

文章编号: 0253-9993(2010)01-0101-05

# 基于灰色-模糊-改进动量 BP 算法的 矿工安全行为评价方法

程卫民 周 刚 王 刚 吴立荣 齐玉栋

(山东科技大学 矿山灾害预防控制教育部重点实验室, 山东 青岛 266510)

**摘 要:** 根据矿工安全行为自身的复杂性、影响因素的多样性、行为过程的非线性、模糊性、随机性、时变性的特点,从安全生理、安全心理、工程心理、安全管理、生活重大事件、不同文化差异 6 个方面构建了矿工安全行为心理测量的初试量表。通过相关数学工具确定了与矿工安全行为状况紧密相关的 63 条测量指标作为评价因素集合,建立了基于灰色-模糊-改进动量 BP 算法的矿工安全行为状况的综合评价模型。通过实践应用表明,该方法能对矿工安全行为状态进行较为准确的评价,能满足生产现场矿工不安全行为预测的要求。

**关键词:** 灰色-模糊-改进动量 BP 算法; 安全行为; 评价; 心理测量

**中图分类号:** X911 **文献标志码:** A

## Evaluation method of miners' safety behavior based on gray-fuzzy-improving momentum BP algorithm

CHENG Wei-min ZHOU Gang, WANG Gang, WU Li-rong, QI Yu-dong

(Key Laboratory of Ministry of Education for Mine Disaster Prevention and Control, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China)

**Abstract:** According to the complexity, various influencing factors, nonlinear process, fuzziness, randomness, time-varying characteristics of miners' safety behavior, the initial psychometric testing tables were given from safety physiology, safety psychology, engineering psychology, safety management, important life event, different cultural diversities. The evaluation factor set composed by 63 measurement factors closely related to miners' safety behavior status were determined by relevant mathematical tool. Furthermore, the comprehensive evaluation method for miners' safety behavior status was set up based on gray-fuzzy-improved momentum BP algorithm. It is shown that the evaluation precision of this method to miners' safety behavior status is high, which can satisfy the requirement of predicting miners' unsafe behavior in production locations.

**Key words:** gray-fuzzy-improving momentum BP algorithm; safety behavior; evaluation; psychological testing

矿工的本身安全行为表现为一个巨系统,具有模糊性、随机性、时变性和非线性,致使对于矿工安全行为评价十分困难而又复杂。

到目前为止,国内外针对矿工的安全行为系统全面、行之有效的评价方法较少;再者,其安全行为涉及自身和外部环境的影响因素多,要想用较少的指标评价其安全行为较为困难。但是根据人因失误和人不安全行为的机理、分类和特点,以及人因失误及不安

全行为的致因分析可以推导出安全行为的形成因子 PSFs(Performance Shaping Factors)<sup>[1-4]</sup>。其包括人的安全生理、安全心理、工程心理学、安全管理学、生活重大事件、不同文化习俗差异这六大部分。

本文基于矿工对根据 PSFs 所编制心理测试量表的回答情况作为基础数据,采用灰色-模糊-改进动量 BP 算法对矿工安全行为状况进行评价。

收稿日期: 2009-03-19 责任编辑: 毕永华

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-06-0606)

作者简介: 程卫民(1966—),男,山东曹县人,教授,博士生导师。Tel: 0532-86057013, E-mail: chengmw@163.com

## 1 矿工安全行为测试量表及评价指标的确定

矿工安全行为心理测量,就是采用心理测量学的原理和方法对影响人员安全行为的各种因素进行心理测量,并根据对测量结果的统计、分析及计算确定其安全行为状况,安全行为心理测量是心理测量的一种特殊情况。

从人的安全行为模式基础理论的分析结果出发,借鉴大量既定、通用的一般心理测量表,参考大量人安全行为形成因子六大组成部分的相关文献资料,从中择取 750 条指标组成人安全行为心理测量的初步施测量表。在枣庄矿业集团高庄和田陈煤矿进行了初步施测量表的心理测量以确定每一条指标的大致重要度。通过对初步心理测量数据的统计与分析,形成了由 152 项指标所组成的人安全行为心理测试的综合量表,该量表的具体内容可参考文献[3]。并在枣庄矿业集团蒋庄煤矿对人安全行为综合测试量表进行了现场测量。经 SPSS(社会科学统计程序)软件解算,该综合量表的信度和效度均较高,说明该量表具有较高的内部一致性和有效性。

采用粗糙集理论和遗传算法相结合的方法对矿工安全行为指标数据进行挖掘<sup>[5-8]</sup>。由粗糙集理论对人安全行为指标知识系统数据处理后可知,所有的 152 个条件属性元素中,核属性元素为 127 个;并计算得到了所有的 152 个条件属性元素的属性重要度值。在编码、构造适应值函数、确定交叉率和变异率后,利用遗传算法首先生成 63 个条件属性构成矿工的安全行为决策的基本组成元素,其中安全生理包含 12 个基本元素,安全心理包含 22 个基本元素,安全

管理包含 12 个基本元素,工程心理包含 8 个基本元素,生活重大事件包含 7 个基本元素,不同文化习俗差异包含 2 个基本元素;最后推导了矿工安全行为指标知识系统决策规则。

## 2 灰色-模糊-改进动量 BP 算法综合评价模型的构建

以矿工对 63 项安全行为决策指标实际情况的个回答结果作为因素集,利用灰色-模糊综合评价方法对影响矿工安全行为的 PSFs 作出评价<sup>[9-13]</sup>;然后将这 6 个方面的评价结果作为改进的动量 BP 算法的输入单元,将矿工产生不安全行为的程度作为输出单元,对整理出的学习样本进行训练,最终使网络收敛并使其全局误差小于预设的精度,然后用训练好的网络对矿工产生不安全行为的程度进行预测分析。

### 2.1 多级灰色模糊综合评价

设因素集合为  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ , 把它按某些属性分成  $S$  类,即把它划分成  $S$  个子集  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_S\}$ , 且满足条件  $\bigcup_{i=1}^S X_i = X, X_i \cap X_j = \emptyset (i \neq j)$ 。

然后对每一类  $X_i$  作一级 GF 评判,由灰色模糊单层次评价结果得

$$\tilde{B}_i = \tilde{A}_i \circ \tilde{R}_i = [(b_{i1} \nu_{i1}) (b_{i2} \nu_{i2}) \cdots (b_{in} \nu_{in})] \quad (1)$$

式中,  $\tilde{A}_i$  为权重分配矩阵;  $\tilde{R}_i$  为 GF 评判矩阵;  $b_{in}, \nu_{in}$  分别为单层次评价结果的模部和灰部。

若各  $\tilde{B}_i$  中的隶属度之和已归一化,则总评价为

$$\tilde{R}^* = \begin{bmatrix} \tilde{B}_1 \\ \tilde{B}_2 \\ \vdots \\ \tilde{B}_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (b_{11} \nu_{11}) & (b_{12} \nu_{12}) & \cdots & (b_{1n} \nu_{1n}) \\ (b_{21} \nu_{21}) & (b_{22} \nu_{22}) & \cdots & (b_{2n} \nu_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ (b_{s1} \nu_{s1}) & (b_{s2} \nu_{s2}) & \cdots & (b_{sn} \nu_{sn}) \end{bmatrix} = [(b_{ij} \nu_{ij})]_{Sn} \quad (2)$$

若  $X_i (i = 1, 2, \dots, S)$  在  $X$  中的权重分配为  $\tilde{A}^* = [(a_1^* \nu_1^*) (a_2^* \nu_2^*) \cdots (a_s^* \nu_s^*)]$ , 则得二级 GF 综合评判为

$$\tilde{B}^* = \tilde{A}^* \circ \tilde{R}^* \quad (3)$$

评判灰度为

$$g(\tilde{B}^*) = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^S g(\tilde{B}_i) \quad (4)$$

依此类推,可得 3 级以及更多级的 GF 综合评判。

### 2.2 改进的动量 BP 算法

本文采用双动量项法来进行学习和训练。

#### 2.2.1 输入值与目标值的预处理

为避免输入值为 0,并根据 Sigmoid 型变换函数的值的输出范围,对输入值与目标值进行了预处理,经处理后:输入值落在区间  $(0, 1]$  内,目标值落在

[0.05, 0.95] 之间<sup>[14-15]</sup>。

### 2.2.2 隐含层节点数的确定

采用下述公式合理地确定隐含层的节点数<sup>[16]</sup>:

$$r = \begin{cases} p + 0.618(p - t) & (p \geq t) \\ t - 0.618(t - p) & (p < t) \end{cases} \quad (5)$$

式中  $r$  为隐含层神经单元数;  $p$  为输入层神经单元数;  $t$  为输出层神经单元数。

### 2.2.3 权值和阈值的双动量调整法

双动量调整法的具体实施<sup>[17-19]</sup>为

$$w(k+1) = w(k) - \eta(1 - \alpha) \frac{\partial E}{\partial w(k)} - \alpha \frac{\partial E}{\partial w(k-1)} + \beta[w(k) - w(k-1)] \quad (6)$$

$$\theta(k+1) = \theta(k) - \eta(1 - \alpha) \frac{\partial E}{\partial \theta(k)} - \alpha \frac{\partial E}{\partial \theta(k-1)} + \beta[\theta(k) - \theta(k-1)] \quad (7)$$

式中  $k$  为迭代次数;  $\eta$  为学习率;  $w$  和  $\theta$  分别为权值和阈值;  $\alpha, \beta$  均为动量因子, 可采用批处理半恢复自适应的调整法<sup>[20]</sup>实现动量因子的自适应调整。

## 3 矿工安全行为状况评价实例

根据兖州矿业集团东滩煤矿、兴隆庄煤矿 460 名一线作业工人的心理测试量表实测数据, 在对矿工 PSFs 进行灰色 - 模糊综合评判的基础上, 共整理出 50 组样本用于学习, 学习样本汇总见表 1。

表 1 学习样本汇总

Table 1 The list of study samples

学习样本	安全生 理灰度值	安全心 理灰度值	安全管 理灰度值	工程心 理灰度值	生活重大 事件灰度值	不同文化习 俗差异灰度值	评测者事 故记录情况
1	0.55	0.25	0.69	0.52	0.18	0.07	0.10
2	0.39	0.15	0.56	0.37	0.10	0.03	0.35
3	0.53	0.29	0.71	0.55	0.20	0.07	0.10
4	0.45	0.20	0.60	0.46	0.12	0.05	0.20
5	0.56	0.27	0.71	0.53	0.23	0.05	0.10
6	0.32	0.13	0.52	0.33	0.11	0.02	0.60
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
45	0.57	0.28	0.73	0.51	0.26	0.06	0.10
46	0.42	0.19	0.66	0.49	0.16	0.04	0.20
47	0.22	0.08	0.40	0.26	0.05	0.01	0.90
48	0.37	0.12	0.59	0.35	0.12	0.02	0.35
49	0.35	0.17	0.58	0.39	0.15	0.03	0.35
50	0.29	0.10	0.48	0.30	0.08	0.01	0.60

由表 1 可知, 神经网络的 6 个输入单元分别为安全生理评价灰度、安全心理评价灰度、安全管理评价灰度、工程心理评价灰度、生活重大事件评价灰度、不同文化习俗差异评价灰度。输出层单元为一个, 即评测者产生不安全行为的可能性程度。为了满足网络输出单元定量化的要求, 此处设定评测者产生不安全行为的可能性程度为 5 级, 即分别用 {0.10, 0.20, 0.35, 0.60, 0.90} 这 5 个数值分别表示可能性程度为 {无或极小, 较小, 一般, 较大, 重大}。

根据式 (5) 计算知, 隐含层神经单元的个数应为 9, 从而建立的用以确定评测者产生不安全行为可能性程度的神经网络的拓扑结构为 (6, 9, 1)。训练样本经过 27 000 余次的训练和学习, 网络全局误差  $E = 0.13$ , 小于预设的精度 0.20, 网络收敛。另外根据南屯煤矿的测试数据整理出 10 组样本用于检验网络的性能, 用训练好的网络对评测者产生不安全行为的可

能性程度进行预测计算。计算结果的精度见表 2。

表 2 评测者产生不安全行为的可能性程度的预测精度  
Table 2 Forecasting precisions of possibility degrees of evaluated persons' unsafe behaviors

检验样本	预测值	实际事故记录值	误差
1	0.10	0.10	无
2	0.35	0.35	无
3	0.10	0.10	无
4	0.20	0.20	无
5	0.10	0.10	无
6	0.20	0.35	二级→三级
7	0.35	0.35	无
8	0.60	0.60	无
9	0.60	0.60	无
10	0.90	0.90	无

从表 2 可以看出, 改进的动量 BP 算法预测人产

生不安全行为的可能性程度精度较高,能满足生产现场人不安全行为预测的要求。10 个检验样本中,有 9 个样本的预测值与实际事故记录值相符,而另外一个样本的预测值较真实值稍微偏高。实际上,从加强对人员不安全行为控制的角度来看,预测值偏高反而具有益处,因为这样可以更高的程度上加强对人员不安全行为的控制,预防和消除生产过程中的事故隐患,防止事故的发生。

#### 4 人不安全行为的控制策略

人是具有主观能动性的个体,要控制不安全行为,就必须从人的行为科学出发,根据影响人安全行为模式的安全生理、安全心理、安全管理、工程心理、生活重大事件、不同文化习俗差异等六大方面,从以下 3 个方面着手,从根源上控制不安全行为产生的可能性:

(1) 人的安全化。合理调节人的心理及生理功能,诸如情绪、人体生物节律等;强化人的安全意识;提高人的安全技能。

(2) 管理的安全化。进行安全教育与培训;建立可操作性强的安全制度;执行严格的工作现场检查;适当运用激励和惩罚手段;创立良好的安全工作氛围。

(3) 人-机-环境系统的安全化。改善人机系统安全状况,提高人机系统整体的可靠性;建立良好的工作环境;有效控制危险源;避免低水平、无意义的安全防护。

#### 5 结 论

(1) 从安全生理、安全心理、安全管理、工程心理、生活重大事件和不同文化习俗等 6 方面构建了矿工安全行为的心理测量综合量表,采用粗糙集和遗传算法理论通过对量表测试数据的统计和分析,得到了由 63 条指标项目所构成的矿工安全行为状况的评价因素集合。

(2) 阐明了采用基于灰色-模糊-BP 神经网络理论对矿工的安全行为模式进行评价的总体思路;建立了灰色-模糊综合评判模型和改进的动量 BP 算法评价模型。

(3) 依据矿工安全行为指标知识系统的实测数据,在矿工安全行为六大部分影响因素灰色-模糊综合评价的基础上,采用改进的动量 BP 算法对矿工产生不安全行为可能性程度进行了综合评价;评价预测结果表明:采用灰色-模糊-改进动量 BP 算法预测矿工产生不安全行为的可能性程度精度较高,能满足

生产现场矿工不安全行为预测的要求。

#### 参考文献:

- [1] 张 力. 概率安全评价中人因可靠性分析技术研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2004.  
Zhang Li. The research on human reliability analysis technique in probabilistic safety assessment [D]. Changsha: Hunan University, 2004.
- [2] 周 刚,程卫民,诸葛福民,等. 人因失误与人不安全行为相关原理的分析与探讨[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(3): 10-14.  
Zhou Gang, Cheng Weimin, Zhuge Fumin, et al. Analysis and exploration on correlative theories of man-made errors and human unsafe behaviors [J]. China Safety Science Journal, 2008, 18(3): 10-14.
- [3] 周 刚. 人的安全行为模式分析与评价研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2006.  
Zhou Gang. Analysis and assessment research for human safety behavior model [D]. Qingdao: Shandong University of Science and Technology, 2006.
- [4] 栗继祖,程卫民,聂百胜. 安全行为学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.  
Li Jizu, Cheng Weimin, Nie Baisheng. Safety behavior science [M]. Beijing: China Machine Press, 2009.
- [5] Slowinski R. Intelligent decision support: handbook of applications and advances of the rough sets theory [M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 1992.
- [6] Slowinski R, Stefanowski J, Greco S, et al. Rough set based processing of inconsistent information decision analysis [J]. Control and Cybernetics, 2000, 29(1): 379-404.
- [7] Lipheng Khoo, Lianyin Zhai. A prototype genetic algorithm-enhanced rough set-based rule induction system [J]. Computers & Industrial Engineering, 2001, 46: 95-106.
- [8] Vasconcelos J A, Ramirez J A, Takahashi R H C, et al. Improvements in genetic algorithms [J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2001, 37(5): 115-119.
- [9] 卜广志,张宇文. 基于灰色模糊关系的灰色模糊综合评判[J]. 系统工程理论与实践, 2002(4): 141-144.  
Bu Guangzhi, Zhang Yuwen. Grey fuzzy comprehensive evaluation based on the theory of grey fuzzy relation [J]. Systems Engineering - Theory & Practice, 2002(4): 141-144.
- [10] 杨纶标,高英仪. 模糊数学原理及应用[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2005.  
Yang Lunbiao, Gao Yingyi. Theory and application of fuzzy mathematics [M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2005.
- [11] 李立新,刘 琳,王 强. 模糊灰色综合评价方法的构建及应用[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2008, 24(4): 577-580.  
Li Lixin, Liu Lin, Wang Qiang. Fuzzy comprehensive evaluation based on grey clustering theory and its application [J]. Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science), 2008, 24(4): 577-580.
- [12] 张 辉,高德利. 基于模糊数学和灰色理论的多层次综合评价

- 方法及其应用[J]. 数学的实践与认识 2008, 38(3): 1-6.
- Zhang Hui, Gao Deli. Multi-level comprehensive evaluation method and its application based on the fuzzy mathematics and grey theory [J]. Mathematics in Practice and Theory 2008, 38(3): 1-6.
- [13] Lin Chanben, Su Shunfeng, HSU Y T. High precision prediction using grey models [J]. Int. J. of Systems Science 2001, 32(5): 609-619.
- [14] 程思蔚. 模糊神经网络的学习算法的设计[D]. 长沙: 长沙理工大学 2008.
- Cheng Siwei. Design of learning algorithms for fuzzy neural networks [D]. Changsha: Changsha University of Science & Technology, 2008.
- [15] 姜波. 灰色系统与神经网络分析方法及其应用研究[D]. 武汉: 华中科技大学 2004.
- Jiang Bo. Research on analytical method with grey system and neural network and their application [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology 2004.
- [16] 黄德春, 许长新, 任欢. 模糊优选神经网络及其在综合后评价中的应用[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2004, 32(3): 332-335.
- Huang Dechun, Xu Changxin, Ren Huan. Fuzzy optimum selection-based BP neural network and its application to comprehensive post-evaluation [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2004, 32(3): 332-335.
- [17] 张爱然, 罗新荣, 杨飞, 等. 基于模糊神经网络的瓦斯爆炸危险性评价模型[J]. 黑龙江科技学院学报, 2008, 18(1): 54-57.
- Zhang Airan, Luo Xinrong, Yang Fei, et al. Risk assessment model of gas explosion based on fuzzy neural network [J]. Journal of Heilongjiang Institute of Science & Technology 2008, 18(1): 54-57.
- [18] Tran Hai L, Osowski S. Neuro-fuzzy TSK network for approximation of static and dynamic functions [J]. Control and Cybernetics, 2002, 31(2): 309-326.
- [19] Liu Puyin. Max-min fuzzy hopfield neural networks and an efficient learning algorithm [J]. Fuzzy Sets and System 2000, 112(1): 41-49.
- [20] 徐永群, 陈年友, 朱怡权, 等. BP 神经网络算法及共价键长计算的研究[J]. 计算机与应用化学 2000, 17(6): 514-515.
- Xu Yongqun, Chen Nianyou, Zhu Yiquan, et al. Study on the BP neural network algorithm and its application in the covalent bond length calculations [J]. Computers and Applied Chemistry, 2000, 17(6): 514-515.

## 全球首批煤制乙二醇在通辽下线

2010 年元旦前夕,全球第 1 批用褐煤制成的可以满足用户需求的乙二醇在通辽金煤化工有限公司正式下线,结束了目前世界各国只能采用石油技术路线生产乙二醇的历史。

乙二醇是一种非常重要的基础化工原料,主要用于生产聚酯产品、防冻剂、不饱和聚酯树脂、润滑剂、增塑剂、非离子表面活性剂等,用途十分广泛。据相关资料显示,目前世界对乙二醇的年需求量为 2 000 多万 t,其中我国需求量就占到 1/3。而目前国内乙二醇生产总量只有 200 多万 t,仅能满足 20%~30% 的市场需求,缺口的 400 多万 t 只能依赖进口。

通辽金煤化工有限公司采用的“煤制乙二醇”技术路线和工业化应用,是一项拥有自主知识产权的世界首创技术。其推广应用可代替传统的石油技术路线生产乙二醇,将有效缓解我国乙二醇产品的供需矛盾。据专家测算,用石油技术路线每生产 1 t 乙二醇约需用 2.5 t 石油,如果采用“煤制乙二醇”生产技术,全球每年节省下来的石油就相当于新开发一个年产 5 000 万 t 石油的大油田。

据了解,通辽金煤化工有限公司的乙二醇项目总投资 100 亿元,目前一期年产 20 万 t 乙二醇项目全部建设完成,每年可转化褐煤 130 万 t。二期年产 40 万 t 乙二醇项目前期工作正在积极筹备,2010 年上半年将全面开工建设。

摘自“中煤信息网”