

# 基于熵权的刨煤机适创性灰色关联多级模糊综合评价

张强<sup>1,2,3</sup>, 宋秋爽<sup>3</sup>, 袁智<sup>3</sup>, 宋振铎<sup>3</sup>

1. 辽宁工程技术大学机械工程学院, 辽宁阜新 123000
2. 大连理工大学工业装备结构分析国家重点实验室, 辽宁大连 116023
3. 中国煤矿机械装备有限责任公司, 北京 100011

**摘要** 针对薄煤层刨煤机开采适应性和实测困难问题, 运用熵值法和灰色关联理论对影响刨煤机适创性的影响因素进行多级多层分解, 以目标系列之间的关联度作为目标函数, 根据归一公式进行量化递归运算, 分别计算出各级的隶属函数, 进而建立薄煤层刨煤机适创性的灰色关联决策模型, 并应用于实际分析。研究表明, 该评价方法可行, 适创性预测结果与实际测试结果一致。

**关键词** 适创性; 熵值法; 决策模型; 灰色关联理论

中图分类号 TD421

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.08.008

## Plow Plane Multi-level Fuzzy Evaluation Based on Gray Level Correlation Decision Model and Entropy Value Law

ZHANG Qiang<sup>1,2,3</sup>, SONG Qiushuang<sup>3</sup>, YUAN Zhi<sup>3</sup>, SONG Zhenduo<sup>3</sup>

1. School of Mechanical Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, Liaoning Province, China
2. State Key Laboratory of Structural Analysis for Industrial Equipment, Dalian University of Technology, Dalian 116023, Liaoning Province, China
3. China National Coal Mining Engineering Equipment Co. Ltd., Beijing 100011, China

**Abstract** The evaluation of the thin coal mining plow equipment based on the traditional method suffers from its subjective nature and measurement difficulties. This paper proposes an assessment method of the plow based on the entropy value law and the gray level correlation theory, and the recursive operation is used according to the normalized formula, to calculate membership functions of all levels separately, to establish the gray level correlation decision-making model for the plow. The results show that the evaluation method is feasible, and the plow planning predicted results agree very well with the actual test results. Taking Shaanxi province Nanliang mine as an example, a three-level evaluation model is built for Shanxi province Nanliang mine, for the multi-level fuzzy calculation. The calculation results show that the plow adaptive multi-level fuzzy evaluation analysis system is effective for China coal seam.

**Keywords** plow plane of fitness; entropy value; decision model; gray connection theory

### 0 引言

煤炭作为中国的主要能源, 占一次能源生产和消费总量的 76% 和 69%, 未来相当长的时期内, 煤炭将仍然是中国主

要的能源来源<sup>[1]</sup>。国有煤矿薄煤层储量约占全国煤炭储量的 20%, 地方煤矿薄煤层储量比重更大, 全国保有工业储量超过 98.3 亿 t<sup>[2]</sup>, 而开采条件相对较好、煤层厚度在 0.8—1.3m 之间

收稿日期: 2011-11-28; 修回日期: 2012-02-06

基金项目: 工业装备结构分析国家重点实验室开放基金项目 (GZ1107, GZ0818); 辽宁省高等学校优秀人才支持计划项目 (2008RC23); 辽宁省教育厅科研项目计划项目 (L2010161, L2011050); 中国煤炭工业协会科学技术研究指导性计划项目 (MTKJ2010-310)

作者简介: 张强, 副教授, 研究方向为矿山机械动态设计及监测技术, 电子信箱: lgdix042@126.com

的缓倾斜煤层占总储量的 45%<sup>[3]</sup>。中国薄煤层储量分布广泛且局部集中,煤质较好。

国内外广泛应用于薄煤层的开采设备主要包括刨煤机、滚筒采煤机和螺旋钻采煤机;中国先后研制出 MG100/238-WD、MGN132/316WD、MG2×100/456-WDMG2 层电牵引采煤机<sup>[4-5]</sup>、725 型、ZMY550/165 型螺旋钻采煤机<sup>[6]</sup>、MBJ-2A 型拖钩刨, MG2×125/556-WD 和 MG2×160/710-WD、MG2×200/925-AWD (3.3kW) 系列薄煤 BT26/2×75 型拖钩刨, BH26/2×75、BH30/2×90、BH26/2×110、BH300/2×200、BH38/2×400 型滑运行刨<sup>[7-8]</sup>, 逐渐掌握了薄煤层开采装备的关键技术。但各种薄煤层开采装备对地质条件的适应性不同, 由于地质条件的限制, 设备的选择将直接影响使用效果, 甚至影响煤炭开采效率。刨煤机作为一种“浅截深、多循环”的采煤设备, 对煤层赋存条件要求较高, 各种地质参数、开采参数、机械参数、工艺参数等都直接影响到刨煤机的采煤效果。各国针对刨煤机适刨性的研究方法各不相同, 俄罗斯是世界最早实现煤炭生产机械化的国家之一。早在 20 世纪三四十年代, 俄罗斯已开始研究煤岩层的性质, 并且对其认识逐渐提高; 到 20 世纪五六十年代, 已经实现对俄罗斯主要煤矿开采煤层的物理机械性质进行普测, 由国家统一发布检测和试验结果, 并成为采掘机械设计和煤炭生产的权威依据。目前, 对煤层物理机械性质主要用坚固性系数、抗截强度、脆韧性 3 个指标来描述。按坚固性系数  $f$  值对煤层的分级为软煤:  $f \in [0.4, 1.5)$ ; 中硬煤:  $f \in [1.5, 3.0)$ ; 坚硬煤:  $f \geq 3$ 。按抗截强度  $A$  值对煤层的分级为软煤:  $A < 150 \text{N/mm}$ ; 中硬煤:  $A \in [150, 300) \text{N/mm}$ ; 硬煤:  $A \in [300, 450) \text{N/mm}$ ; 极硬煤:  $A \geq 450 \text{N/mm}$ 。俄罗斯按抗截强度  $A$  值对韧性煤分级<sup>[9]</sup>, 其中, 中等坚固  $A \in [61, 180) \text{N/mm}$ ; 上中坚固  $A \in [120, 180) \text{N/mm}$ ; 坚固  $A \in [180, 240) \text{N/mm}$ ; 很坚固  $A \in [241, 300) \text{N/mm}$ ; 极坚固  $A \in [301, 360) \text{N/mm}$ 。根据刨煤机采煤层对刀具的阻力, 德国对适刨性进行分级, 用  $F_s$  表示适刨性, 易刨:  $F_s < 1.5 \text{kN}$ ; 可刨:  $F_s \in [1.5, 2) \text{kN}$ ; 难刨:  $F_s \in [2, 2.5) \text{kN}$ ; 特难刨:  $F_s \in [2.5, 5] \text{kN}$ <sup>[10]</sup>。波兰学者借鉴俄罗斯和德国的研究成果, 又独立地研究出适于波兰的煤岩物理机械性质的检测手段、方法和描述形式, 主要采用坚固性指数  $f$ 、可切割性能量指数  $U$ 、抗截强度  $A$  和刨削阻力指数  $B$ <sup>[11]</sup>。本文结合中国地质条件特点, 提出适合中国的煤层适应性分析体系<sup>[12-14]</sup>, 采用灰色系统理论<sup>[15-17]</sup>对多个影响刨煤机适刨性的离散因素进行关联度分析, 找出各个因素的内在规律, 并引入多级模糊评价指标, 建立多级模糊评价模型。

## 1 基于灰色理论的模糊综合评判策略

灰色系统中, 用关联度衡量事物之间、因素之间动态发展态势的相似程度。关联度越大, 事物之间的相似程度越大; 否则, 关联度就越小, 即越不相似。模糊综合评判是指对多种因素所影响的事物或现象进行总的评价, 若这个评价过程涉及到模糊因素, 即是模糊综合评判。多级模糊综合评判就是

在以模糊综合评判为初始模型的基础上, 再进行模糊综合评判, 并根据需要多层次地进行下去。

为了考虑所有因素的影响, 可以从单因素评判矩阵看出,  $\mathbf{R}$  的  $i$  行反映了第  $i$  个因素影响评判对象取各个备择元素的程度,  $\mathbf{R}$  的  $j$  列则反映了所有因素影响评判对象取第  $j$  个备择元素的程度, 因此可用每列元素之和  $R_j = \sum_{i=1}^n r_{ij} (j=1, 2, \dots, m)$  来反映所有因素的综合影响, 但并未考虑单个因素的重要程度, 如果各项再考虑相应因素的权数  $a_i (i=1, 2, \dots, n)$ , 则能合理地反映所有因素的综合影响。用模糊变化的方式进行模糊综合评判:  $\mathbf{B} = \mathbf{A} \circ \mathbf{R}$ , 权重  $\mathbf{A}$  可视为 1 行  $n$  列的模糊矩阵, 与模糊矩阵  $\mathbf{R}$  的合成运算为

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

式中,  $\mathbf{B}$  为综合评判矩阵;  $b_j = \bigvee_{i=1}^n (a_i \wedge r_{ij}) (j=1, 2, \dots, m)$  为模糊综合指标, 是综合考虑所有因素影响时, 评判对象对备择集中第  $j$  个元素的隶属度。

## 2 刨煤机适刨性模型建立

根据刨煤机特点, 选择出影响其适刨性的因素, 实际工作中主要考虑 10 个方面, 共 24 个影响因素, 对影响适刨性的综合评判设定为 3 级。

### 2.1 建立因素集

研究表明, 刨煤机采煤适应性的影响因素主要包括煤层硬度  $C_1$ 、煤层结构  $C_2$ 、地质构造  $C_3$ 、煤层底板  $C_4$ 、煤层直接顶  $C_5$ 、煤层老顶  $C_6$ 、煤层厚度  $C_7$ 、煤层节理裂隙  $C_8$ 、涌水瓦斯发火期  $C_9$  和煤层倾角  $C_{10}$  等。煤层结构  $C_2$  决定因素包括夹矸硬度  $C_{21}$ 、夹矸厚度与煤层厚度比值  $C_{22}$ 、夹矸位置  $C_{23}$  (用夹矸底界至煤层底板的距离与煤层厚度的比值表示)、是否含硫化铁结核  $C_{24}$ ; 地质构造  $C_3$  决定因素包括地质构造小断层  $C_{31}$  (用断层落差与煤层厚度的比来表示) 和断层分布  $C_{32}$  (用每万平方米的小断层条数表示) 和断层岩石硬度  $C_{33}$ 、开采深度  $C_{34}$ ; 煤层底板  $C_4$  决定因素包括底板起伏程度  $C_{41}$  (用工作面竖向弯曲度表示) 和底板硬度  $C_{42}$ ; 煤层直接顶  $C_5$  决定因素包括分层厚度  $C_{51}$ 、顶板节理间距  $C_{52}$ 、顶板抗压强度  $C_{53}$ 、煤层黏顶系数  $C_{54}$ ; 煤层节理裂隙  $C_8$  决定因素包括主节理面于刨刀方向的夹角  $C_{81}$  和节理分布系数  $C_{82}$  (用沿着工作面方向每米的节理条数表示); 涌水瓦斯发火期  $C_9$  决定因素包括淋水  $C_{91}$ 、瓦斯  $C_{92}$ 、自燃  $C_{93}$ 、地温  $C_{94}$ 。

### 2.2 建立权重集

熵值法就是用指标熵值来确定权重。一般地, 将评价对象集记为  $\{A_i\} (i=1, 2, \dots, n)$ , 用于评价的指标集记为  $\{X_j\} (j=1, 2, \dots, n)$ , 用  $x_{ij}$  表示第  $i$  个方案第  $j$  个指标的原始值。计算过程如下:

(1) 将  $x_{ij}$  进行正向化处理, 并计算第  $j$  个指标第  $i$  个方案所占的比重  $p_{ij}$ , 且  $p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}$  ( $i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$ );

(2) 计算第  $j$  个指标的熵值  $e_j$ , 且  $e_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}$  ( $j=1, 2, \dots, n$ ),  $k \geq 0, e_j \geq 0$ ;

(3) 计算第  $j$  个指标的差异系数  $g_j$ , 且  $g_j = 1 - e_j$  ( $j=1, 2, \dots, n$ );

(4) 计算第  $j$  个指标的权重  $w_j$ , 且  $w_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^n g_j}$  ( $j=1, 2, \dots, n$ )。

各个因素对适应性的影响不相同, 综合国内外研究结果并结合中国地质条件特点, 将影响程度采用无量纲正交化处理, 采用模糊和加权求和方法获得各因素权重集, 采用概率统计方法, 统计结果如表 1 所示。

表 1 各单因素对煤层适刨性影响的权重

Table 1 Each factor impact weight of plow plane of fitness

影响因素	权重
煤层硬度	0.1835
煤层结构	0.1494
地质构造	0.1221
煤层底板	0.1024
直接顶	0.0953
煤层老顶	0.0448
煤层厚度	0.0685
节理裂隙	0.0842
煤层倾角	0.0973
其他因素	0.0525

### 2.3 建立评价集

在考虑影响刨煤机适应性的主要因素时, 定量指标参考国内外类似评价方法的选取, 定性指标则由专家按极难刨、难刨、一般、易刨、极易刨进行分类并量化赋值, 对应表 2 赋值标准进行评判。

表 2 刨煤机适应性评价表

Table 2 plow adaptability evaluation

适刨性类型	适刨性指标
极难刨	$0 \leq I < 2$
难刨	$2 \leq I < 4$
一般	$4 \leq I < 6$
易刨	$6 \leq I < 8$
极易刨	$8 \leq I \leq 10$

### 2.4 影响因素的参数化

坚固性系数  $f$  与适刨性  $F_s$  关系为

$$F_s = \begin{cases} 3.9929 & f \leq 2.5 \\ 128e^{-1.3863f} & f > 2.5 \end{cases} \quad (1)$$

煤层厚度  $h$  与适刨性关系为

$$F_s = \begin{cases} 30h - 14 & 0.5 \leq h < 0.8 \\ 10 & 0.8 \leq h < 1.4 \\ -13.33h + 28.67 & 1.4 \leq h < 2 \\ 512e^{-2.7726h} & h \geq 2 \end{cases} \quad (2)$$

主节理面和刨刀运行方向夹角  $\phi$  与适刨性关系为

$$F_s = \begin{cases} -\frac{\phi}{15} + 10 & \phi \leq 90^\circ \\ \frac{\phi}{15} - 2 & 90^\circ < \phi \leq 180^\circ \end{cases} \quad (3)$$

节理分布系数  $K_j$  与适刨性关系为

$$F_s = \begin{cases} 9K_j/10 + 1 & K_j \leq 10 \\ 10 & K_j > 10 \end{cases} \quad (4)$$

夹矸硬度  $f_g$  与适刨性关系为

$$F_s = \begin{cases} 2.25f_g + 10 & f_g \leq 4 \\ 4e^{-0.3466f_g} & f_g > 4 \end{cases} \quad (5)$$

夹矸厚度  $\frac{h'}{h}$  与适刨性关系为

$$F_s = \begin{cases} -20\frac{h'}{h} + 10 & \frac{h'}{h} \leq 0.2 \\ -30\frac{h'}{h} + 12 & 0.2 < \frac{h'}{h} \leq 0.4 \\ 0 & \frac{h'}{h} > 0.4 \end{cases} \quad (6)$$

夹矸位置  $\frac{d}{h}$  与适刨性关系为

$$F_s = \begin{cases} -12\frac{d}{h} + 10 & \frac{d}{h} \leq 0.5 \\ 16(\frac{d}{h} - 1) & 0.5 < d/h \leq 0.6 \\ 2.56 & d/h > 0.6 \end{cases} \quad (7)$$

煤层倾角  $a$  与适刨性关系为

$$F_s = \begin{cases} -0.4a + 10 & a \leq 15^\circ \\ 90.51e^{-0.208a} & a > 15^\circ \end{cases} \quad (8)$$

底板起伏  $r$  与适刨性关系为

$$F_s = \begin{cases} 10 - 1.2r & r \leq 5^\circ \\ 32e^{-0.4159r} & r > 5^\circ \end{cases} \quad (9)$$

底板硬度  $f_d$  与适刨性关系为

$$F_s = \begin{cases} \frac{32f_d^2}{45} - 44\frac{f_d}{45} & f_d \leq 4.5 \\ 10 & f_d > 4.5 \end{cases} \quad (10)$$

直接顶板强度  $D$  与适刨性关系为

$$F_s = \begin{cases} \frac{D}{60} & D \leq 30 \\ 3.7976e^{0.0092D} & 30 < D \leq 10^6 \\ 10 & D > 10^6 \end{cases} \quad (11)$$

老顶周期来压布距  $L$  与适刨性关系为

$$F_s = \begin{cases} 5 & L \leq 25 \\ \frac{L}{5} & 25 < L < 50 \\ 10 & L > 50 \end{cases} \quad (12)$$

地质构造  $\frac{d'}{h}$  与适刨性关系为

$$F_s = \begin{cases} -14\frac{d'}{h} + 10 & \frac{d'}{h} \leq 0.5 \\ -6\frac{d'}{h} + 6 & 0.5 < \frac{d'}{h} \leq 1 \\ 0 & \frac{d'}{h} > 1 \end{cases} \quad (13)$$

断层分布系数  $K_d$  与适刨性关系为

$$F_s = \begin{cases} -4K_d + 10 & K_d \leq 1 \\ 8.6535e^{-0.362K_d} & K_d > 1 \end{cases} \quad (14)$$

断层两侧岩石硬度  $f_c$  与适刨性关系为

$$F_s = \begin{cases} -2.25f_c + 10 & f_c \leq 4 \\ 4e^{3466f_c} & f_c > 4 \end{cases} \quad (15)$$

水火瓦斯综合影响程度  $Q$  与适刨性关系为

$$F_s = 10 - Q \quad (16)$$

其中,综合影响程度  $Q$  分为极简单、简单、一般、复杂、极复杂,其中极简单时  $Q$  为 0,极复杂时为 10。

### 3 刨煤机适刨性实例分析

#### 3.1 陕西南梁煤矿薄煤层赋存地质条件

20302(1)工作面位于 203 盘区,工作面北侧为 203 盘区巷道,南侧和西侧为小回采区域(采空区)。工作面钻孔资料显示煤层平均厚度为 1.40m,倾角为  $1^\circ-3^\circ$ ;煤层顶板岩性为细粒长石砂岩和粉砂岩,厚度为 12.70m;底板为泥岩,厚度为 1.35m;遇水底鼓现象严重;工作面涌水量较小;工作面瓦斯含量很低。坚固性系数  $f > 3$ ,黏度大。

#### 3.2 陕西南梁煤矿薄煤层适刨性及刨煤机组配套设备

根据地质条件确定设备配套,见表 3。

#### 3.3 评价模型分析

根据刨煤机适刨性模型研制出薄煤层适刨性分类评判的计算机系统,并将上述地质条件数据输入到系统中,得出上述地质条件的煤层适刨性结果(表 4)。

表 3 陕西南梁煤矿刨煤机工作面配套设备

Table 3 Shaanxi province Nanliang mine plow equipment

序号	设备名称	设备型号	技术参数	生产厂家
1	滑行刨煤机	BH38/2×400	设计长度 300m, 理论生产能力 800t/h, 适应煤层厚度 0.9—2.0m, 适应煤层倾角 $\leq 25^\circ$ , 适应煤层硬度小于 350N/mm, 刨煤部装机功率 2×400kW, 调速范围 0.64—2.3m/s, 刨削深度小于 120mm, 自动化和远程集中控制	张家口煤矿机械有限责任公司
2	刮板输送机	SGB1500/2×1000	输送能力 1200t/h, 刮板链速 1.32m/s, 刮板链规格 34mm×126mm 扁环链, 刮板间距 1008mm, 中部槽 1500mm×724mm×303mm	张家口煤矿机械有限责任公司
3	液压支架	ZY4600/07.5/16.5D	支架结构高度 750—1650mm, 支架额定初撑力 3880kN, 支架额定工作阻力 4600kN, 推移步距 600mm, 支撑强度 0.42—0.66MPa 电液控制	北京煤矿机械有限责任公司

表 4 多级综合评判情况统计

Table 4 Statistics of multi-level comprehensive evaluation

因素		评判结果	备注	权重(二级评价内所有一级评价权重之和为 1)
坚固性系数	煤块硬度	难刨	一级评价	0.75
	煤物理性质	极难刨	一级评价	0.25
	煤层厚度综合评价	极难刨	二级评价	0.07
煤层结构	夹矸厚度	难刨	一级评价	0.25
	夹矸硬度	难刨	一级评价	0.30
	夹矸位置	难刨	一级评价	0.10
	夹硫化铁矿结核系数	一般	一级评价	0.35
	夹矸综合评价	极难刨	二级评价	0.18
	节理	节理分布系数	极难刨	一级评价
	节理面与刨刀运行方向夹角	难刨	一级评价	0.35
	节理综合评价	难刨	二级评价	0.11

表 4 多级综合评判情况统计(续)

Table 4 Statistics of multi-level comprehensive evaluation (continued)

因素	评判结果	备注	权重(二级评价内所有一级评价权重之和为1)	
地质构造	地质构造小断层	极难刨	一级评价	0.08
	断层分布系数	难刨	一级评价	0.31
	断层落差	极难刨	一级评价	0.21
	围岩两侧岩石硬度	难刨	一级评价	0.17
	开采深度影响系数	一般	一级评价	0.23
	地质构造综合评价	极难刨	二级评价	0.12
煤层起伏	底板起伏程度	一般	一级评价	0.45
	底板硬度	一般	一级评价	0.55
	底板综合评价	一般	二级评价	0.05
直接顶	分层厚度	一般	一级评价	0.05
	顶板节理间距	难刨	一级评价	0.28
	顶板抗压强度	一般	一级评价	0.35
	煤层黏顶系数	一般	一级评价	0.32
	直接顶综合评价	难刨	二级评价	0.12
煤层老顶	老顶来压步距	一般	一级评价	0.38
	支护条件	一般	一级评价	0.32
	其他开采条件指数	一般	一级评价	0.30
	老顶综合评价	一般	二级评价	0.06
煤层厚度	煤层厚度	易刨	一级评价	0.56
	适宜支护条件	一般	一级评价	0.44
	煤层厚度综合评价	易刨	二级评价	0.05
节理裂隙	断层分布系数	难刨	一级评价	0.45
	节理分布系数	难刨	一级评价	0.55
	节理裂隙综合评价	难刨	二级评价	0.10
煤层倾角	煤层倾角	易刨	一级评价	0.34
	刨煤机防滑适应性	一般	一级评价	0.22
	刮板输送机防滑适应性	一般	一级评价	0.22
	液压支架防滑适应性	一般	一级评价	0.22
	煤层倾角综合评价	一般	二级评价	0.11
水瓦斯火	涌水量系数	易刨	一级评价	0.33
	瓦斯涌出量系数	易刨	一级评价	0.33
	发火期系数	易刨	一级评价	0.34
	涌水瓦斯发火期综合评价	易刨	二级评价	0.03
总评	极难刨	最终评价	1.121	

由于刨煤机具有结构简单、操作和维护方便、工作面块煤率高且粉尘浓度小的特点,只要条件适宜,应优先选用刨煤机采煤,在煤层适刨性分类研究过程中,若出现属于极难刨类型的薄煤层,应考虑采用其他辅助采煤工艺,增加刨煤机使用适应性。

#### 4 结论

(1) 依据国内外刨煤机开采适应性经验,结合中国地质

条件特点,提出了适合中国煤层适应性分析体系。通过采用灰色系统理论,将多个影响刨煤机适刨性的离散因素进行关联度分析,找出各个因素的内在规律并引入多级模糊评价指标,建立多级模糊评价模型。实例分析表明该方法可行,模型准确,具有实际应用价值。

(2) 该模糊评价模型对于中国刨煤机的适刨性研究具有重要的理论意义,也为中国刨煤机成套技术发展提供了有力支持。

## 参考文献 (References)

- [1] 王金华. 煤炭科技发展现状及前瞻[J]. 煤炭企业管理, 2004(1): 31-34.  
Wang Jinhua. *Coal Enterprise Management*, 2004(1): 31-34.
- [2] 刘栋. 极薄煤层和薄煤层的采煤工艺 [J]. 煤炭技术, 2008, 27 (6): 66-67.  
Liu Dong. *Coal Technology*, 2008, 27(6): 66-67.
- [3] 毛君, 张强, 郝志勇, 等. 刨煤机, 螺旋钻采煤机, 连续采煤机成套装备 [M]. 北京: 中国矿业大学出版社, 2008: 1-20.  
Mao Jun, Zhang Qiang, Hao Zhiyong, et al. *Plow, auger shearer, continuous miner outfit* [M]. Beijing: China University of Mining Press, 2008: 1-20.
- [4] 王国法. 薄煤层安全高效开采成套装备研发及应用[J]. 煤炭科学技术, 2009, 37(9): 86-89.  
Wang Guofa. *Coal Science and Technology*, 2009, 37(9): 86-89.
- [5] 徐宗林. 螺旋钻采煤机在薄煤层开采中的应用实践[J]. 煤炭科学技术, 2007, 35(3): 31-32.  
Xu Zonglin. *Coal Science and Technology*, 2007, 35(3): 31-32.
- [6] 刘占胜, 马英. 国内外刨煤机发展现状及前景展望[J]. 煤矿机械, 2006, 27(10): 1-3.  
Liu Zhansheng, Ma Ying. *Coal Mine Machinery*, 2006, 27(10): 1-3.
- [7] 刘过兵, 陈胜利. 刨煤机采煤综合参数优化研究 [J]. 矿山压力与顶板管理, 2003, 10(S3): 61-65.  
Liu Guobing, Chen Shengli. *Ground Pressure and Strata Control*, 2003, 10(S3): 61-65.
- [8] 谷新建. 用突变理论分析矿山冒落型地震机理[J]. 中国安全科学学报, 2003, 10(10): 8-12.  
Gu Xinjian. *China Safety Science Journal*, 2003, 10(10): 8-12.
- [9] 谷新建. 柴红保. 应用突变评价理论选择采矿方法 [J]. 中国安全科学学报, 2004, 11(7): 13-15.  
Gu Xinjian, Chai Hongbao. *China Safety Science Journal*, 2004, 11(7): 13-15.
- [10] Martin J, Heinz W. Erste betriebserfahrungen mit einer neuen Hochleistungs-Hobelanlage in harter Kohle [J]. *Glückauf*, 2004, 140 (11): 510-518.
- [11] 李晓豁. 不同工况下滑行式刨煤机的动态仿真研究 [J]. 煤炭学报, 2010, 35(7): 1202-1207.  
Li Xiaohuo. *Journal of China Coal Society*, 2010, 35(7): 1202-1207.
- [12] 刘大同. 测试坚硬煤层截割阻力合理选型刨煤机[J]. 同煤科技, 2007, 111(1): 14-16.  
Liu Datong. *Science and Technology of Datong Coal Mining Administration* 2007, 111(1): 14-16.
- [13] 康晓敏. 随机动载荷作用下刨煤机刨链疲劳寿命预测 [J]. 煤炭学报, 2010, 35(3): 503-509.  
Kang Xiaomin. *Journal of China Coal Society*, 2010, 35(3): 503-509.
- [14] 翟新献, 李小军, 李宝富. 坚硬顶板松软薄煤层刨煤机开采可刨性研究[J]. 河南理工大学学报: 自然科学版, 2009, 28(4): 424-430.  
Zhai Xinxian, Li Xiaojun, Li Baofu. *Journal of Henan Polytechnic University: Natural Science*, 2009, 28(4): 424-430.
- [15] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.  
Deng Julong. *Gray theory* [M]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology Press, 2002.
- [16] 陈义保, 姚建初, 钟毅芳. 基于灰色系统理论的多目标优化的一种策略[J]. 机械工程学报, 2003, 39(1): 101-106.  
Chen Yibao, Yao Jianchu, Zhong Yifang. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2003, 39(1): 101-106.
- [17] 谢延敏, 于沪平, 陈军, 等. 基于灰色系统理论的冲压成形稳健设计 [J]. 上海交通大学学报, 2007, 41(4): 596-599.  
Xie Yanmin, Yu Huping, Chen Jun, et al. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 2007, 41(4): 596-599.

(责任编辑 孙秀云,代丽)

## ·学术动态·

## “第二届中国激光雷达学术会议”征文

由中国激光雷达学术会议委员会主办的“第二届中国激光雷达学术会议”拟于2012年10月15—19日在青岛市召开。

征文范围:激光雷达新技术和新方法的进展;影响气候与空气质量的微量气体;大气中的水汽、温度与风场;大气气溶胶、云的特征及其气候效应;中层及高层大气物理与化学;激光雷达在天气和气候研究中的应用;激光雷达网;空基激光雷达;海洋激光雷达。

摘要截稿日期:2012年4月30日。

论文截稿日期:2012年6月30日。

联系电话:0532-82032986。

电子信箱:wush@ouc.edu.cn。

通信地址:青岛市鱼山路5号中国海洋大学遥感所(266003)。