

文章编号: 0253-9993(2009)05-0678-05

蚁群聚类算法在煤矿安全评价 人因事故分析中的应用

马小平, 金 珠

(中国矿业大学 信息与电气工程学院, 江苏 徐州 221116)

摘 要: 详细分析了煤矿安全人因事故中的主导因素, 应用蚁群聚类算法从职工素质、组织管理、心理及生理因素和工作环境4个方面进行聚类分析, 建立了对煤矿生产中影响较大的人因事故主导因素分类模式, 仿真实验表明, 管理因素是煤矿人因事故中的关键因素, 并有针对性地给出相应防范措施。

关键词: 蚁群聚类算法; 煤矿安全; 人因事故

中图分类号: X913

文献标识码: A

Application of ant colony clustering algorithm in analysis of man-made accidents on mine safety assessment

MA Xiao-ping, JIN Zhu

(School of Information and Electrical Engineering, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: The primary man-made causes, which lead to accidents in coal mine safety, were elaborated. Ant colony clustering algorithm was employed to cluster those vital man-made factors, according to four aspects: workers' qualities, management and supervision, physiology and psychology, as well as environment. A classifiable model of crucial man-made accidents which had great influences during the coal mining production was built. Experimental results demonstrate that management factors are the key ones, causing man-made accidents in coal mining. Corresponding measures were set down.

Key words: ant colony clustering algorithm; coal mine safety; man-made accidents

据统计, 煤矿生产中由于人的失误而直接或间接造成的事故占总事故的70%~90%^[1], 可见, 煤矿安全生产在很大程度上取决于人为因素^[2-3]。本文详细分析了煤矿安全中人因失误的主导因素, 并应用蚁群聚类算法进行聚类分析, 从而得出对煤矿安全生产影响较大的人因事故分类模式, 以便有针对性的采取防范措施, 减少人因事故发生的可能性, 保障煤矿生产安全。

1 人因事故及其特点

关于人因事故(人因失误)的定义目前在国内外还没有一致的解釋, 不同学者从不同角度形成了不同的定义。金磊从人自身素质和行为目的角度定义人因事故或人为灾害是由人类的各種活动所引发的事故灾害, 是人们在生活和生产活动中由于知识局限、经验缺乏, 或因局部、短期利益而造成的人为失误所引

收稿日期: 2008-05-29 责任编辑: 毕永华

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60775044)

作者简介: 马小平(1961—), 男, 四川绵阳人, 教授, 博士生导师。Tel: 0516-83590898, E-mail: xpm@cumt.edu.cn

发的灾害事故^[4]。冯述虎从系统可靠性角度定义人因故障: 系统中主体人对客体的控制、监视、操作、改造过程中, 没有达到预期的功能, 而使系统发生故障或停止运行的行为^[5]。可见, 人因事故既包括人有意和无意导致的失误, 也包括由于人自身素质及环境限制超越人能力而造成的事故, 以及外部条件引起人的行为偏差。尽管不同学者对人因事故的定义不同, 但都体现出一些共同特征^[6]: 潜在性、可修复性、频繁性、复杂性等。

2 煤矿安全中人因事故主导因素分析

煤矿生产环境复杂, 煤矿安全人因事故常常也是错综复杂, 根据人因事故起因和作用范围不同, 本文从职工素质、组织管理、心理及生理因素和工作环境 4 个方面对其主导因素进行划分, 结构如图 1 所示。

心理及生理因素。煤矿环境复杂多变, 矿工作业时间长, 劳动量大, 我国国有煤矿从业人员每天工作时间大都在 10 ~ 14 h 之间^[7], 长时间井下作业对矿工体力消耗较大, 导致矿工极易疲劳, 注意力难以集中, 情绪低落, 脾气急躁, 易导致事故发生;

同时, 每个人的心理性格特征和年龄性别也不尽相同, 有些人做事稳重些, 有些人可能浮躁些, 急于求成; 有些人工作时间长, 经验丰富, 有些人刚参加工作, 经验不足, 这都会影响其工作效率和安全; 此外, 煤矿从业人员生活在复杂的社会环境之中, 社会人际关系不良、家庭矛盾或各种生活琐事等都会对其产生复杂的心理作用, 工作中掺杂这些心理问题和各种杂念极易出现分心或反应迟钝等情况, 从而引发事故。

组织管理因素。煤矿安全中的组织管理因素体现在: 煤矿各部门权责不分, 制度不完善, 规范不健全; 管理人员安全意识淡薄, 自身素质低下, 不重视安全文化教育, 不按规范指挥生产, 冒险蛮干, 重效益轻安全, 违章指挥等; 一些地方片面强调经济发展, 政策导向注重经济而忽视安全生产; 劳动保障、利益分配机制不健全, 一线职工的劳动报酬往往是以其按时完成的产量来度量, 使得职工为了自己的经济利益忽视安全而采用一些冒险的做法完成当班任务。

矿工素质及教育。由于煤矿行业工作相对危险, 环境相当艰苦, 其主要从业人员受教育程度相对较低, 缺乏安全培训和科学文化知识, 安全生产意识薄弱, 缺乏工作责任心和政治责任感, 组织纪律观念淡薄, 专业技能较低, 这都导致煤炭生产人因事故频发。

设备环境因素。煤矿生产环境复杂, 粉尘多, 温度高, 湿度大, 易涌出瓦斯, 工人在高温、强噪声、照明不足等恶劣环境因素影响下, 心理和生理健康都极易受到影响。有些井下设备设计未考虑人机工程学, 矿工持续长时间操作易发生疲劳, 导致效率下降; 一些煤矿生产设备陈旧, 磨损严重, 稳定性差, 工伤事故明显增多; 有些矿井瓦斯监控体系不完善, 排风抽风系统设计不合理, 这都易使矿工处于较危险的生产系统状态。

煤矿生产是一种动态系统^[4], 各种人因事故往往不是单独发生, 而与人本身因素、井下环境条件、机械设备交织在一起, 相互影响相互作用。同时, 由于煤炭行业自身的特殊性, 各地区各煤矿开拓方式、采煤方式和管理模式不尽相同, 煤炭行业中安全系统工程基础比较薄弱^[8], 对各种事故概率难以精确统

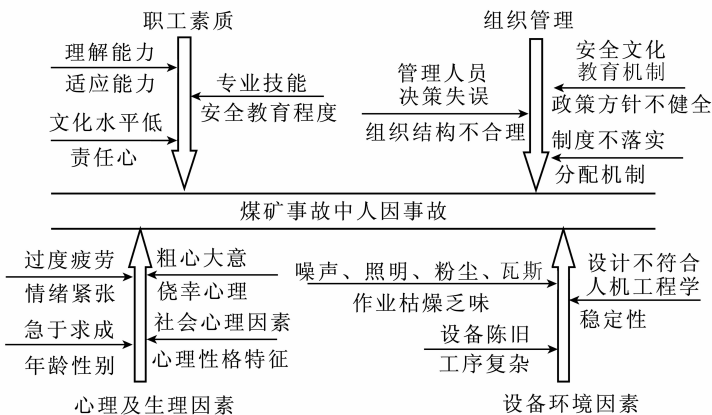


图 1 煤矿生产人因事故主导因素结构

Fig. 1 Structure of leading factors in man-made accidents during coal mine production

计, 人因事故起因及作用范围分析研究不完善, 这些因素导致依靠传统安全系统工程方法 (如安全检查表 SCL、事故树分析 FTA、层次分析法 AHP 等) 评价人因事故有一定的局限性; 而利用传统聚类方法 (K -均值、自组织聚类算法等) 按特定准则对人因事故主导因素进行分析时, 一般采用指定聚类和修改聚类中心 2 个阶段反复循环, 通常还要在算法开始时指定初始聚类中心个数, 计算量大且算法复杂. 与传统聚类方法相比, 基于群体智能的蚁群聚类算法本质上属于并行算法, 效率和准确率更高, 数据更容易可视化处理, 最令人感兴趣的是聚类个数从数据中自动产生, 不像传统聚类方法中先设定类别个数再由数据去适应它^[9], 能够更全面反映数据对象的内部联系, 因而能够更好地对数据进行聚类分析. 数据对象在空间的分布状态将影响聚类结果^[10].

3 蚁群聚类算法在煤矿安全评价人因事故分析中的应用

3.1 蚁群聚类算法的基本思想

Deneubourg 等人最早对蚁群聚类算法展开研究^[11], 提出了蚁群聚类算法的基本模型. 根据原理不同, 基于蚁群算法的聚类方法可以分为两类^[12]: 基于蚁堆形成原理的数据聚类分析和基于信息素的数据聚类分析. 本文采用效率较高的基于蚁堆形成原理的蚁群聚类算法建立应用模型, 假设所有 N 个数据对象都可以映射到一个与数据集成比例伸缩的二维 $M \times V$ 网络空间 XOY ^[10], 将每一对象随机分布于网格中, 第 n 个数据对象坐标为 $a_{ij}^{(n)}$ ($0 \leq i \leq m-1$, $0 \leq j \leq v-1$), 网格中任 2 个元素间的距离定义为其加权欧氏距离, 即

$$d(a_{ij}, a_{kl}) = \sqrt{\sum_{b=0}^{m-1} p(a_{ij} - a_{kl})^2}. \quad (1)$$

p 为属性的权重系数; m 为属性个数. 如果 a_{ij} 和 a_{kl} 相似, 则它们是同一类对象, 此时 $\lim d(a_{ij}, a_{kl}) = 0$; 反之亦然. 蚁群在聚类过程中, 一定范围内数据对象的群体相似度^[9]为

$$f(a_i) = \begin{cases} \sum_{a_j \in \text{Nei}(r)} \left\{ 1 - \frac{d(a_i, a_j)}{\alpha[1 + (v-1)/v_{\max}]} \right\} & (f > 0), \\ 0 & (\text{其它}). \end{cases} \quad (2)$$

其中, $\text{Nei}(r)$ 为局部邻域的面积, 可以取值为正方形区域或半径为 r 的圆域; α 为群体相似度因子, 通过设置不同的 α 能够决定聚类中心的规模; v 为蚂蚁的运动速度; $v_{\max}$ 为已知蚂蚁中的最大速度, 蚂蚁运动速度影响聚类速度和精度^[13]. 蚂蚁在沿网格单元移动过程中, 随机选择数据对象并计算该对象在局部区域内的群体相似度, 如果群体相似度较高, 则局部区域内的数据越相似, 此时蚂蚁“拾起”的概率较小, “放下”概率较高, 反之亦然. 概率转换函数依据数据对象的群体相似度计算其被“拾起”或“放下”的概率, 选择对称式 Sigmoid 函数^[14]: $\text{Sigmoid}(x) = (1 - e^{-cx}) / (1 + e^{-cx})$. Sigmoid 函数为自然指数形式, 且运算中的调整参数只有一个, 参数 c 越大, 曲线饱和越快, 算法收敛速度越快, 反之亦然.

3.2 算法框架描述

(1) 初始化. 设定最大迭代次数 $\text{Max_ Iterative_ Number}$, 蚂蚁个数 Ants_ Number , 局部圆域半径 r , n , ε_0 , α , c , P_0 等参数.

(2) 将待聚类对象随机分散于二维平面上, 按式 (1) 计算各个数据对象 i 与 j 之间加权欧氏距离, 每只蚂蚁随机指派一个初始对象, 并初始化为有负载.

(3) 迭代过程. 对所有蚂蚁, 按式 (2) 计算以当前蚂蚁 $\text{Ant}[i]$ 所处坐标为中心, r 为聚类半径, 计算当前蚂蚁对应数据对象 a_i 在聚类半径范围内的群体相似度, 生成随机数 $0 < p_r < 1$. 如果当前蚂蚁没有负载, 计算“拾起”的概率 $P_p = 1 - \text{Sigmoid}(f(a_i))$. 若 $P_p > p_r$ 并且 a_i 未被其它蚂蚁“拾起”, 则拾起 a_i 并标记为有负载; 如果当前蚂蚁有负载, 则计算“放下”概率 $P_d = \text{Sigmoid}(f(a_i))$; 若 $P_d > p_r$ 则放下 a_i , 标记为无负载.

(4) 每次迭代后, 根据 $\bar{C} = (\sum_{k=1}^J X_k)/J$ 计算该类聚类中心, 根据 $D_i = \sum_{k=1}^J \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ki} - c_{ji})^2}$ 计算第 J

个聚类的偏离误差, 计算总体误差 $\varepsilon = \sum_{j=1}^k D_j$, 判断 $\varepsilon \leq \varepsilon_0$, 若成立, 则停止, 输出聚类个数 k 和聚类中心 $\bar{C}_j$; 若不成立, 继续迭代。

3.3 实验仿真与分析

选取安全管理人员素质及安全意识、安全文化教育机制、组织管理制度等 11 个属性绘制聚类分析表 (表 1), 由专家打分, 选取 200 个样本聚类分析表组成原始数据集进行聚类。表中评分标准为属性对人因事故的作用程度, 分为 10 个等级: {决定性作用 9、极端影响 8、强烈作用 7、较强作用 6、稍重要作用 5、一般作用 4、弱影响 3、较弱作用 2、很微弱作用 1、无任何作用 0}。实验网格密度为 100×100 , $\alpha = 5.5$, 圆域半径 $r = 15$, Sig-moid 函数中 $c = 3$, 蚂蚁速度 v 定常, 最大迭代次数为 1 000, 蚂蚁个数 50, $p_r = 0.8$ 。

将待聚类的数据对象随机分散于二维平面上, 即给每个数据对象随机指定一个初始坐标 (x_0, y_0) , 每个数据对象有 11 属性, 然后按上节所述过程进行聚类, 聚类后得到 4 个主要人因事故分类模式, 计算聚类中心 $\bar{C}_j$ 在每个属性维度的分量值并取整, 将其映射到影响作用的 10 个等级, 提取每个聚类中心影响大于一般作用的属性分量为特征分量, 得到各模式特征见表 2。

最终聚类结果如图 2 所示, 图中 4 个聚集的点集合为得到的分类模式, 除此之外, 还有一些孤立点, 表示一些评分较特殊的样本点, 不具代表性故略去不计。由表 2 可以看出, 经过蚁群聚类, 人因事故分类模式中安全管理人员素质及安全意识和组织管理制度占了很大比例, 这说明组织管理因素对煤矿安全生产起关键作用, 因此, 必须加强煤矿管理人员安全教育, 从管理决策上减少失误, 加强组织管理制度建设, 将安全管理制度化、规范化, 从而可以有效减少煤矿人因事故的发生。其次, 过度疲劳和情绪紧张也在煤矿生产中起重要作用, 井下持续作业要有适当的休息时间, 不能片面追求煤炭产量而冒险蛮干; 对矿工定期进行安全培训, 培养矿工安全意识; 要加强矿工心理健康教育, 缓解精神压力。最后, 环境和职工自身素质也会影响煤矿安全, 但不起主导作用。

4 结 语

详细分析了煤矿事故中的人因事故主导因素, 并利用蚁群聚类算法聚类出对煤矿安全生产影响较大的几类人因事故分类模式, 仿真实验表明, 组织管理因素是煤矿人因事故中的关键因素。

表 1 煤矿安全人为因素聚类分析

Table 1 The clustering analysis of man-made accidents on coal mine safety assessment

类 别	属 性	评分[0,9]
职工素质	责任心	5
	文化水平	6
	专业技能	8
心理及生理因素	情绪紧张	6
	心理性格特征	4
	过度疲劳	7
组织管理	安全管理人员素质及安全意识	8
	组织管理制度	6
	安全文化教育机制	7
环境因素	噪声照明粉尘	5
	作业枯燥乏味	3

表 2 聚类各模式特征

Table 2 Characteristics of clustering models

序号	特征
1	安全教育机制落后, 管理人员素质低, 矿工过度疲劳
2	组织管理制度不健全, 职工责任心不强
3	管理决策失误, 矿工专业技能不过硬, 情绪紧张, 疲劳
4	矿工文化水平低, 工作环境条件恶劣, 操作工序复杂枯燥

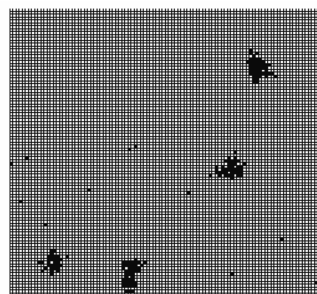


图 2 最终聚类结果

Fig. 2 Final results of clustering

参考文献:

- [1] 胡利军, 陈建华. 煤矿安全中关键人因失误因素的识别研究 [J]. 南华大学学报 (社会科学版), 2007, 6 (3): 31-34.
Hu Lijun, Chen Jianhua. Identification of key factors of human error for coal mining safety [J]. Journal of University of South China (Social Science Edition), 2007, 6 (3): 31-34.
- [2] 张西志. 利用层次分析法对煤矿通风管理制度进行安全评价 [J]. 中州煤炭, 2007 (1): 76-81.
Zhang Xizhi. Safty assessment on mine ventilation management system based on AHP [J]. Zhongzhou Coal, 2007 (1): 76-81.
- [3] 王应德, 李丰军, 魏相存. 对煤矿事故中人的不安全行为调查分析 [J]. 中国煤炭工业, 2007 (3): 49-50.
Wang Yingde, Li Fengjun, Wei Xiangcun. Investigation and analysis on human unsafty behaviours in coal mining accidents [J]. China Coal Industry, 2007 (3): 49-50.
- [4] 闫乐林, 魏绍敏. 煤矿人因事故的发生机理与防范基础研究 [J]. 陕西煤炭, 2004 (1): 14-16.
Yan Lelin, Wei Shaomin. Study on mechanism of man-cause accidents and its prevention measures [J]. Shaanxi Coal, 2004 (1): 14-16.
- [5] 冯述虎. 煤矿生产中的人因故障分析及其对策 [J]. 中国煤炭经济学院学报, 1998 (2): 31-34.
Feng Shuhu. Countermeasures and analysis on accidents due to human factors in coal mining [J]. Journal of China Coal Economic College, 1998 (2): 31-34.
- [6] 张随喜. 人因故障: 煤矿安全生产的“隐性杀手” [J]. 山西煤炭管理干部学院学报, 2006 (3): 81-82.
Zhang Suixi. Malfunction caused by human error-potential killer' in coal mine safety production [J]. Journal of Shanxi Coal Mining Administrators College, 2006 (3): 81-82.
- [7] 杨东森, 陶 巍, 张学成. 煤矿事故中的人因工程 [J]. 煤, 2007 (5): 56-58.
Yang Dongsen, Tao Wei, Zhang Xuecheng. Human factor project in coal mine accidents [J]. Coal, 2007 (5): 56-58.
- [8] 曾 强. 煤矿安全评价指标体系确定原则及其应用分析 [J]. 矿业安全与环保, 2005 (12): 79-81.
Zeng Qiang. Determining principles of indices system in mine safety evaluation and its application analysis [J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2005 (12): 79-81.
- [9] 王卫平, 杨 杰. 基于蚁群智能的客户群偏好分析方法 [J]. 管理科学, 2005 (8): 54-57.
Wang Weiping, Yang Jie. Analysis method of customers' preference based on ant swarm intelligence [J]. Policy-making Reference, 2005 (8): 54-57.
- [10] 张建华, 江 贺, 张宪超. 蚁群聚类算法综述 [J]. 计算机工程与应用, 2006 (16): 171-176.
Zhang Jianhua, Jiang He, Zhang Xianchao. Survey of ant colony clustering algorithms [J]. Computer Engineering and Applications, 2006 (16): 171-176.
- [11] Deneubourg J L, Goss S, Franks N, et al. The dynamics of collective sorting: robot-like ant and ant-like robot [A]. Proceed-Ing's First Conference on Simulation of Adaptive Behavior: from Animals to Animates [C]. Cambridge, MA: MIT Press, 1991.
- [12] 许 慧, 王正友, 杨欢庆. 蚁群算法及其聚类应用 [J]. 矿山机械, 2007 (1): 114-116.
Xu Hui, Wang Zhengyou, Yang Huanqing. Ant colony optimization and it's clustering application [J]. Mining & Processing Equipment, 2007 (1): 114-116.
- [13] 周晓刚, 洪春勇. 蚁群聚类算法在客户分类中的应用 [J]. 计算机与现代化, 2007 (5): 33-35.
Zhou Xiaogang, Hong Chunyong. Application of ant colony clustering algorithm in customers classification [J]. Computer and Modernization, 2007 (5): 33-35.
- [14] 杨 燕, 靳 蕃, Mohamed Kamel, 等. 一种基于蚁群算法的聚类组合方法 [J]. 铁道学报, 2004, 26 (4): 64-69.
Yang Yan, Jin Fan, Mohamed Kamel, et al. Clustering combination based on ant colony algorithm [J]. Journal of the China Railway Society, 2004, 26 (4): 64-69.