛,耿荣,张兆辉(10)

水平应力作用下层状顶板回采巷道围岩失稳机理及支护分析 ... 卜庆为,高阳,常瑞(12)

深部软岩巷道不同岩性段变形特征及影响因素分析 ..... 杨付领,陈昕昕,梁华杰(15)

采动影响下的断层活化数值模拟 ..... 王沙沙,宋宝来(18)

河北省柏乡县干热岩地热资源初探 ..... 卢凤豪(21)

厚松散层下开采高度对地表移动的影响规律研究 ..... 郭树勤,梁华杰,陈昕昕(23)

水泥-煤矸石充填浆体的性能及其充填过程 ..... 韩宇峰,殷志祥,郭保立(26)

基于“SSD”法的区段煤柱合理宽度研究 ..... 侯德建,闫瑞兵(28)

深井软岩巷道新型复合支护技术研究 ..... 孙晓成,袁奇,申玉三,刘阳(31)

赵家寨矿“三软”煤层巷道主被动协同支护技术研究 ..... 丁军,姜彦军(34)

注浆加固在强动压下软岩巷道支护中的作用 ... 朱家锐,毛明发,常伟华,韩帅(37)

高强泡沫混凝土性能的实验研究 ..... 刘春娥,刘立新(40)

复杂地质条件下急倾斜薄煤层综采工艺研究与应用 ... 黄继,李虎,胡仲国(42)

采动底板的岩性组合效应研究 ... 朱宁宇,姚多喜,鲁海峰,方翔宇,张好,薛凉(44)

冻结砂岩单轴压缩试验及剪应变局部化带数值模拟 ... 许常伦,姚兆明,陈军浩(47)

煤层气水平井筛管完井工艺实践 ... 张波,张彬,陈必武,梁文君,邱爱民,王少博(50)

采空区下综采工作面顶板压力的确定 ..... 刘军锋(52)

沿空留巷支护技术的数值模拟研究 ..... 韩森,刘萍(54)

地下开采引起地表变形的有限元数值模拟 ..... 徐博,吕义清(56)

保护层开采应力场和位移场演化规律模拟 ... 张洋洋,梁运培,邹全乐,李清森,李波(59)

深井软岩多结构多元化控制变量法支护技术应用 ..... 杨宗坡(62)

综放动压沿空掘巷支护设计优化研究 ..... 毛怀昆,于静波(64)

冻结壁解冻过程中斜井受力模型试验设计 ..... 郭垚伟,徐拴海,袁克阔,杨栋(67)

丰汇煤矿巷道底鼓成因及控制技术 ..... 雷尹嘉,杨桐茂,赵勇(69)

王家岭矿综放沿空掘巷合理煤柱宽度试验研究 ..... 尉瑞(72)

不规则放顶煤工作面小煤柱未采技术研究 ..... 王全明,李胜利,王新颖(75)

基于开口梁的直墙半圆拱U型钢支架强度研究 ..... 王港盛,权凯,邵阳(78)

黄土梁峁区煤铝共生矿山工业场地选址 ..... 杨彦宏,赵军锋(81)

基于组合赋权-云模型巷道围岩稳定性预测评价研究 ..... 马浩,曹君林,彭斌,穆成林(84)

基于模糊数学的煤层顶板稳定性评价研究 ..... 陶金颖(87)

多锚索桁架系统控制破碎顶板机理及工程实践 ..... 李香兰,李琪(90)

超厚煤层条件下煤巷掘进层位控制技术 ..... 高振军(93)

大采高工作面覆岩支承压力的分布规律 ..... 赵勇,雷尹嘉,陈师志,史国利(95)

内蒙古低阶煤煤层气含量测力分析 ..... 李绪萍,任杰(97)

#### ■ 地测技术与工程

云南勐托褐煤微量元素对古沉积环境指示意义 ... 刘瑞,陈萍,储成清,韩君珂(99)

韩城矿区象山井田煤层气控气地质因素分析 ..... 柳彦村,要惠芳,刘利宝(101)

高阶煤储层微观系统水浸入程度对产能的控制 ..... 杨艳磊,吴丛丛,左银卿,杨兆彪,陈龙伟,王晶(104)

青海省唐古拉山赋煤带煤层特征研究 ... 李小亮,马晓光,吴远安,张万辉,李定武(107)

普安县石寨坪成矿地质特征研究 ..... 杜昌乾(109)

伊敏五牧场井田储赋存特征及成矿机理研究 ..... 霍超,张恒利,张建强,赵岳,黄明达,黄少青(112)

济阳坳陷博兴洼陷南部孔店组储层特征 ... 余义川,德勒恰提,加娜塔依,陈春勇,李智超(114)

气化采煤地表土壤氮趋势面分析研究 ... 徐尉富,丁卫撑,陈浩峰,何亮,邓友(116)

基于测井响应的临兴地区8+9号煤层煤体结构划分 ..... 赵石虎,陈彦,刘振明,何云超,于腾腾(118)

杨柳煤矿主要含水层水化学特征分析 ... 薛凉,姚多喜,鲁海峰,张好,朱宁宇(120)

#### ■ 安全技术与工程

深煤层直井水力压裂难点剖析及技术对策 ..... 杨兆中,何睿,师斌斌,李小刚,雷腾蛟,邓庄(123)

石宝露天矿边坡稳定性的数值模拟分析 ... 王创业,付强,陈世江,魏丁一,王泽洋(126)

瓦斯抽采钻孔布孔参数数值模拟 ..... 张天军,张磊,李树刚,刘佳蕾,潘红宇,宋爽,董晓刚(129)

巨厚关键层下采动裂隙分布与瓦斯运移规律研究 ..... 武泉林,李文婷(131)

磨煤系统煤粉自燃与爆炸防控技术研究进展 ... 金永飞,刘荫,郭军,郑学召,刘文永(134)

无水压影响带在底板突水评价中的应用 ..... 于小鸽,韩进,施龙青,王丹丹(137)

基于液氮吸附的煤体孔隙结构测试研究 ..... 杨涛,赵东云,李忠备(139)

矿山滑坡体实时监测中高密度电法的应用分析 ... 张开伟,聂庆科,郭立员,吴园平(141)

新型致灾气体监控系统在急倾斜煤层矿井中的应用 ..... 赵登育,来兴平,姬长发,习红军,曹建涛(145)

基于Mathematica的任意形状工作面离散化和沉陷预测 ..... 蔡音飞,李晓静(148)

煤矿井下水力压裂裂缝监测技术研究 ..... 周东平,李栋(151)

主管单位:黑龙江科技大学  
 主办单位:哈尔滨煤矿机械研究所  
 会刊:煤矿与煤炭城市发展工作委员会  
 黑龙江省煤炭学会  
 黑龙江省煤炭工业协会

编辑出版:《煤炭技术》杂志社

主编:马宝玲

副主编:赵勤

责任编辑:张欣

国内发行:哈尔滨市邮政局报刊发行局

邮发代号:14-252

订购处:全国各地邮局

国外发行:中国国际图书贸易集团有限公司  
(北京399信箱)

国外代号:4839(MO)

印刷单位:黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂

国内统一连续出版物号:CN 23-1393/TD

国际标准连续出版物号:ISSN 1008-8725

出版日期:每月10日

定价:18.00元 全年订价:216.00元

### 《煤炭技术》编辑部

地址:哈尔滨市南岗区嵩山路111号

邮编:150090

电话:0451-55646369

广告经营许可证号:230106000008

网址: <http://mtjs.cbpt.cnki.net>

投稿: [www.mtjs.cbpt.cnki.net](http://www.mtjs.cbpt.cnki.net)

#### 联系电话

王凤英、王秀丽、王泽兰、郑万才  
0451-87008302

赵勤、李景奇、李富文  
0451-87008301

张欣 0451-87008303

doi:10.13301/j.cnki.ct.2017.11.033

# 基于模糊数学的煤层顶板稳定性评价研究

陶金颖

(廊坊职业技术学院, 河北 廊坊 065000)

**摘要:** 煤层顶板稳定性问题是煤矿安全、高效生产的重要前提。择优分析影响煤层顶板稳定性的因素,建立了因素集和评价集。引进了模糊数学理论,建立了综合评价煤层顶板稳定性的模型,输出决策结果。得到煤层顶板稳定性位于Ⅱ级较稳定等级,给出了煤层顶板稳定性预测图,为煤矿的开采设计提供了重要的依据。

**关键词:** 煤层;模糊综合评价;顶板稳定性

**中图分类号:** TB11;TD327.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1008 - 8725(2017)11 - 0087 - 03

## Study on Roof Stability Evaluation of Coal Seam Based on Fuzzy Mathematics

TAO Jin-ying

(Langfang Polytechnic Institute, Langfang 065000, China)

**Abstract:** The roof stability of coal seam was an important prerequisite for safe and efficient production of coal mine. Preferred analyzed factors affecting roof stability of coal seam, then established the factor set and evaluation set. A fuzzy mathematical comprehensive evaluation model was introduced to evaluate the roof stability of coal seam, and the stability decision result of coal seam roof was obtained. The roof stability of coal seam was located at a stable level of second grade, and the roof stability prediction chart was given, which provided an important design basis for coal mine mining design.

**Key words:** coal seam; fuzzy comprehensive evaluation; roof stability

### 0 引言

煤矿开采深度越深,煤层顶板条件越复杂,开采中受地质条件等因素威胁,导致顶板冒落、顶板事故不断发生,煤层顶板稳定性问题得到煤矿开采部门的日益重视。每年的矿井事故统计中,超过50%的事故是来自顶板事故,因此开采设计前对煤矿顶板稳定性进行了解和评价,保证煤矿安全、高效生产,是采矿技术人员面临的重要课题。影响煤矿顶板稳

定性的因素众多,影响程度没有严格界定,具有模糊性质。本文采用模糊数学理论综合评价煤层顶板稳定性。

### 1 模糊数学评价原理

对于具有模糊性质的事物,可采用模糊理论进行综合评价。模糊数学理论基于模糊线性变化原理和最大隶属度原则,整合多因素间的相互影响关系,量化各项指标数据,根据因素的影响程度分配权重,

计算,其结果显示与巷道断面实际工况相符合,表明了评价模型的合理性和科学性,具有工程应用价值。

#### 参考文献:

[1]周智勇,韩章程.基于物元分析与云模型的地下工程围岩稳定性评价[J].工程设计学报,2017,24(1):57-63.

[2]李健,汪明武,徐鹏,等.基于云模型的围岩稳定性分类[J].岩土工程学报,2014,36(1):83-87.

[3]王佳信,周宗红,赵婷,等.基于Alpha稳定分布概率神经网络的围岩稳定性分类研究[J].岩土力学,2016,37(S2):649-657,664.

[4]汪明武,朱其坤,赵奎元,等.基于有限区间联系云的围岩稳定性评价模型[J].岩土力学,2016(S1):140-144,165.

[5]刘洋,叶义成,刘晓云,等.基于未知聚类法的巷道围岩稳定性预测[J].中国安全生产科学技术,2017,13(2):56-61.

[6]常晓林,张美丽,杨海云,等.基于联系熵的围岩稳定性评价研究[J].岩土力学,2010,31(1):99-101.

[7]穆成林,黄润秋,裴向军,等.基于组合赋权-未知测度理论的围岩稳定性评价[J].岩土工程学报,2016,38(6):1 057-1 063.

[8]李德毅,杜鹃.不确定性人工智能[M].北京:国防工业出版社,2005.

**作者简介:** 马浩(1985-),四川成都人,工程师,硕士,研究方向:岩土体稳定性预测评价,电子信箱:20034375@163.com.

**责任编辑:** 王凤英 **收稿日期:** 2017-06-15

从而对被评价对象进行等级分类或类别评判。煤矿开采中,有一些因素可以评判煤矿顶板的稳定性,择优选择影响煤层顶板稳定性的主要因素,采用模糊数学理论建立模糊综合评价模型评判和预测煤层顶板稳定性。

(1)构造因素集 选择  $n$  个与被评价事物相关的因素构造因素集

$$U=\{u_1, u_2, \dots, u_n\} \quad (1)$$

(2)构造评价集 将被评价事物分为  $m$  个等级或  $m$  类构成评价集

$$V=\{v_1, v_2, \dots, v_m\} \quad (2)$$

(3)构造权重集 因为每个因素对事物的影响程度不同,所以权重分配可视为  $U$  上的模糊集,权重集为

$$A=\{a_1, a_2, \dots, a_n\} \in F(u), \sum a_i=1 \quad (3)$$

式中  $F(u)$ ——因素集上模糊集全体。

(4)构造单因素评判矩阵 根据单个因素确定被评价对象属于某级(类)隶属度,单因素评判矩阵

$$R=\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \in M_{n \times m} \quad (4)$$

式中  $M_{n \times m}$ —— $n \times m$  阶模糊矩阵全体。

(5)构造模糊综合评判模型 由单因素评判矩阵诱导一个模糊变换,  $(U, V, R)$  构成一个模糊综合评判模型

$$T_R: F(u) \rightarrow F(V) \quad (5)$$

$$A \mapsto T_R(A) \triangleq A \circ R$$

式中  $F(V)$ ——评价集上模糊集全体。

(6)输出综合决策

$$B=A \circ R=(b_1, b_2, \dots, b_m) \in F(V) \quad (6)$$

$$(b_1, b_2, \dots, b_m)=(a_1, a_2, \dots, a_n) \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (7)$$

## 2 稳定性指标

### 2.1 顶板岩性

煤层顶板岩性是煤层顶板稳定性的基本影响因素。岩石力学性质取决于物理组成、沉积特性、颗粒粗细、支撑力大小、胶结情况等。当胶结相同时,砂岩顶板最稳定,其次稳定的是粉砂岩顶板、砂质泥岩、泥岩顶板;当成分相同时,硅质胶结的砂岩强度

大于钙质胶结的强度,钙质胶结的强度大于泥质胶结的强度。

### 2.2 分层层数

岩性不同的岩层会形成接触软弱面,当煤层顶板失去支撑时,接触软面容易分层,发生煤层脱落事故。煤层顶板的这种岩石分层越多,软弱面越多,顶板越容易发生冒落,煤层顶板越不稳定。

### 2.3 顶板厚度

顶板厚度是煤层顶板稳定性的重要影响因素,对于单一岩性的岩层来说,岩层稳定性和顶板厚度成正比,顶板越厚,岩层越稳定。

### 2.4 顶板强度

每种岩性的岩层对应一种顶板强度,不同强度的岩层组合成顶板,抗压强度不尽相同,用强度系数可以表达顶板强度,即

$$\text{顶板强度系数} = (\text{粗中砂岩厚度} \times 1 + \text{细砂岩厚度} \times 0.9 + \text{粉砂岩厚度} \times 0.8 + \text{泥质岩厚度} \times 0.3) / 5$$

### 2.5 岩石质量指标 $RQD$ 值

$RQD$  是岩石质量指标,反映的是岩体完整性程度。岩性、构造裂隙发育强度、层理厚度等因素决定钻取的岩心是否完整,所以岩石质量指标  $RQD$  值可以间接反映煤层顶板强度。

## 3 建立模糊评价数学模型

### 3.1 建立因素集

根据煤矿实际条件,择优选取 5 个具有代表性的影响煤层顶板稳定性的评价指标,组成模糊综合评价模型的因素集,  $U=\{\text{顶板岩性,分层层数,顶板厚度,顶板强度,岩石质量指标 } RQD\}$

本文选取的评价指标如表 1 所示。

表 1 评价指标参数

岩性特征	分层层数	顶板厚度/m	顶板强度系数	$RQD$
粉砂岩	2	2.24	0.61	75%

### 3.2 建立评价集

在工程中煤层顶板稳定性是一个模糊概念,稳定性分级标准也具有模糊性。结合实际生产,将煤层稳定性分为 4 个评价等级,即

$$V=\{I, II, III, IV\} \quad (9)$$

式中 I——十分稳定;

II——比较稳定;



Ⅲ——比较不稳定；  
Ⅳ——极其不稳定。

3.3 确定隶属度和权重

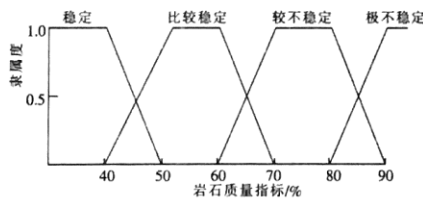
5个评价指标中,岩层岩性和岩石分层层数属于离散性指标,顶板厚度、顶板强度、岩石质量指标RQD属于连续性指标,隶属度函数确定方法不同。

离散型岩层岩性和岩石分层层数指标利用多相模糊统计建立隶属度函数,如表2所示。

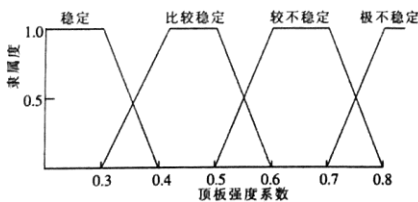
表2 离散型指标隶属度

等级	I	II	III	IV
粉砂岩	0.01	0.8	0.19	0
分层层数 2	0.2	0.6	0.15	0.05

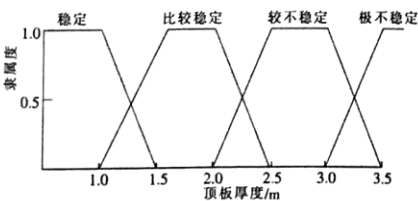
连续型指标隶属度采用降半梯形方法确定。连续型隶属度函数如图1所示。



(a) 岩石质量指标隶属度函数



(b) 顶板强度隶属度函数



(c) 顶板厚度隶属度函数

图1 连续性隶属度函数

根据统计经验及采用专家打分法确定各项指标权重分配(见表3)。

表3 评价指标权重分配表

评价指标	岩性特征	分层层数	顶板厚度	强度系数	RQD
权重 A	0.3	0.29	0.15	0.16	0.1

3.4 模糊综合评判

权重矩阵  $A=[0.3 \ 0.29 \ 0.15 \ 0.16 \ 0.1]$

$$\text{评判矩阵 } R = \begin{bmatrix} 0.01 & 0.8 & 0.19 & 0 \\ 0.2 & 0.6 & 0.15 & 0.05 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

得到决策结果

$$B=A \cdot R=[0.061 \ 0.664 \ 0.251 \ 0.325]$$

根据最大隶属度原则  $b_{\max}=b_2=0.664$ , 可以判定煤层顶板稳定性处于Ⅱ级比较稳定状态。根据综合评价决策给出煤层顶板预测图如图2所示。

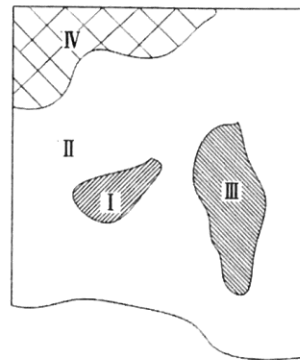


图2 煤层顶板稳定性综合评价预测图

4 结语

(1)选取了具有代表性的煤层顶板稳定性影响因素组成因素集,根据评价事物的模糊性组成了评价集,利用模糊数学理论,综合评价了影响煤层稳定性的指标评判煤层顶板稳定性位于Ⅱ级比较稳定性等级。

(2)对煤层顶板稳定性进行了综合预测,对煤矿开采过程中顶板的稳定性问题提供了很好的依据。

参考文献:

[1]宋丹,司夏岩,付艳清.基于MATLAB的矿井热环境模糊综合评价[J].煤炭技术,2016,35(11):227-228.  
[2]徐冬.基于灰色聚类方法的煤层顶板稳定性分析[J].煤炭技术,2016,35(3):121-123.  
[3]郭德勇,丁开舟,王新义.煤层顶板稳定性相关因素分析与综合评价[J].煤炭科学技术,2003,31(12):104-106.  
[4]朱东明,马国伟.基于层次分析法的煤层顶板稳定性评价方法研究[J].煤炭与化工,2015,38(12):7-8.  
[5]张书林,朱海峰,李洁.梁宝寺煤矿主采煤层顶板稳定性分析[J].科技信息,2013(14):476-477.  
[6]张保东.利用煤田地质勘探成果资料评价煤层顶板稳定性的方法[J].煤矿安全,2007,38(10):73-75.

作者简介:陶金颖(1978-),女,河北廊坊人,讲师,硕士,研究方向:数学教育与应用数学,电子信箱:553954066@qq.com.

责任编辑:王凤英 收稿日期:2017-08-02

# 哈尔滨煤矿电器厂

哈尔滨煤矿电器厂位于美丽的冰城哈尔滨，占地面积5万m<sup>2</sup>。主要生产矿用防爆电器产品，研发技术力量雄厚，是中国电器工业协会防爆电器分会会员企业，通过了ISO9001：2008国际质量管理体系认证。以“质量为本、一流服务、顾客至上”为宗旨，竭诚为煤矿生产提供安全保障。

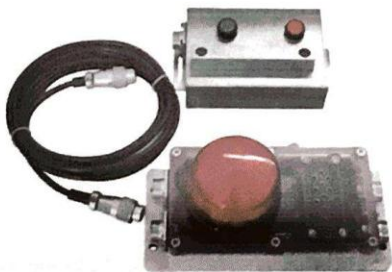
## 主要产品型号及技术特征



矿用隔爆兼本质安全型多回路  
真空电磁起动器



QJZ矿用隔爆兼本质安全型  
真空电磁起动器



风门开闭状态传感器

名称：矿用隔爆兼本质安全型多回路真空电磁起动器  
型号：QJZ1-600、1200、1800/3300（1140）— 2、4、6  
支路数：二回路、四回路、六回路  
电压：660、1140、3300

名称：矿用隔爆兼本质安全型真空电磁起动器  
型号：QJZ-200、300、400、500、600、2×500/1140（660）

名称：风门开闭状态传感器  
型号：KGE1

名称：矿用隔爆兼本质安全型双速真空电磁起动器  
型号：QJZ-200、300、400、500/1140（660）S

名称：矿用隔爆兼本质安全型真空交流软起动器  
型号：QJR-315、400、500、600、2×500/1140（660）

名称：矿用隔爆兼本质安全型带式输送机软起动器  
型号：QJR-1120/1140（660）Z  
支路数：2路软起、1路可逆、2路磁力起动器、1路照明

名称：矿用隔爆型真空馈电开关  
型号：KBZ-200、400、500、630、800/1140（660）I

名称：煤矿风机用隔爆型双电源真空电磁起动器  
型号：QBZ— 2×80、2×120/1140（660）SF

厂址：黑龙江省哈尔滨市香坊区煤管街1号 邮编：150038  
销售电话：0451-55108267 55108075 传真：0451-55139200  
联系人：李国财 13936690357 都洁 13936348498 佟黎明 13030064242  
网址：www.hrbmkdq.com

煤炭技术

国际标准连续出版物号：ISSN 1008-8725 邮发代号：14-252 国外代号：M4839  
国内统一连续出版物号：CN 23-1393/TD 广告经营许可证号：2301 0600 0000 8

定价：18.00 元