

基于钻孔勘探数据的煤层厚度分布与构造预判

孟凡刚¹, 马亚杰^{2,3}, 王国华¹, 王 坤^{2,3}, 李 悦^{2,3}

(1. 开滦(集团)有限责任公司, 河北 唐山 063000; 2. 华北理工大学 矿业工程学院, 河北 唐山 063210;

3. 河北省矿业开发与安全技术重点实验室, 河北 唐山 063210)

摘 要:针对煤层厚度是煤矿钻孔勘探获得的准确性较高数据,研究了基于钻孔煤厚数据对煤厚分布预测与构造预判中的作用。以开滦东欢坨矿-690 m 水平南翼采区为研究区,重点分析了煤层厚度数据缺失的不同情况,分别基于不含零值与含零值的钻孔煤厚数据,应用 Surfer 软件绘制了 5、7 与 8 煤层厚度等值线,对比分析了煤层厚度的空间特征,并推断导致了煤层缺失的构造位置。结果表明,钻孔煤层缺失情况普遍存在,由沉积尖灭、构造断失、风化剥蚀与钻孔深度不足等 4 种原因导致,前 2 种情况下煤厚应视为零值。不考虑零值与考虑零值时,预测得到煤厚小于 0.6 m 的不可开采区分布范围差别较大。在钻孔车 102/车 10—东观 22—车 32/车 106—车 105—车 14 一带存在多孔煤厚构造断失,推测沿 NW 方向展布有断层构造带。

关键词:煤层厚度;煤层缺失;地质构造;厚度等值线;构造预判

中图分类号:TD15 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-2336(2017)08-0233-05

Seam thickness distribution and tectonic prediction based on exploration data from drilling

Meng Fangang¹, Ma Yajie^{2,3}, Wang Guohua¹, Wang Kun^{2,3}, Li Yue^{2,3}

(1. Kailuan Group Corporation Limited, Tangshan 063000, China; 2. School of Mine Engineering, North China University of Science and Technology, Tangshan 063210, China; 3. Hebei Provincial Key Lab of Mining Development and Safety Technology, Tangshan 063210, China)

Abstract: According to seam thickness would be the high accurate data obtained from the mine drilling exploration, the paper had a study on the seam thickness data of the drilling applied to the prediction of the seam thickness distribution and the tectonic prediction. With a mining block in the south wing at -690 m Level of Kailuan Donghuantuo Mine as the study block, the paper stressed the analysis on different conditions of the seam thickness data missing. Based on the no zero value and zero value seam thickness data from the drilling individually, the Surfer software was applied to draw the thickness value lines of No. 5 seam, No. 7 seam and No. 8 seam. The paper had a comparison analysis on the spatial features of the seam thicknesses and had an inference on the tectonic location and others to cause the seam missing. The results showed that the seam thickness missing from drilling would be general. There would be the depositional lapout, tectonic faulted, weathering denudation and insufficient drilling depth to cause the missing. The first two conditions would be the seam thickness was zero value. When the zero value was not considered or the zero value was considered, the distribution scope of the unmineable block with seam thickness less than 0.6 m would be a big difference. In the area of the drilling rig 102/vehicle 10—Dongguan 22—vehicle 32—vehicle 106—vehicle 105—vehicle 14, there were many boreholes' seam thickness tectonic missing and there would be fault tectonic zone in NW direction.

Key words: seam thickness; seam missing; geological tectonic; thickness contour; tectonic prediction

收稿日期:2017-02-25;责任编辑:王晓珍 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2017.08.040

作者简介:孟凡刚(1976—),男,黑龙江方正人,高级工程师,硕士,现任开滦(集团)有限责任公司东欢坨矿业分公司总工程师。E-mail: mengfangang@kailuan.cpm.cn

引用格式:孟凡刚,马亚杰,王国华,等.基于钻孔勘探数据的煤层厚度分布与构造预判[J].煤炭科学技术,2017,45(8):233-237,211.

Meng Fangang, Ma Yajie, Wang Guohua, et al. Seam thickness distribution and tectonic prediction based on exploration data from drilling[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(8): 233-237, 211.

0 引 言

钻孔煤厚是解析地质信息的重要、可靠依据,充分挖掘其地质信息内涵具有重要的意义。钻孔煤厚数据主要应用于对煤层进行直接评价。①用以分析煤层的厚度、可采系数、变异系数等,从而评价煤层的稳定性。在《煤矿地质工作规定》(2014)中给出了统一、规范的工作方法。②点状分布的钻孔煤厚与数学统计方法相结合,克利金插值、趋势面法等广为应用^[1-3],通过插值、拟合与回归,实现内插外推,用以预测煤层厚度的空间分布特征,在可采范围划分、煤层资源量计算及指导工作面布置设计等方面得到良好的应用。近年来,点状分布钻孔勘探数据与高精度三维地震勘探相结合,波阻抗曲线、自然伽马曲线、震幅能量等多元信息在岩性判别与煤层厚度识别中的应用被深入探讨,并与数学统计方法相结合,在提高井间和外推区域煤层厚度的预测精度方面取得了较好的成果^[4-8]。

煤层厚度受到沉积因素、风化剥蚀、地质构造等

多种地质因素的影响,钻孔煤厚数据内蕴含了这些影响因素信息。普查、详查阶段获取的钻孔煤厚是早期、可靠数据,挖掘钻孔煤厚数据中蕴含的地质构造信息,对于矿井生产阶段的进一步勘探具有前瞻性指导意义。笔者以开滦东欢坨矿-690 m 水平南翼采区为研究区,讨论了钻孔煤层厚度数据在煤层空间分布预测与地质构造预判别中的应用。

1 钻孔煤层厚度数据特征与零值点分析

开滦东欢坨矿-690 m 水平南翼区位于车轴山向斜东南翼的偏南区域,水平方向上位于 14—22 号勘探线之间,垂向上位于-500—-690 m 标高之间,基本构造形式为单斜地层,煤层倾角 18°~20°,主要地质构造为正断层。该区是东欢坨矿向深部延深的重要区域,地面勘探钻孔是该区域目前最主要的地质资料来源。区内主要发育 5、7、8、9、11、12_上、12_中、12_下号与 14_上号煤层,共 9 个煤层。区内及邻区共有 75 个勘探钻孔,部分煤厚数据见表 1。

表 1 部分钻孔煤厚

Table 1 Coal thickness of partial boreholes

钻孔编号	5 煤层 厚度/m	7 煤层 厚度/m	8 煤层 厚度/m	9 煤层 厚度/m	11 煤层 厚度/m	12-1 煤层 厚度/m	12-2 煤层 厚度/m	12 下煤层 厚度/m	14-1 煤层 厚度/m
车 59	C	C	C	C	C	C	C	C	C
东观 14	C	C	C	C	C	C	C	C	C
东观 30	C	C	C	C	2. 12	3. 31	1. 74	0. 55	1. 84
车 120	C	0. 79	1. 75	2. 26	1. 93	3. 16	1. 64	0. 98	1. 13
车 109	A 或 B	0. 79	2. 57	2. 31	2. 09	B	B	B	B
车 28	A 或 B	1. 55	3. 57	2. 50	1. 93	2. 93	3. 72	1. 37	2. 54
东观 3	A 或 B	0. 48	2. 80	3. 09	2. 56	2. 56	0. 84	0. 89	2. 66
东观 5	A 或 B	0. 82	3. 22	2. 63	2. 22	4. 25	0. 92	1. 03	A 或 B
东观 45	0. 44	A 或 B	4. 04	0. 34	2. 04	2. 16	0. 78	0. 90	0. 6
暗立井	D	D	D	D	D	D	D	D	D

注:A、B 代表该煤层在该钻孔点的厚度为零;C、D 代表该处无煤层厚度数据。

由表 1 可知,同一煤层厚度随钻孔不同而发生变化,具有一定的波动性,并且钻孔中缺乏某一煤层厚度数据的现象十分普遍。10 个钻孔揭露 9 层赋存煤层,仅获得 52 个煤厚数据,缺失 48 个数据。

煤层在沉积成岩过程中受多种因素影响,导致原始沉积地层厚度差异甚至局部缺失。构造作用也是煤层厚度变化与缺失的重要原因,已经被广为认识^[9-11]。与顶底板围岩相比,煤层通常具有较小的

硬度、较强的塑性与流变性,在后期构造的影响下,容易在拉伸、挤压或剪切力的作用下,厚度进一步改变。纵弯褶皱中,弯滑、弯流与不均匀分布的压扁作用导致煤层在转折端与翼部的厚度发生变化,形成顶厚或顶薄褶皱层,并在翼部形成厚度差异的条带。正断层的拉伸与牵引作用、逆断层的推挤作用都使煤层厚度发生变化。

钻孔煤层厚度缺失是不可忽视的厚度变化特征

之一。缺失某一煤厚数据表明勘探钻孔未遇到或未揭露该煤层,综合分析其可能的情况有4种,如图1所示。A为煤层沉积尖灭,煤层原始的沉积厚度由厚变薄直至尖灭,在一定范围内缺失;B为煤层的构造断失,如正断层可导致上下两盘的同一煤层拉开一定的距离,造成断层带附近一定范围内的煤层缺失,是煤层缺失的重要因素;C为煤层经风化剥蚀而缺失,倾斜煤层群被钻孔揭露时,钻孔位置处的煤层被风化剥蚀而不存在;D为钻孔深度不足,未揭露该煤层。A、B两种情况导致的钻孔无某一煤厚数据,该煤层在该钻孔点的厚度实为零。C、D两种情况视为无数据。

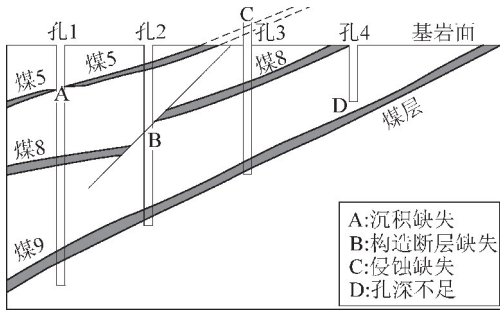


图1 勘探钻孔未见煤层情况综合示意
Fig.1 Comprehensive illustration of the coal seam missing in exploration borehole

由此可见,A、B两种情况导致的煤厚为零的情况对煤层厚度空间变化的规律具有重要的影响,B情况还蕴含着重要的构造信息。区分A、B情况,有效提取B信息是对钻孔煤厚数据信息挖掘的一个新的角度。

2 煤层厚度空间分布的预测与构造预判

采用煤层厚度空间分布指导开采工作面布置、开采厚度的确定,具有重要意义。煤层厚度空间分布预测是依据具有空间属性的钻孔煤层厚度,由于煤层具有一定的沉积结构稳定性,应用一定的算法,推算孔间与外延区的煤层厚度分布。钻孔各煤层点的空间坐标、厚度是预测计算的基础,点状数据的密度越高,预测的精度越好。研究区外围的钻孔数据有助于推测边界区煤厚分布,应充分利用。钻孔见煤点的空间坐标要依据钻孔测斜数据进行精确计算。

应用 Surfer 绘图软件工具,基于克利金法插值方法绘制煤层厚度等值线图是煤厚预测的有效方

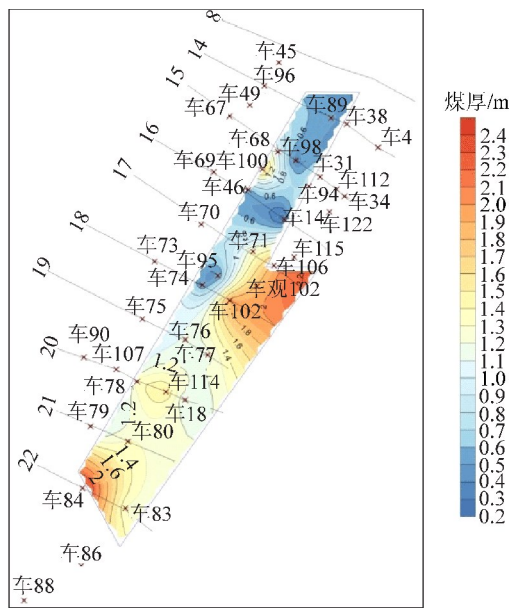
法。东欢坨矿各主采煤层为焦煤,煤层倾角小于 20° ,可采厚度最小极限值为0.6 m。设计等值间距使煤厚0~0.6 m的等值线域(以蓝色区域)清楚展现。采用不含零值的煤厚数据和含零值(A、B情况下)煤厚数据分别插值,得到了煤层厚度等值线图。以东欢坨矿-690 m水平南翼区5、7、8煤层为例,讨论煤厚的空间分布规律与构造信息。

图2为5煤层厚度等值线,由2a可知,5煤层厚度情况为NW方向薄ES方向厚,存在3处煤厚小于0.6 m的不可开采区域。考虑零值后,图2b增加多个零值钻孔,包括东观5、东观3孔,14号勘探线上的车61孔,14~15号勘探线之间的车56孔,16~17号勘探线间的车105孔与18号勘探线上的车10孔。对比两图,除车10孔之外,其余零值钻孔均处于图2a中的具有一定面积的薄煤层区,零值点对厚度等值线图的分布未产生显著改变,表明与周围数据点谐调渐变的关系,推断这些零值点为沉积缺失。

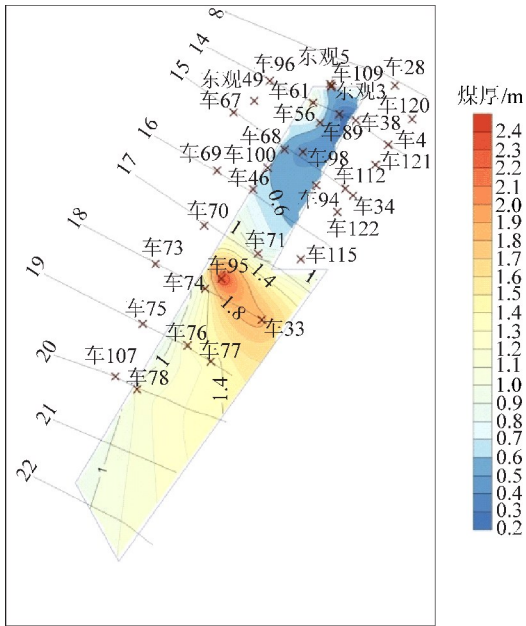
在图2b中,18号勘探线上增加的车10孔零值点则使其所在区域厚度等值线发生显著改变,表明它与周围值点的突变、不谐调关系,推断为构造断失点,该点由于断层构造影响导致煤厚缺失。

图3为7煤层厚度等值线,由图3a所示,7煤层在研究区NW端存在大面积不可开采区域,图3b在研究区ES端又增加一个大面积不可开采区域。图3b中ES端新增的不可开采区域由多个相邻零值点圈定,基本推断为沉积缺失区。由此可见,7号煤层可开采区仅限于20~17号勘探线间的局部范围。图3b中,零值点钻孔呈NW向线状排列,车102/车10—东观22—车32/车106—车105—车14,在研究区内导致17~18号勘探线间煤层厚度等值线产生显著改变,推断零值钻孔一带受断层构造影响。

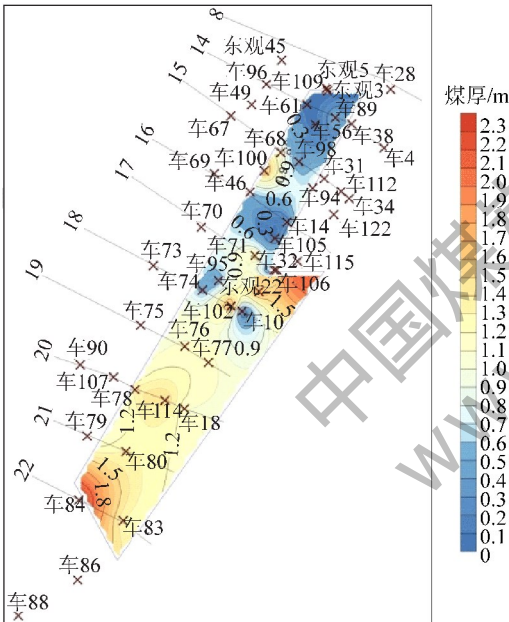
图4为8煤层厚度等值线,8煤层厚度分布与5、7煤层显著不同,且由图4a所示,8煤层在研究区全区可采。考虑零值后,图4b中的16~18号勘探线之间增加零值钻孔车102、车32、车106与车105,由于插值计算的影响在19号勘探线也形成一个不可开采的蓝色区域。结合5、7煤层情况来看,5煤层在车10孔断失,7煤层在车102/车10—东观22—车32/车106—车105—车14一线受断层构造影响,可以推断8煤层在车102—车32/车106—车105一线受断层影响,3个煤层的断失点在空间上存在上下毗邻的关系。



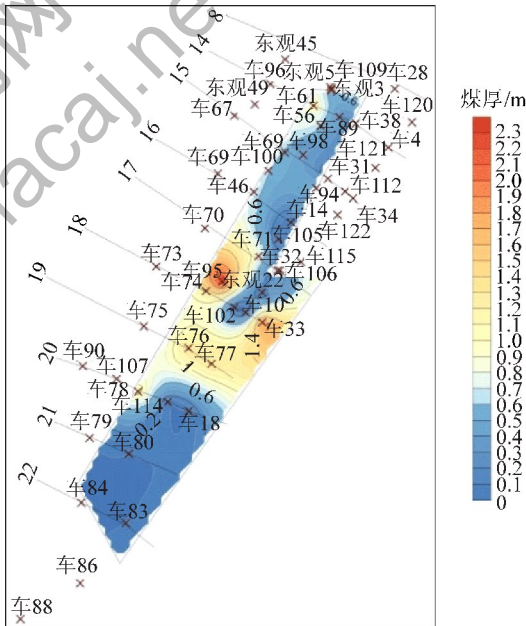
(a) 不考虑零点值



(a) 不考虑零点值



(b) 考虑零点值



(b) 考虑零点值

8、14、15…为勘探线编号;车18、东观22…为钻孔编号
图2 5煤层厚度等值线

8、14、15…为勘探线编号;车18、东观22…为钻孔编号
图3 7煤层厚度等值线

Fig. 2 Thickness contour map of No. 5 coal seam

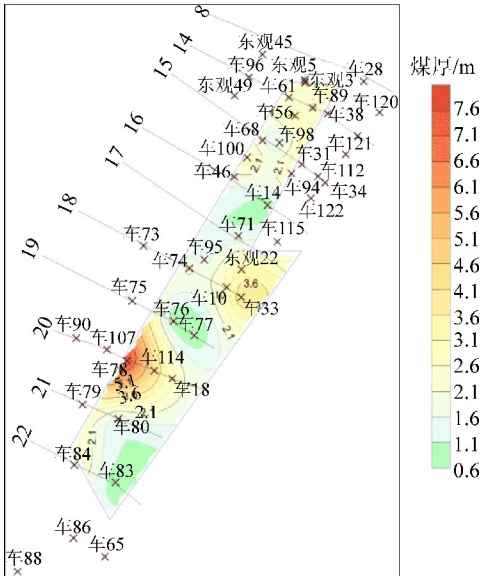
Fig. 3 Thickness contour map of No. 7 coal seam

在对煤层厚度进行预测时,沉积缺失与断层缺失对周围区域的影响作用不同,沉积缺失为渐变,零值点对周围有显著影响,预测结果与实际情况偏差较小;断失情况下,煤层通常突变为零,可能由于断层的拖曳作用,局部煤层变薄,情况更为复杂,插值计算时常过高估计了零值点对周围煤厚的影响作用,预测结果与实际可能偏差较大。因此,图4b由

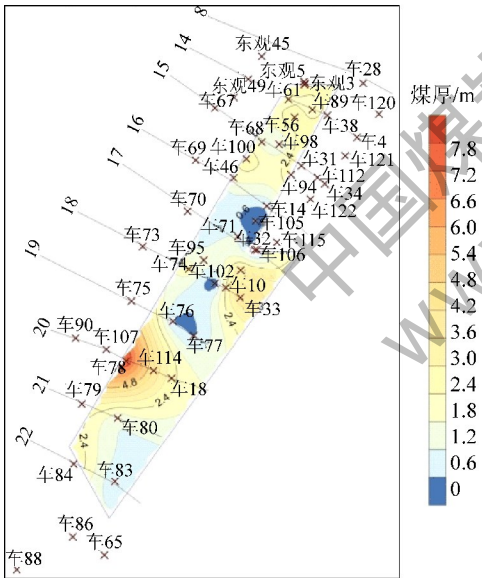
于插值计算的影响,在19号勘探线形成的不可开采区域实际上并不存在。

由东欢坨矿5、7及8煤层厚度预测分析可得:各煤层的厚度分布主要受煤层原始沉积条件影响,差异明显,5、7煤层均为极不稳定的薄煤层,5煤层在采区中部与SW方向可开采,7煤层则仅在中部局部可采,8煤层在全区均可开采。煤层厚度在钻

孔车 102/车 10—东观 22—车 32/车 106—车 105—车 14 一线受构造影响,多孔煤厚构造断失,沿 NW 方向展布有断层构造带。在该区域内应加强地质构造超前探测,进一步确定煤层与构造发育情况。



(a) 不考虑零值点



(b) 考虑零值点

8、14、15...为勘探线编号;车 18、东观 22...为钻孔编号
图 4 8 煤层厚度等值线

Fig. 4 Thickness contour map of No. 8 coal seam

3 结 语

基于钻孔煤层厚度数据,既可以通过数学计算合理内插外推实现对煤层厚度空间分布的预测,也可以结合煤厚的控制条件与研究区内的构造特征,实现一定程度上的构造预判。在进行煤厚预测与构

造预判工作中,要注意以下 2 点:①煤层缺失是蕴含重要的地质信息,对于缺失煤层厚度的钻孔,应认真甄别缺失原因,正确判别煤层厚度零值。② Surfer 软件可以快捷、有效地实现由点到面的煤层厚度预测,应用其分析煤层厚度零值点对煤层厚度等值线形态与不可开采薄煤层区的影响,一定程度上可对沉积缺失与断失加以区分,实现构造预判。

参考文献 (References) :

[1] 李晓军,胡金虎,朱合华,等.基于 Kriging 方法的煤层厚度估计及三维煤层建模[J].煤炭学报, 2008, 33(7):765-769.
Li Xiaojun, Hu Jinhu, Zhu Hehua, et al. The estimation of coal thickness based on Kriging technique and 3D coal seam modeling [J]. Journal of China Coal Society, 2008, 33(7):765-769.

[2] 刘和武,童柳华,严家平,等.地质构造对宿南矿区 7-2 煤层厚度变化的控制作用[J].煤田地质与勘探, 2016, 44(2):24-28.
Liu Hewu, Tong Liuhua, Yan Jiaping, et al. Controlling effect of geological structure on the thickness variation of 7-2 coal seam in Sunan mining area [J]. Coal Geology & Exploration, 2016, 44(2):24-28.

[3] 张艳伟,屠世浩,王 沉,等.基于趋势面分析的煤层厚度变化规律研究[J].西安科技大学学报, 2015, 35(1):21-27.
Zhang Yanwei, Tu Shihao, Wang Chen, et al. Research on coal seam thickness changing law based on trend surface analysis [J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2015, 35(1):21-27.

[4] 袁 峰,叶亮春,乔 会,等.基于地质统计学反演预测煤层厚度[J].中国煤炭地质, 2017, 29(2):65-69.
Yuan Feng, Ye Liangchun, Qiao Hui, et al. Coal thickness prediction based on geostatistical inversion [J]. Coal Geology of China, 2017, 29(2):65-69.

[5] 胡胜利,钱 旭,钟 峰.基于遗传算法和人工神经网络的煤层厚度预测[J].中国煤炭, 2010, 36(2):69-71, 76.
Hu Shengli, Qian Xu, Zhong Feng. Genetic algorithm and artificial neural network based coal seam thickness forecasting [J]. China Coal, 2010, 36(2):69-71, 76.

[6] 郝治国,常锁亮,张新民,等.谱分解技术在煤层厚度预测及沉积环境方面的应用[J].中国煤炭地质, 2014, 26(2):55-59.
Hao Zhiguo, Chang Suoliang, Zhang Xinmin, et al. Application of spectral decomposition technology in coal thickness prediction and sedimentary environment aspects [J]. Coal Geology of China, 2014, 26(2):55-59.

[7] 李 红,吕进英,王宏友.波阻抗约束反演技术预测煤层厚度[J].煤田地质与勘探, 2007, 35(1):74-77.
Li Hong, Lyu Jinying, Wang Hongyou. Exploration logging-constrained inversion technique predicting coal-thickness [J]. Coal Geology & Exploration, 2007, 35(1):74-77.

[8] 陈优阔,杨永国,张 鑫,等.基于粗糙集及最小二乘支持向量机的煤层厚度预测[J].地球物理学进展, 2015, 30(5):2136-2141.
Chen Youkuo, Yang Yongguo, Zhang Xin, et al. Forecasting of

(下转第 211 页)

- nology of eject spraying between hydraulic supports on fully-mechanized mining face [J]. Journal of Central South University: Natural Science Edition, 2015, 46(11): 4384-4390.
- [5] 聂文, 刘阳昊, 马骁, 等. 风流扰动支架架间高压喷雾降尘雾滴粒度实验[J]. 中国矿业大学学报, 2016, 45(4): 670-676.
- Nie Wen, Liu Yanghao, Ma Xiao, *et al.* Experiment on the size of airflow disturbing dust removal droplet produced by high-pressure spray between supports [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2016, 45(4): 670-676.
- [6] 周刚. 综放工作面喷雾降尘理论及工艺技术研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2009.
- [7] 周刚, 聂文, 程卫民, 等. 煤矿综放工作面高压雾化降尘对粉尘颗粒微观参数影响规律分析[J]. 煤炭学报, 2014, 39(10): 2053-2059.
- Zhou Gang, Nie Wen, Cheng Weimin, *et al.* Influence regulations analysis of high-pressure atomization dust-settling to dust particle's microscopic parameters in fully-mechanized caving coal face [J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(10): 2053-2059.
- [8] 周刚, 程卫民, 王刚, 等. 综放工作面粉尘场与雾滴场耦合关系的试验研究[J]. 煤炭学报, 2010, 35(10): 1660-1664.
- Zhou Gang, Cheng Weimin, Wang Gang, *et al.* Experiment research of the coupling relationship between dust field and droplet field about fully-mechanized and roof caving workplace [J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(10): 1660-1664.
- [9] 周刚, 张琦, 白若男. 大采高综采工作面风流-粉尘耦合运移规律 CFD 数值模拟[J]. 中国矿业大学学报, 2016, 45(4): 684-693.
- Zhou Gang, Zhang Qi, Bai Ruonan. CFD simulation of air-respirable dust coupling migration law at fully-mechanized mining face with large mining height [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2016, 45(4): 684-693.
- [10] 王洪胜, 谭聪, 蒋仲安, 等. 综放面多尘源粉尘分布规律数值模拟及实测[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2015, 47(8): 106-112.
- Wang Hongsheng, Tan Cong, Jiang Zhongan, *et al.* Numerical simulation and field measurement of dust distribution for multi-source dust at fully-mechanized caving face [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2015, 47(8): 106-112.
- [11] 姚锡文, 鹿广利, 许开立, 等. 基于 FLUENT 的大倾角综放面通风降尘系统[J]. 东北大学学报, 2014, 35(10): 1497-1501.
- Yao Xiwen, Lu Guangli, Xu Kaili, *et al.* Ventilation dust removal system in high inclination-angle fully-mechanized caving face based on FLUENT [J]. Journal of Northeastern University, 2014, 35(10): 1497-1501.
- [12] 杨俊磊. 扰动风流作用下组合式喷雾装置雾滴场空间分布特性试验研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2013.
- [13] 聂文, 程卫民, 周刚, 等. 掘进机外喷雾负压二次降尘装置的研制与应用[J]. 煤炭学报, 2014, 39(12): 2446-2452.
- Nie Wen, Cheng Weimin, Zhou Gang, *et al.* Research and application on external spray secondary dust falling device with negative pressure of roadheader [J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(12): 2446-2452.
- [14] William A S. Volume averaging for the analysis of turbulent spray flows [J]. International Journal of Multiphase Flow, 2005, 31(6): 675-705.
- [15] Cousin, J., Nuglich, J. Modeling of internal flow in high pressure swirl injectors [J]. SAE Transactions, 2001, 110(3): 806-814.
- [16] Han Fangwei, Wang Deming, Jiang Jiaxing, *et al.* Modeling the influence of forced ventilation on the dispersion of droplets ejected from roadheader-mounted external sprayer [J]. International Journal of Mining Science and Technology, 2014(1): 129-136.
- [17] 国家安全生产监督管理总局. 煤矿安全规程[M]. 北京: 中国法制出版社, 2016.
- [18] 国家安全生产监督管理总局. 煤矿作业场所职业病危害防治规定[EB/OL]. [2017-02-28]. http://www.chinasafety.gov.cn/newpage/Contents/Channel_20620/2015/0403/248384/content_248384.htm.

(上接第 237 页)

- coal thickness based on rough set and LS-SVM [J]. Progress in Geophysics, 2015, 30(5): 2136-2141.
- [9] 高荣斌, 贺志强, 来争武, 等. 豫西新安煤田煤层厚度变化规律及其控制因素[J]. 煤田地质与勘探, 2011, 39(4): 13-15, 19.
- Gao Rongbin, He Zhiqiang, Lai Zhengwu, *et al.* Variation of coal seam thickness and control factors in Xin'an coal field in western Henan [J]. Coal Geology & Exploration, 2011, 39(4): 13-15, 19.
- [10] 许进鹏, 宋扬, 邹银辉. 构造引起煤厚变化的数理特征及其评价预测方法[J]. 矿业安全与环保, 2005, 32(1): 6-7, 10.
- Xu Jinpeng, Song Yang, Zhou Yinhui. Mathematical feature of coal thickness change caused by geological structure and its evaluation and prediction method [J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2005, 32(1): 6-7, 10.
- [11] 刘和武. 宿南矿区 7 煤层厚度变化特征及其主要控制因素研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2016: 5-10.