



移动扫码阅读

于健浩,祝凌甫,徐刚.煤矿智能综采工作面安全高效开采适应性评价[J].煤炭科学技术,2019,47(3):60-65. doi:10.13199/j.cnki.cst.2019.03.008

YU Jianhao, ZHU Lingfu, XU Gang. Safety and high efficiency adaptability evaluation of coal mine intelligent fully-mechanized mining face [J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(3): 60 - 65. doi: 10.13199/j.cnki.cst.2019.03.008

煤矿智能综采工作面安全高效开采适应性评价

于健浩¹, 祝凌甫¹, 徐刚^{1,2}

(1.天地科技股份有限公司 开采设计事业部 北京 100013; 2.煤炭科学研究总院,北京 100013)

摘要:为研究煤层赋存情况、地质构造特征、开采技术条件等因素对智能综采工作面的影响程度,掌握不同条件下智能综采工作面安全高效开采的适应程度,对神东煤炭集团多家矿井智能综采工作面开展实地调研,通过现场技术咨询及分析工作面地质条件、开采技术条件、装备水平及智能综采过程中存在的问题,确定煤层稳定性、工作面倾斜长度、断层影响程度是影响智能综采适应性的主控因素。由此归纳出煤矿智能综采适应性评价指标体系,基于模糊综合评价法,通过对评价指标进行量化,采用AHP法确定因素权重,建立了智能综采适应性评价模型,实现了对智能综采工作面开采效能和安全性的智能评价,可为工作面采前地理信息系统提供静态决策支持。

关键词:智能综采;适应性评价;主控因素;决策支持;开采效能;智能评价

中图分类号:TD67;TD82

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2019)03-0060-06

Safety and high efficiency adaptability evaluation of coal mine intelligent fully-mechanized mining face

YU Jianhao¹, ZHU Lingfu¹, XU Gang^{1,2}

(1. Mining and Design Department, Tiandi Science and Technology Co., Ltd., Beijing 100013, China; 2. China Coal Research Institute, Beijing 100013, China)

Abstract: In order to study the influence degree of coal seam occurrence, geological structure characteristics and mining technical conditions on intelligent fully-mechanized mining face, and master the adaptability of intelligent fully-mechanized mining face under different conditions, the intelligent comprehensive mining face of Shendong Coal Group was investigated. Through the technical consulting and analysis of the geological conditions of the working face, mining technical conditions, equipment level and the existing problems, the main controlling factors affecting the adaptability of intelligent comprehensive mining were obtained, including coal seam stability, working face length and degree of fault impact. Therefore, the index system of coal mine intelligent comprehensive mining adaptability evaluation was summarized. Based on the fuzzy comprehensive evaluation method, the evaluation indicators were quantified. And use the AHP method to determine the factor weights. Then establish the adaptive evaluation model for coal mine intelligent comprehensive mining, and the intelligent evaluation of mining efficiency and safety of intelligent fully-mechanized mining face was realized.

Key words: intelligent fully-mechanized mining; adaptability evaluation; main control factors; decision support; mining efficiency; intelligent evaluation

0 引言

随着我国煤矿综采工作面机械化、自动化水平的逐渐提高,以及在线监测监控、集中控制等智能设备的引入,个别国有大型矿井在一定程度上实现了工作面智能开采^[1-2]。文献[3]提出了智能化综采

的具体概念,并在总结黄陵一矿较薄煤层、金鸡滩煤矿超大采高智能综采及特厚煤层智能综放技术的基础上,指出目前技术水平下,简单的地质条件是实现智能综采的基础,地质条件是决定智能开采模式实现的瓶颈。文献[4]在系统总结不同煤厚、不同采法智能开采技术现状的基础上,指出智能综采装备

收稿日期:2018-10-28;责任编辑:赵瑞

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2018YFC0604506,2017YFC0804301,2017YFC0603002)

作者简介:于健浩(1983—),男,吉林白山人,副研究员,博士。E-mail: yujh620@126.com

对围岩活动和环境变化的适应程度是智能开采成果与否的关键,并得出设备与围岩智能适应控制的5项关键技术。文献[5]针对深部条件智能开采技术进行研究,指出高应力、强采动是深部煤层实现智能开采的理论和关键技术难题。文献[6-7]提出智能开采理论与技术构想,指出煤层厚度变化对智能放煤、煤矸识别技术的不利影响时制约综放智能化的关键核心问题。文献[8-10]指出,由于智能开采过程中工作面设备不是一个独立的系统,常受地质条件、煤流等外部系统影响,开机率无法达到最高水平,影响智能开采系统整体效能的发挥。文献[11-12]通过实践研究,探索特定地质条件下智能开采设备自适应、自感知控制技术,在智能装备对特定条件下的适应性研究上取得了一定的成果。基于此,笔者通过对神东地区煤矿智能综采工作面开展现场调研,采用大数据分析结合现场技术交流结论,掌握影响智能开采各环节的主控因素,并建立智能综采工作面安全开采适应性评价模型,实现对智能综采工作面开采效能和安全性的智能评价。

1 智能开采现状

1.1 智能开采调研方案

为了解我国煤矿智能工作面开采现状,对智能

开采起步较早、功能完善、水平较高的神东煤炭集团矿井进行调研,调研内容包括以下4个部分。

1)智能矿井基本情况调研。分别对矿井概况、工作面地质条件、开采技术条件、装备情况进行调研。

2)智能开采工作面影响因素调研。将影响智能化开采的主要因素分为:煤层条件因素、煤层顶底板因素、地质构造因素、其他地质因素、开采技术因素,针对薄及中厚煤层、大采高工作面、高瓦斯工作面3种情况,采用专家问卷形式调研各因素在何种条件下更有利于实现智能开采。

3)智能开采影响因素重要性调研。为了解不同地质条件对智能开采效果的影响程度,采用专家问卷形式对各影响因素的重要性等级进行划分,以此作为评价模型影响指标权重选择的重要依据。

4)影响智能工作面生产的主要因素调研。对智能工作面生产过程中出现的主要问题,包括地质条件变化、设备故障等。

1.2 调研情况分析

本次智能开采调研分别对神东煤炭集团补连塔煤矿、大柳塔煤矿、上湾煤矿、锦界煤矿、榆家梁煤矿5个煤矿的7个工作面进行现场调研,调研结果见表1—表3。

表1 智能综采工作面地质条件

Table 1 Geological conditions of intelligent fully-mechanized mining face

| 工作面 | 埋深/m | 顶板条件 | 底板条件 | 煤厚/m | 倾角/(°) | 夹矸情况 | 煤层普氏系数 <i>f</i> | 地质构造情况 | 其他开采条件 |
|--------------------|---------|--|--------------------|------------|--------|---------------|-----------------|-----------------------|---------------------------|
| 补连塔煤矿 22310 工作面 | 121 | 14.56 m 粉砂岩为主,中粒砂岩次之 | 2.39 m 泥岩 | 6.72 | 1~3 | 0.1~0.4 m | 2 | 简单,无断层、褶曲、陷落柱 | 低瓦斯,水文条件简单,低煤尘爆炸倾向性 |
| 补连塔煤矿 12512 工作面 | 300 | 7.08~23.46 m 粉砂岩 | 1.62~5.25 m 粉砂岩 | 4.60~9.30 | 1~3 | 0.1~0.8 m 粉砂岩 | 3 | 简单,无断层、褶曲、陷落柱 | 低瓦斯,水文条件中等,煤尘有爆炸危险性 |
| 大柳塔煤矿 52601 工作面 | 98~223 | 直接顶为0~2.80 m 粉砂岩,基本顶为2.90~21.8 m 细砂岩 | 1.70~5.20 m 粉砂岩 | 6.80 | 1~3 | 0.1 m 泥岩 | 2.5 | 简单,无断层、褶曲、陷落柱 | 低瓦斯,水文条件简单,煤尘有爆炸危险性,煤层易自燃 |
| 锦界煤矿 31114 工作面 | 110 | 直接顶为2.50 m 粉砂岩,基本顶为23.40 m 细砂岩 | 0.70~2.40 m 粉砂岩或泥岩 | 3.29 | 1 | — | 2 | 简单,无断层、褶曲、陷落柱 | 低瓦斯,水文条件中等,煤尘有爆炸危险性,煤层易自燃 |
| 上湾煤矿 12305 工作面 | 220~300 | 2.65~16.29 m 细砂岩 | 0.35~4.22 m 泥岩 | 2.16~5.55 | 1~5 | 局部,0.17 m | 2~3 | 简单,无断层、褶曲、陷落柱 | 低瓦斯,水文条件简单,煤尘有爆炸危险性 |
| 上湾煤矿 12401 工作面 | 124~244 | 8.07 m 粉砂岩,砂质泥岩 | 1.29 m 泥岩 | 7.56~10.79 | 1~5 | 0.1~0.2 m | 1.67 | 1条落差1.70 m 断层,无褶曲、陷落柱 | 低瓦斯,水文条件中等,煤尘有爆炸危险性 |
| 榆家梁煤矿 43101 工作面 | 74 | 直接顶为0.20~2.21 m 泥岩,基本顶为13.70~18.20 m 细砂岩 | 1.10~1.70 m 泥岩底板 | 1.47 | 1~3 | — | 2.7 | 简单,无断层、褶曲、陷落柱 | 低瓦斯,水文条件简单,煤尘有爆炸危险性,煤层易自燃 |

表2 智能综采工作面开采技术条件

Table 2 Mining conditions of intelligent fully-mechanized mining face

| 工作面 | 面长/m | 采高/m | 截深/m | 俯仰采角度/(°) | 矿压强度 | 来压步距/m | 日推进度/m | 平均日产量/万 t |
|--------------------|-------|---------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 补连塔煤矿 22310 工作面 | 315.4 | 6.7 | 0.800 | -4~4 | 30~47 MPa | 12.1~15.6 | 13.0 | 4.0 |
| 补连塔煤矿 12512 工作面 | 327.4 | 7.5 | 0.865 | 1~3 | 明显 | 8.0~14.0 | 13.8 | 4.0 |
| 大柳塔煤矿 52601 工作面 | 302.4 | 6.6 | 0.865 | -2 | 42 MPa | 16.1 | 15.0 | 3.8 |
| 锦界煤矿 31114 工作面 | 369.4 | 3.2 | 0.865 | 0~1 | 35~47 MPa | 14.0 | 10.0 | 1.6 |
| 上湾煤矿 12305 工作面 | 300.5 | 4.8 | 0.865 | 1~3 | 缓和 | 10.0 | 4.0 | 0.6 |
| 上湾煤矿 12401 工作面 | 299.2 | 8.6 | 0.865 | 1~2 | 强烈 | 12.0 | 12.0~15.0 | 4.5~4.8 |
| 榆家梁煤矿 43101 工作面 | 351.4 | 1.3~1.7 | 0.630 | 1~2 | 缓和 | 10.0 | 5.0 | 0.3 |

表3 智能综采工作面设备配套

Table 3 Equipment matching of intelligent fully-mechanized mining face

| 工作面 | 支架 | 采煤机 | 带式输送机 | 转载机 | 超前支护形式 | 控制系统 |
|--------------------|------------------|---------------------|--------------|-------------|------------------------------|--|
| 补连塔煤矿 22310 工作面 | ZY1800/32/70D | SL1000 | 3×1 600 kW | 700(350) | ZFDC35400/27/47 | 采煤机: 联力电控 支架: 天地玛珂 带式输送机及泵站: 青岛天信 |
| 补连塔煤矿 12512 工作面 | ZY21000/36.5/80D | SL1000-6659 | SGZ1400/4800 | SZZ1600/700 | ZQL2-24500-25-47D | 采煤机: 青岛天信 支架: EEP PR401 + 天地玛珂 PM32 带式输送机及泵站: 青岛天信 |
| 大柳塔煤矿 52601 工作面 | ZY1800/32/70 | SL1000/6769 | 3×1 600 kW | 700(350) | M448—3.0/4.7 M450—3.0/4.7 | 采煤机、转载机、破碎机: 联力电控、KJZ6+6 带式输送机: 青岛天信 |
| 锦界煤矿 31114 工作面 | ZY12000/18/40D | 7LS6C-LWS638 | SGZ1000/3000 | SZZ1350/500 | | 采煤机: 联力电控 支架: 天地玛珂 PM32 |
| 上湾煤矿 12305 工作面 | ZY18000/26.5/50D | SL900 | 3×1 200 | SZZ1588/700 | ZY12000/2.0/ 40D | 采煤机: 联力电控 支架: EEP 液压控 带式输送机及泵站: 华宁 |
| 上湾煤矿 12401 工作面 | ZY26000/40/88D | MG1100/ 2925-WD | SGZ1388/4800 | SZZ1588/700 | — | 采煤机: Faceboss 支架: 天地玛珂 带式输送机及泵站: 中加特 |
| 榆家梁煤矿 43101 工作面 | ZY9200/09/18D | MG2×200/ 890-WD1 | SGZ800/1400 | SZZ1000/400 | — | 采煤机: 联力电控 支架: 天地玛珂 带式输送机及泵站: 中加特 |

1.3 智能化开采存在的困难

通过与矿方技术人员交流,认为矿井智能化开采制约因素主要有以下6点:

1)各设备控制系统厂家不同,网口协议不统一,没有统一的行业标准,实现各控制系统的相互调用和集中控制存在很大困难。

2)井下信号上传所用传感器数量庞大,传感器质量和信号稳定性对实现智能化开采影响较大。

3)井下现场工人文化素质低,对先进设备接受程度低,难以实现系统功能的有效利用。

4)井下工作面作业环境粉尘大,对视频及红外线等信号干扰性较大。

5)大采高工作面采高大,支架稳定性差,采高过大难以实现自动割煤、跟机拉架;工作面煤层起伏度、夹矸、地质构造等对自动化割煤影响也很大。

6)采煤机煤矸识别技术已研究多年,实现难度很大。

2 智能综采适应性评价

2.1 智能开采评价方法和指标体系研究

在实施智能开采前如何评价工作面地质赋存条件的适应程度,预判工作面在开采过程中潜在可能出现的问题及相应技术措施是智能开采工作面的前提保障。笔者通过权重法和模糊数学建立智能开采工作面评价专家系统^[13],为工作面采前地理信息系统提供静态决策支持。

基于对神东地区智能开采工作面调研结果可以看出,智能开采工作面对地质条件要求较高,能否达到真正意义上的智能开采,关键在于煤层赋存条件的适应性,即煤层条件的复杂性是否满足智能开采设备自适应、自感知要求^[14]。由此研究分析国内代表性工作面地质条件及开采技术条件,建立智能工作面影响因素数据库,如煤层条件、煤层顶底板条件、地质构造特征、其他地质条件及开采技术条件等一级影响因素,各一级影响因素又分为诸多二级影响因素,进而分析相关因素对智能化综采的影响程度^[15-16],智能综采评价因素指标体系如图1所示。

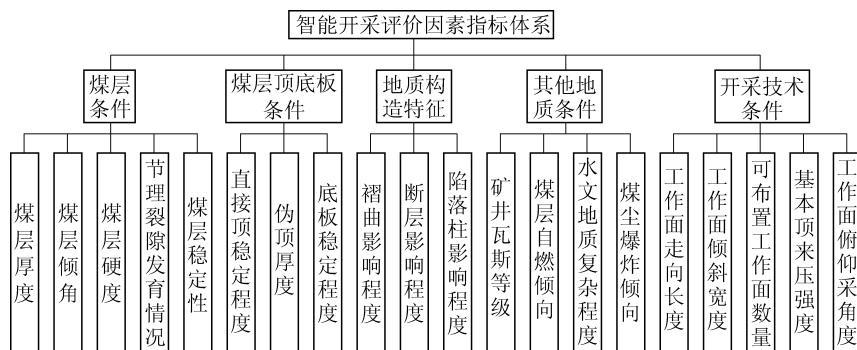


图1 智能综采评价指标体系

Fig.1 Evaluation system of intelligent fully-mechanized

2.2 评价指标量化

为实现智能综采工作面开采条件适应性的自适应决策,在评价指标体系建立后,需对各评价指标进行分级量化。分级量化的标准是在充分考虑智能工

作面开采特点,并借鉴智能开采成功经验,将评价因素分为“好、中、差”3个等级。根据3个等级划分,对各个评价指标进行量化,见表4。将各指标量化结果汇总整理得因素评价矩阵 R 。

表4 智能开采评价指标量化

Table 4 Evaluation index of intelligent mining

| 序号 | 评价因素 | 评价等级 | | | 序号 | 评价因素 | 评价等级 | | |
|----|----------|------------|---------|------------|----|--------------|------------|---------|-------------|
| | | 好 | 中 | 差 | | | 好 | 中 | 差 |
| 1 | 煤层厚度/m | ≥ 2 | 0.8~2 | ≤ 0.8 | 11 | 陷落柱影响程度 | $\leq 5\%$ | 5%~15% | $\geq 15\%$ |
| 2 | 煤层倾角/(°) | ≤ 25 | 25~45 | ≥ 45 | 12 | 矿井瓦斯等级 | 低瓦斯矿井 | 高瓦斯矿井 | 突出矿井 |
| 3 | 煤层硬度 | 中硬或硬煤 | 特硬煤 | 软煤 | 13 | 煤层自然倾向 | 不易自燃(Ⅲ级) | 自燃(Ⅱ级) | 易自燃(Ⅰ级) |
| 4 | 节理裂隙发育程度 | 不发育 | 较发育 | 发育 | 14 | 水文地质复杂程度 | 简单或中等 | 复杂 | 非常复杂 |
| 5 | 煤层稳定性 | 稳定或较稳定 | 不稳定 | 极不稳定 | 15 | 煤尘爆炸倾向 | 1级或2级 | 3级 | 4级 |
| 6 | 直接顶稳定程度 | 2类、3类 | 4类 | 1类 | 16 | 工作面走向长度/m | ≥ 500 | 200~500 | ≤ 200 |
| 7 | 伪顶厚度/m | ≤ 0.1 | 0.1~0.5 | ≥ 0.5 | 17 | 工作面倾斜宽度/m | ≥ 200 | 100~200 | ≤ 100 |
| 8 | 底板稳定程度 | Ⅳ类、Ⅴ类 | Ⅱ类、Ⅲ类 | Ⅰ类 | 18 | 可布置工作面数量/个 | ≥ 5 | 2~5 | ≤ 2 |
| 9 | 褶曲影响程度 | 0 | 1~2 | ≥ 2 | 19 | 基本顶来压强度 | Ⅱ类、Ⅲ类 | Ⅰ类 | Ⅳ类 |
| 10 | 断层影响程度 | ≤ 0.6 | 0.6~1 | ≥ 1 | 20 | 工作面俯仰采角度/(°) | ≤ 5 | 5~15 | ≥ 15 |

2.3 各因素权重确定

各评价因素对智能综采工作面开采效果的影响程度不尽相同,为了实现评价系统结构与功能的相互统一,各因素在评价体系中的相对重要程度通过因素权重 W 来表征。为了排除主观性对因素权重的影响,计算权重时,在充分借鉴现场调研的基础上,采用AHP层次分析法,分别对一级因素权重和

二级因素权重进行独立计算,最终确定各因素权重。

1)建立判定矩阵。采用0~9标度法,比较各因素重要程度,得出各评价因素的相对重要性,得出判定矩阵 A 。

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & \cdots & A_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ A_{n1} & \cdots & A_{nn} \end{bmatrix}$$

式中: n 为二级因素的阶数,取值为3、4、5。

2)计算因素权重。通过计算判定矩阵各行几何平均值得出:

$$\bar{W}_i = \sqrt[n]{\sum_{j=1}^n A_{ij}} \quad (i=1,2,\dots,n)$$

之后,通过归一化处理, $W_i = \bar{W}_i / \sum_{i=1}^n \bar{W}_i$, 得出各因素权重。

3)判定矩阵一致性验算。基于所得权重结果,计算最大特征值 λ_{\max} ,代入判定矩阵一致性方程,得出判定矩阵随机一致性比例 CR 为

$$CR = \frac{\lambda_{\max} - n}{(n-1)RI}$$

式中: CR 为随机一致性比例; λ_{\max} 为判定矩阵最大特征值, $\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i}$; RI 为平均随机一致性指标,取值标准见表5。

表5 不同阶数 RI 取值标准

Table 5 RI value standard of different orders

| 指标数量 | 3 | 4 | 5 |
|------|------|-----|------|
| RI | 0.58 | 0.9 | 1.12 |

计算得出判定矩阵随机一致性比例 $CR = 0.032 < 0.1$,符合一致性要求。最终得出各因素权重见表6。由结果可以看出,煤层稳定性、工作面倾斜长度、断层影响程度权重较高,是决定智能综采效果的主控因素。

表6 智能综采评价指标因素权重

Table 6 Evaluation index factor weight of intelligent fully-mechanized mining

| 评价因素 | 因素权重 | 评价因素 | 因素权重 |
|----------|-------|----------|-------|
| 煤层厚度 | 0.062 | 陷落柱影响程度 | 0.067 |
| 煤层倾角 | 0.037 | 矿井瓦斯等级 | 0.042 |
| 煤层硬度 | 0.039 | 煤层自燃倾向 | 0.038 |
| 节理裂隙发育程度 | 0.043 | 水文地质复杂程度 | 0.019 |
| 煤层稳定性 | 0.099 | 煤尘爆炸倾向 | 0.014 |
| 直接顶稳定程度 | 0.040 | 工作面走向长度 | 0.038 |
| 伪顶厚度 | 0.015 | 工作面倾斜宽度 | 0.094 |
| 底板稳定程度 | 0.059 | 可布置工作面数量 | 0.064 |
| 褶曲影响程度 | 0.051 | 基本顶来压强度 | 0.047 |
| 断层影响程度 | 0.075 | 工作面俯仰采角度 | 0.060 |

2.4 建立评价模型

采用优化的模糊综合评价模型对智能开采条件适应性进行综合评价,为了使评价结果更加直观,对各因素的评价按百分制算法映射为可计算的综评价值,令评判集 $V = \{好, 一般, 差\} = \{100 \sim 80, 80 \sim 60, <60\}$,由此可得各评判等级的分数重心分别为90、70、30。并根据此综合评价值的大小来判断评价

样本属性的优劣,评价得分一方面能够反映开采条件的适应程度,另一方面也能说明此条件下智能开采效果的好坏。评价得分越高表明开采条件对智能综采的适应性越好,越有利于实现智能开采。智能开采综合评价得分分为

$$U = RWV^T =$$

$$\begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{pmatrix} \cdot (w_1, w_2, \dots, w_n) \cdot V^T$$

式中: R 为因素评价值矩阵; W 为因素权重; V 为评判集评判等级分数。

2.5 评价模型应用

将国内智能工作面煤层赋存条件及现场实测数据代入模型,得出智能开采效果评价得分,通过对比评价得分与该智能开采工作面实际回采效果,划分评价得分的优劣区间。将神东煤炭集团5个矿井7个智能综采工作面及山西地区4个普通综采工作面开采条件代入评价模型进行计算,结果见表7。

表7 智能综采工作面综合评价得分

Table 7 Comprehensive evaluation score of intelligent fully-mechanized face

| 工作面名称 | 综合评价得分 | 实际开采效果 |
|---------------|--------|--------|
| 补连塔 22310 工作面 | 86.77 | 好 |
| 补连塔 12512 工作面 | 85.71 | 好 |
| 大柳塔 52601 工作面 | 85.54 | 好 |
| 锦界 31114 工作面 | 85.21 | 较好 |
| 上湾 12305 工作面 | 85.33 | 较好 |
| 上湾 12401 工作面 | 85.87 | 好 |
| 榆家梁 43101 工作面 | 84.79 | 较好 |
| 山西王庄 8101 工作面 | 65.39 | 一般 |
| 三元中能 2306 工作面 | 72.35 | 一般 |
| 霍尔辛赫 3210 工作面 | 68.32 | 一般 |
| 寺河 2307 工作面 | 78.49 | 较好 |

对比评价结果可以看出,神东地区7个工作面的综合评价得分均在85分左右,评分高于山西地区大采高综采工作面评价得分,说明神东地区的煤层赋存条件和开采技术条件较山西地区矿井更能满足智能综采要求。

3 结 论

1)调研了神东煤炭集团智能综采工作面地质条件、开采技术水平、装备情况,总结了设备控制系统接口协议多样、传输数据量大、人员技术水平较

低、工作环境粉尘大、地质条件相对复杂等目前智能综采存在的主要问题。

2) 在系统调研的基础上,提出了影响智能开采效果及设备适应性的主要因素,包括煤层条件、顶底板条件、地质构造特征、其他开采条件和开采技术条件等5个一级因素和20个二级因素。

3) 采用模糊综合评价法建立了煤矿智能综采工作面开采适应性评价模型,实现了智能综采工作面安全高效开采适应性智能评价。

4) 应用该模型对包括调研矿井在内的11个大采高工作面进行智能开采适应性评价,结果表明,神东地区矿井评分较高,较山西地区评价矿井而言更有利于实现智能开采。

参考文献 (References):

- [1] 王国法,张德生.煤炭智能化综采技术创新实践与发展展望[J].中国矿业大学学报,2018,47(3):459-467.
WANG Guofa,ZHANG Desheng.Innovation practice and development prospect of intelligent fully mechanized technology for coal mining [J].Journal of China University of Mining & Technology, 2018,47(3):459-467.
- [2] 王显政.坚持创新驱动推动煤炭智能绿色开采与生态建设[J].中国煤炭工业,2018(1):8-10.
WANG Xianzheng.Adhere to innovation drive promote smart green mining and ecological construction of coal [J].China Coal Industry,2018(1):8-10.
- [3] 王国法,范京道,徐亚军,等.煤炭智能化开采关键技术创新进展与展望[J].工矿自动化,2018,44(2):5-12.
WANG Guofa,FAN Jingdao,XU Yajun,et al.Innovation and prospect on key technologies of intelligent coal mining[J].Industry and Mine Automation,2018,44(2):5-12.
- [4] 李梅,杨帅伟,孙振明,等.智慧矿山框架与发展前景研究[J].煤炭科学技术,2017,45(1):121-128,134.
LI Mei,YANG Shuaiwei,SUN Zhenming,et al.Study on framework and development prospects of intelligent mine [J].Coal Science and Technology,2017,45(1):121-128,134.
- [5] 王国法,王虹,任怀伟,等.智慧煤矿2025情景目标和发展路径[J].煤炭学报,2018,43(2):295-305.
WANG Guofa,WANG Hong,REN Huaiwei,et al.2025 scenarios and development path of intelligent coal mine[J].Journal of China Coal Society,2018,43(2):295-305.
- [6] YANG Jianjian.Intelligent recognition of cutting load of coal mining equipment based on vibration wavelet packet feature[C].Proceedings of 2017 9th International Conference on Modelling,Identification and Control (ICMIC 2017).Kunming University of Science and Technology,IEEE Control System Society Beijing Chapter,IEEE Beijing Section,2017:6.
- [7] 任怀伟,孟祥军,李政,等.8m大采高综采工作面智能控制系统关键技术研究[J].煤炭科学技术,2017,45(11):37-44.
REN Huaiwei,MENG Xiangjun,LI Zheng,et al.Study on key technology of intelligent control system applied in 8m large mining height fully-mechanized face [J].Coal Science and Technology, 2017,45(11):37-44.
- [8] 康红普,王国法,姜鹏飞,等.煤矿千米深井围岩控制及智能开采技术构想[J].煤炭学报,2018,43(7):1789-1800.
KANG Hongpu,WANG Guofa,JIANG Pengfei,et al.Conception for strata control and intelligent mining technology in deep coal mines with depth more than 1000m [J].Journal of China Coal Society, 2018,43(7):1789-1800.
- [9] 袁亮.煤炭精准开采科学构想[J].煤炭学报,2017,42(1):1-7.
YUAN Liang.Scientific conception of precision coal mining [J].Journal of China Coal Society,2017,42(1):1-7.
- [10] 宋振骥,夏洪春,卢国志.“中国制造2025”背景下中厚煤层智能开采技术发展方向[J].同煤科技,2016(1):1-5,9.
SONG Zhenqi,XIA Hongchun,LU Guozhi.Development direction of intelligent mining technology of medium-thickness coal seam under the background of "China-made 2025" [J].Science and Technology of Datong Coal Mining Administration,2016(1):1-5,9.
- [11] 徐建军.煤矿智能化综采技术现状及展望[J].陕西煤炭,2017,36(3):44-47,13.
XU Jianjun.Current status and prospect of intelligent fully-mechanized mining technology in coal mine [J].Shaanxi Coal,2017,36(3):44-47,13.
- [12] 范建,于健浩.我国煤矿科学开采技术的新进展[J].煤矿开采,2014,19(5):4-7.
FAN Jian,YU Jianhao.New progress of scientific mining technology in Chinese coal mine [J].Coal Mining Technology, 2014,19(5):4-7.
- [13] 杨伦标,高英仪.模糊数学原理及应用[M].广州:华南理工大学出版社,2000:86-91.
- [14] 王旭鸣.煤矿综采智能决策支持系统[J].煤矿机械,2015,36(9):263-265.
WANG Xuming.Intelligent decision support system for coal mine [J].Coal Mine Machinery,2015,36(9):263-265.
- [15] YU Jianhao.Prediction of top-coal caving and drawing characteristics using artificial neural networks in extremely thick coal seam [C].Proceedings of 2015 International Conference on Mechanical, Electronic and Information Technology Engineering,2015.
- [16] 于健浩.西南复杂难采煤层安全开采模式智能化决策[J].煤矿开采,2017,22(4):16-22.
YU Jianhao.Intelligent decision making of safety mining model under complicated geological conditions in southwest China [J].Coal Mining Technology,2017,22(4):16-22.