

doi: 10.11731/j.issn.1673-493x.2019.02.014

基于偏序集的采空区煤自燃可能性评价模型*

陈金全^{1,2}, 王继仁^{1,2}, 岳立柱³

(1. 辽宁工程技术大学 安全科学与工程学院 辽宁 阜新 123000;

2. 矿山热动力灾害与防治教育部重点实验室 辽宁 阜新 123000;

3. 辽宁工程技术大学 公共管理与法学院 辽宁 阜新 123000)

摘要: 为了解决采空区煤自燃可能性评价方法中的赋权争议问题,基于偏序集理论,提出了偏序集评价模型。阐明评价指标并确定其等级划分准则,运用偏序集评价模型得到 Hasse 图,通过 Hasse 图展现的层集信息判别采空区煤自燃的危险程度。利用该模型对某煤矿 17 个煤样的自燃情况进行了判别,评价结果准确合理。研究表明:该模型避免了以往研究中的赋权争议问题,克服了样本量不足致使模型无法应用的问题,其评价结果置信度高。

关键词: 采空区;煤自燃;偏序集;Hasse 图;评价

中图分类号: X932 文献标志码: A 文章编号: 1673-193X(2019)-02-0089-05

Evaluation model on possibility of coal spontaneous combustion in goaf based on partially ordered set

CHEN Jinquan^{1,2}, WANG Jiren^{1,2}, YUE Lizhu³

(1. School of Safety Science and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin Liaoning 123000, China;

2. Key Laboratory of Mine Thermodynamic Disasters and Control of Ministry of Education, Fuxin Liaoning 123000, China;

3. School of Public Administration and Law, Liaoning Technical University, Fuxin Liaoning 123000, China)

Abstract: In order to solve the problem of weighting dispute in the evaluation method on the possibility of coal spontaneous combustion in goaf, an evaluation model with partial ordered set was proposed based on the theory of partial ordered set. The evaluation indexes and the grade division criteria were clarified, then the Hasse diagram was obtained by using the evaluation model with partial ordered set, and the risk level of coal spontaneous combustion in goaf was judged through the layer set information displayed in the Hasse diagram. The spontaneous combustion situation of 17 coal samples in a coal mine were judged by using the model, and the evaluation results were accurate and reasonable. It showed that the model avoided the weighting dispute in the previous research, overcame the problem that the model can't be applied due to the insufficient sample amount, and the evaluation results had a high confidence.

Key words: goaf; coal spontaneous combustion; partially ordered set; Hasse diagram; evaluation

0 引言

截至 2017 年底,我国煤矿总数达到 7 000 多处^[1]。只要有工作面开采就有采空区存在,全国煤矿存在着数以万计的采空区。在国有重点煤矿中,存在煤炭自燃的矿井占矿井总数的 56%,煤炭自燃引起的火灾占矿井火灾总数的 90%~94%^[2-3]。若不合理控制,将引发大量的矿井事故,如瓦斯爆炸、粉尘爆炸等重大灾害。例如,

2013 年,吉林八宝煤矿由于采空区漏风,导致煤炭自然发火引发重大瓦斯爆炸事故,造成 36 人遇难,12 人受伤,直接经济损失 4 708.9 万元。事故灾害的发生充分揭示了煤自燃可能性评价的重要性。

近年来,国内很多学者已经在煤炭自燃危险性评价领域进行了深入研究。这些成果的特征之一是体现出了方法的多样性,主要体现在 5 个方面:1) 应用可拓学理论建立评价模型。谭波等^[4]基于可拓理论建立了煤

收稿日期: 2018-11-25

* 基金项目: 国家自然科学基金项目(51574143)

作者简介: 陈金全, 硕士研究生, 主要研究方向为矿井火灾防治。

自燃危险性熵权和经验权的物元综合分析模型,通过对低温氧化实验数据的分析,评定煤样的自燃危险等级并提出合理的应对措施;王金宝等^[5]运用熵权理论确定权重,结合可拓理论建立了熵权可拓综合评价模型,将该模型应用到某煤矿,检验其准确程度。2) 应用属性数学理论。孙政等^[6]基于属性数学理论,建立属性识别法,利用属性测度函数计算属性测度值,按置信度准则确定样本级别属性。3) 应用集对分析理论。王明重等^[7]将层次分析法与集对分析理论相结合并根据实际情况的扩展构建基于确定不确定信息的分析模型,并检验其可信度。4) 模糊综合评价方法。谢振华等^[8]运用模糊综合评判法,对影响煤炭自燃的因素进行了分析并做出合理预测。5) 支持向量机方法。高原等^[9]运用支持向量机预测技术对采空区煤炭样本进行归类,并进行了探索性研究。

以上几种常用的方法可以分为 2 大类,即等级贴近度模式和样本自分类模式。方法 1) ~ 4) 属于等级贴近度模式,即凭借专家经验给出危险等级,基于不同的理论进行等级归类。该模式能够充分发挥专家的经验,但较为主观,其缺乏一般性,忽视了数据本身蕴含的信息。此外,所选择的赋权方法存在误区和争议。方法 5) 属于样本自分类模式,即以样本混杂区边界为界限划分危险等级,其适用性较强,但较为客观,缺乏独特性,忽略了专家经验,使评价结果缺乏可信度,同时对样本量的依赖性较强,样本量不足会致使支持向量机方法无法应用。综合考虑以上 2 种模式的优缺点,采用偏序集理论对采空区煤炭自燃可能性进行评价研究,解决赋权争议问题的同时还兼顾了主客观问题。这对于准确判别煤炭自燃灾害能否发生具有重要意义,为灾害事前的预防控制提供了新思路。

1 采空区煤自燃可能性评价指标

评价结果是否准确很大程度上取决于评价指标的选取是否科学、合理。不同的学者运用各自的理论方法,选择不同的评价指标对采空区煤炭自燃危险性展开评价。王金宝等^[5]、孙政等^[6]、高原等^[9]选择距工作面距离、氧气浓度、推进度、漏风强度和浮煤厚度等作为评价指标;王明重等^[7]主要从煤的自燃倾向性、漏风供氧条件、聚散热条件、安全管理条件等方面构建评价指标体系;谢振华等^[8]认为影响煤自燃的因素有煤氧化放热性能、供氧条件、蓄散热环境;邓军等^[10]考虑煤自燃属性、煤层地质结构、开采条件、防灭火技术条件等方面确定评价指标体系;郝朝瑜等^[11]主要从自燃属性、采掘技术、通风管理、地质赋存等方面确定评价指标体系。以

上研究从不同角度建立了评价指标体系,但无论从哪个角度研究煤自燃问题都必须同时满足 4 个条件^[12]:煤具有自燃倾向性且呈破碎状态堆积;有连续的通风供氧条件;热量易于积聚;持续一定的时间。否则,遗煤不会发生自燃。

判断正在开采的综放工作面采空区内遗煤自燃危险性的最基本指标有 5 项:1) 浮煤是煤炭自燃的一个物质基础。采空区的煤受压破碎后,能够充分与氧气接触发生缓慢氧化反应,当浮煤堆积至一定的厚度时,致使氧化产生的热量大于散发的热量,就会引起煤自燃。2) 氧气是煤缓慢氧化发生自燃并能持续燃烧的必要条件。氧气浓度的大小直接决定煤自燃情况。3) 氧气浓度是伴随距工作面距离的增加而线性减小的。依据采空区煤自燃“三带”划分理论可知,煤自燃的状态是随着距工作面距离的变化而动态变化的。4) 采空区漏风强度也会直接影响采空区内氧浓度的分布。采空区内的漏风为浮煤自燃提供了供氧条件而且煤体的散热情况取决于漏风风速的大小,当煤氧化产生的热量大于散失热量时,热量才有可能积聚,煤自燃过程才能发展下去,最终引起自燃。5) 工作面推进度是影响采空区煤自燃的关键因素,随着工作面的推进,漏风强度、氧气浓度等都会动态变化。煤自燃几乎都是发生在自燃带内,推进速度快可以使自燃氧化带停滞在某一位置的时间变短,那么充分供氧时间和遗煤氧化时间自然也会变短,热量蓄积较少,煤发生自燃的可能性较低。

文虎^[13]针对综放工作面采空区建立了动态数学模型,模拟了采空区浮煤自燃升温过程,得出结论:浮煤自燃主要取决于浮煤厚度、氧气浓度、漏风强度、工作面推进速度和自然发火期 5 个参量。邓军等^[14]已经通过预测模型对煤层自然发火期进行了研究,但数值模拟的过程计算量非常大而且还涉及渗流、扩散、化学反应和传热等诸多因素,实际生产中应用起来比较困难。

综上所述,本文以最基本的 5 项指标展开自燃危险性评价,即浮煤厚度、氧气浓度、距工作面距离、漏风强度和工作面推进度。对于不同情况的其他煤层,需在此基础上进行调整与改进。

2 采空区煤自燃可能性的偏序集评价模型

2.1 偏序集理论与评价方法

偏序集定义为^[15]:设 \leq 是非空集合 A 上的 1 个二元关系,若 \leq 满足:自反性、反对称性、传递性,则称 \leq 为 A 上的偏序关系。集合 A 和其上的偏序关系 \leq 一起称为偏序集,记为 (A, \leq) 。

对于含有 m 个方案 n 个指标的决策问题,岳立柱

等^[16]给出了1种简捷的隐式赋权方式,即在各指标的权重秩次满足 $\omega_{11} > \omega_{12} > \dots > \omega_{1n}$ 的条件下,用矩阵形式表示蕴含权重信息的方案决策问题:

$$D = (d_{ij})_{m \times n} = X \cdot E = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{11} + x_{12} & \dots & x_{11} + x_{12} + \dots + x_{1n} \\ x_{21} & x_{21} + x_{22} & \dots & x_{21} + x_{22} + \dots + x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m1} + x_{m2} & \dots & x_{m1} + x_{m2} + \dots + x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: X 为评价矩阵; $E = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ 0 & 1 & \dots & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}$ 。

若矩阵 D 中的第 i 行大于或等于第 j 行,则第 i 个方案优于或等于第 j 个方案,于是构造了1种蕴涵权重信息的偏序关系。该偏序关系不仅能够对方案进行排序,更能对方案的结构关系进行分析。在累加变换矩阵的基础上,经过逐行比较,得到比较关系矩阵。所谓比较关系矩阵就是图论中的有向可达矩阵,即给定偏序集 (A, \leq) ,对于 $\forall a_i, a_j \in A$,若 $a_j \leq a_i$,记 $r_{ij} = 1$;若 $a_i \leq a_j$ 或者 a_i 与 a_j 不可比,记 $r_{ij} = 0$ 称 $R = (r_{ij})_{m \times m}$ 为 (A, \leq) 的比较关系矩阵。

偏序集理论的评价结果可以通过 Hasse 图清晰地展现出各评价样本的排序位置,能够使决策者直观准确地把握综合排序的分层和聚类情况。由比较关系矩阵得到 Hasse 矩阵,再由 Hasse 矩阵绘制 Hasse 图。Hasse 图是研究偏序集理论的强有力工具,表示有限偏序集的一种数学图表。通过图形能够充分展示方案间的传递关系、结构关系。范懿^[17]给出了比较关系矩阵和 Hasse 矩阵之间的转换公式:

$$H_R = (R - I) - (R - I) * (R - I) \quad (2)$$

式中: R 为关系矩阵; H_R 为 Hasse 矩阵; I 为单位矩阵; $*$ 为布尔运算。

2.2 评价步骤

- 1) 确定指标集;
- 2) 确定评价指标分级标准;
- 3) 指标数据无量纲化处理;
- 4) 获取指标权重排序信息;
- 5) 通过计算得出 Hasse 矩阵;
- 6) 绘制 Hasse 图,对方案进行分层、聚类;
- 7) 结果分析。

3 应用实例

文献[9]中工作面开采的是属于侏罗纪的特厚煤层,煤层的平均厚度为7.9 m,采用综合机械化放顶煤开

采技术,机采高度为2.9 m,其他部分进行放顶。该工作面采用放顶煤开采的采出率不高,这就导致有大量的顶煤被遗留在采空区,埋下了安全隐患。煤层自然发火期6~12个月,试验最短自然发火期为98 d。工作面采用“三进一回”的方式通风,工作面进风巷风量为610 m³/min,2条中巷风量为130和129 m³/min,回风巷风量为860 m³/min。

3.1 煤自燃评价指标分级标准

煤自燃评价指标的危险性分级没有统一标准,不同煤层的赋存情况、开采情况、安全管理情况等因素都存在差异。针对不同煤层,其评价指标会随着具体情况的变化而改变,那么评价指标的权重大小和危险性等级划分区间自然也是不同的。

本文利用文献[9]中实例的部分数据来验证偏序集评价模型的可行性。文献[5-6]的实例数据都是源自文献[9],因此,引用文献[5-6]中的等级划分标准,将煤的自燃危险等级划分为极易自燃、易自燃和安全3个危险等级,具体见表1。

表1 煤自燃评价指标及分级

Table 1 Evaluation index and classification of coal spontaneous combustion

评价指标	采空区煤炭自燃危险性等级		
	极易自燃	易自燃	安全
距工作面距离/m	[4, 50]	(50, 80]	(80, 100]
氧气浓度/%	(18, 21]	(10, 18]	[1, 10]
工作面推进度/m	[0, 0.5]	(0.5, 1.5]	(1.5, 3]
漏风强度 /(m ³ ·s ⁻¹ ·m ⁻²)	[2, 3]	(3, 4]	(4, 27]
浮煤厚度/m	[0.02, 0.03]	(0.03, 0.04]	(0.04, 0.07]

3.2 数据处理

从文献[9]中获取了煤样的原始数据,见表2。其中有些是正向指标,即数值越大越安全;有些是反向指标,即数值越小越安全。指标集中氧气浓度是反向指标,因此氧气浓度数据需要应用公式 $a_{ij} = 1/a_{ij}$ 逆向处理。为了排除各个指标数据之间单位不同的影响,需要对同趋势化后的指标数据利用规范化公式 $x_{ij} = (a_{ij} - a_{\min}) / (a_{\max} - a_{\min})$ 进行归一化处理。

3.3 指标权重排序

各项评价指标的权重秩序直接影响评价结果的准确性,本文通过查阅文献[5]得知指标的重要性排序,见表3。将指标数据按照权重的秩序依次排序,然后通过公式(1)得到蕴含权重的累加指标数据。

表 2 原始数据
Table 2 Initial data

编号	距工作面 距离/m	氧气浓 度/%	推进 度/m	漏风强度/ ($m^3 \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$)	浮煤厚 度/m
1	80.35	9.98	2.10	12.00	0.034
2	90.20	4.60	1.00	9.00	0.032
3	58.00	6.92	0.00	2.41	0.039
4	62.00	3.70	0.00	2.49	0.038
5	61.00	9.20	1.21	2.25	0.022
6	58.00	13.69	0.70	2.11	0.021
7	4.72	19.34	0.40	2.80	0.031
8	4.71	18.23	0.30	2.70	0.032
9	61.00	4.49	0.30	3.45	0.045
10	63.00	2.95	0.20	3.78	0.046
11	91.65	6.77	2.10	5.60	0.033
12	94.75	5.87	1.60	4.20	0.032
13	51.10	3.59	1.20	3.18	0.039
14	55.00	9.13	0.80	3.11	0.041
15	35.40	4.00	0.00	4.20	0.022
16	4.72	11.43	0.00	3.10	0.025
17	58.00	6.92	0.00	3.80	0.021
18	27.00	19.50	0.25	2.50	0.025
19	65.00	14.00	1.00	3.50	0.035
20	90.00	5.50	2.25	15.50	0.055

表 3 权重排序
Table 3 Weight sorting

准则	距工作 面距离	氧气 浓度	工作面 推进度	漏风 强度	浮煤 厚度
准则权重	0.183	0.465	0.186	0.159	0.007
权重排序	3	1	2	4	5

3.4 Hasse 矩阵

对累加变换矩阵行向量进行比较,若第 i 行大于等于第 j 行,则 $r_{ij} = 1$, 否则 $r_{ij} = 0$, 得到累加指标数据的比较关系矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times m}$ 。根据公式(2) 给出的比较关系矩阵 R 和 Hasse 矩阵的矩阵变换方式,得到 Hasse 矩阵。

3.5 Hasse 图

通过 Hasse 矩阵可绘制 Hasse 图,见图 1。通过 Hasse 图能够直观的体现出各个煤样间的聚类信息,更方便对比分析。

3.6 结果分析

基于图 1,可以直观地把握各样本间的分层和聚类信息,即将 20 个样本划分成 5 个层集,分别为:

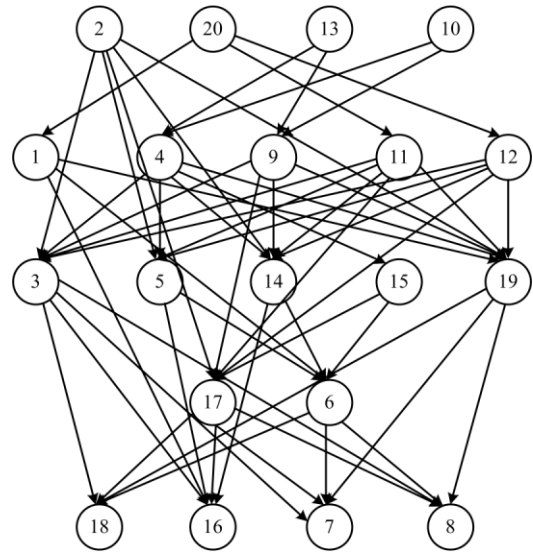


图 1 Hasse 图

Fig. 1 Hasse diagram

第一层集: 2, 10, 13, 20;

第二层集: 1, 4, 9, 11, 12;

第三层集: 3, 5, 14, 15, 19;

第四层集: 6, 17;

第五层集: 7, 8, 16, 18。

具体表述为:在 20 个样本中,18,19 和 20 是按照原等级标准人为构造的虚拟样本,分别代表极易自燃、易自燃和安全 3 种危险等级。根据图 1 可知,样本 2,10 和 13 与虚拟样本 20 处于同一层集,表明 3 个样本的自燃危险等级与虚拟样本 20 的等级相同,即为安全;同理可以判断出,处于第三层集的研究样本 3,5,14 和 15 的自燃危险等级为易自燃;而处于第五层集的研究样本 7,8 和 16 的自燃危险等级为极易自燃。

另外,偏序集理论具有上集研究案例优于下集研究案例的特点,且具有传递性,因此,根据图 1 可以推断出,处于第二层集的研究样本 1,4,9,11 和 12 的自燃危险程度应该介于安全和易自燃之间,本研究将其危险等级定义为较安全;同理可以得出,研究样本 6 和 17 的自燃危险程度介于易自燃和极易自燃之间,将其定义为很易自燃。

基于与以往研究对比分析发现,在运用支持向量机等研究方法所得出的预测结果中,样本 4,9 和 15 为极易自燃,样本 10 和 13 为易自燃,但样本 4,9,10,13 和 15 处位置的氧气浓度分别为 3.7%、4.49%、2.95%、3.59% 和 4%,其所处区域由于缺氧,煤氧化自燃过程将无法进行。因为样本 15 距工作面距离较近,随时会有氧气浓度升高的可能性,因此其具有一定的隐患。对比发现以往研究结果中还存在些许弊病。而在本研究中,通过 Hasse 图的呈现结果发现,样本 10 和 13 被准确地

归类于第一层集,自燃危险等级为安全;样本4和9被归类于第二层集,危险等级为较安全;样本15被归类于第三层集,危险等级为易自燃。评价结果符合现实情况,充分显示了本研究的准确性以及偏序集综合评价方法的优越性。此外,与以往许多将自燃危险等级定为三级的研究相比,本研究的分级结果更加精细,这将有利于决策者针对采空区内不同位置的实际情况制定相应的防治措施,研究具有理论与应用价值。

4 结论

1) 偏序集评价方法解决了以往自燃危险性评价中的赋权争议问题,只需通过获取指标权重顺序信息即可进行案例排序,具有很好的鲁棒性。本研究较为合理地将自燃危险等级划分为安全、较安全、易自燃、很易自燃和极易自燃5个等级,其符合现实情况,具有合理性,为以后的采空区煤炭自燃危险等级评价提供了理论与研究手段。

2) 基于本研究的分析结果,利用偏序集评价方法较为精准地将某采空区内不同位置的自燃危险程度进行分层聚类,这将有利于负责矿井安全的相关部门准确判别采空区煤炭自燃可能性,并及时采取相应的防火措施,从而有效地预防自燃灾害的发生,实现安全高效生产。

参考文献

- [1] 别凡. 2017 煤炭结构优化回暖明显 [N]. 中国能源报, 2018-01-01 (006).
- [2] 王德明, 李增华, 秦波涛, 等. 一种防治矿井火灾的绿色环保新材料的研制 [J]. 中国矿业大学学报, 2004(2): 81-84.
WANG Deming, LI Zenghua, QIN Botao, et al. Development of a new green environmental protection material for mine fire prevention [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2004(2): 81-84.
- [3] 李学诚. 中国煤矿安全大全 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1998.
- [4] 谭波, 左东方. 基于物元模型的煤自燃危险性分析 [J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(8): 48-53.
TAN Bo, ZUO Dongfang. Coal spontaneous combustion hazard analysis based on matter-element model [J]. China Safety Science Journal, 2011, 21(8): 48-53.
- [5] 王金宝, 侯金玲, 张浪, 等. 采空区遗煤自燃危险性评价的熵权可拓方法 [J]. 矿业安全与环保, 2015, 42(2): 43-48.
WANG Jinbao, HOU Jinling, ZHANG Lang, et al. Entropy weight extension method for risk assessment of spontaneous combustion of coal in goaf [J]. Mining Industrial Safety and Environmental Protection, 2015, 42(2): 43-48.
- [6] 孙政, 文畅平, 白银涌, 等. 基于属性数学理论的采空区煤自燃危险性评价 [J/OL]. 解放军理工大学学报(自然科学版): 1-5 [2018-05-16]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1430.N.20170417.1543.002.html>.
- [7] 王明重, 刘泽功, 张箫剑, 等. 基于 AHP 和扩展集对理论的采空区遗煤自燃危险性评价研究 [J]. 中国安全生产科学技术, 2014, 10(8): 182-188.
WANG Mingchong, LIU Zegong, ZHANG Xiaojian, et al. Study on risk evaluation of coal spontaneous combustion in goaf based on ahp and extended set pair theory [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2014, 10(8): 182-188.
- [8] 谢振华, 金龙哲, 任宝宏. 模糊综合评判法在煤炭自燃预测中的应用 [J]. 工业安全与环保, 2002(6): 33-35.
XIE Zhenhua, JIN Longzhe, REN Baohong. Application of fuzzy comprehensive evaluation method in coal spontaneous combustion prediction [J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2002(6): 33-35.
- [9] 高原, 覃木广, 李明建. 基于支持向量机的采空区遗煤自燃预测分析 [J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(2): 50-54.
GAO Yuan, QIN Muguang, LI Mingjian. Prediction and analysis of coal spontaneous combustion in goaf based on support vector machine [J]. Coal Science and Technology, 2010, 38(2): 50-54.
- [10] 邓军, 杨一帆, 翟小伟. 基于层次分析法的矿井煤自燃危险性模糊评价 [J]. 中国安全生产科学技术, 2014, 10(4): 120-125.
DENG Jun, YANG Yifan, ZHAI Xiaowei. Fuzzy evaluation of coal spontaneous combustion hazard based on analytic hierarchy process [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2014, 10(4): 120-125.
- [11] 郝朝瑜, 陈艳玲, 王继仁, 等. 北方典型矿井煤自燃危险性对比研究 [J]. 中国安全科学学报, 2016, 26(12): 58-63.
HAO Chaoyu, CHEN Yanling, WANG Jiren, et al. A comparative study on the risk of coal spontaneous combustion in typical coal mines in north china [J]. China Safety Science Journal, 2016, 26(12): 58-63.
- [12] 王省身, 张国枢. 矿井火灾防治 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1990.
- [13] 文虎. 综放工作面采空区煤自燃过程的动态数值模拟 [J]. 煤炭学报, 2002(1): 54-58.
WEN Hu. Dynamic numeric simulation of coal self-ignite in goaf in fully mechanized caving face [J]. Journal of China Coal Society, 2002(1): 54-58.
- [14] 邓军, 徐精彩, 文虎, 等. 综放采煤法中沿空巷道煤层自然发火预测模型研究 [J]. 煤炭学报, 2001(1): 62-66.
DENG Jun, XU Jingcai, WEN Hu, et al. Study of the prediction model of coal spontaneous combustion in the gate close to gob of fully mechanized longwall top-coal caving face [J]. Journal of China Coal Society, 2001(1): 62-66.
- [15] 杜康. 偏序集分拆函数的计算及其算术性质 [D]. 天津: 南开大学, 2013: 1-5.
- [16] 岳立柱, 李良琼. 应用偏序集表示权重难以获知的 TOPSIS 模型 [J]. 模糊系统与数学, 2017(4): 167-174.
YUE Lizhu, LI Liangqiong. Using poset to express topsis model when weights are difficult to obtain [J]. Fuzzy Systems and Mathematics, 2017(4): 167-174.
- [17] 范懿. 一个有关哈斯图的解析方法 [J]. 上海第二工业大学学报, 2003, 1(1): 17-22.
FAN Yi. An analytic method about hassechart [J]. Journal of Shanghai Second Polytechnic University, 2003, 1(1): 17-22.

(责任编辑: 靳晓颖)