

# 一种电力生产安全性评价方法研究及应用

胡涛<sup>1</sup>, 黄健<sup>2</sup>, 鄢威<sup>3</sup>

(1. 贵州省都匀供电局计划发展部, 贵州 都匀 558000; 2. 武钢工程技术集团自动化公司, 湖北 武汉 430080;  
3. 武汉科技大学机械自动化学院, 湖北 武汉 430081)

**摘要:** 安全是电力生产首要环节, 对电力生产进行安全性评价有利于及时发现并消除不安全因素和危险。基于传统评价方法的不足, 提出了利用 BP 神经网络的电力企业安全性评价方法。在论述 BP 神经网络基本原理和算法基础上, 按现代安全理论建立了电力生产安全性评价模型并进行求解。案例应用验证了所提方法的正确性和有效性。

**关键词:** 电力生产; 安全性评价; BP 神经网络

## An evaluation method of electric power production security and its application

HU Tao<sup>1</sup>, HUANG Jian<sup>2</sup>, YAN Wei<sup>3</sup>

(1.Division of Planning&Development,Duyun Power Supply Bureau, Duyun 558000, China; 2.WISCO Engineering and Technology Group Automation Co.,Wuhan 430080,China; 3.College of Mechano-automation, Wuhan University of Science &Technology, Wuhan 430081,China)

**Abstract:** Security is the primary link in electric power production, security evaluation for electric power production is favorable to detect and eliminate insecure factor and danger in time. Considering shortcomings of traditional evaluation methods, an evaluation method using BP neural networks is proposed in this paper. Based on fundamental principle and algorithm of BP neural networks, a security evaluation model for electric power production is established and solved according to modern security theory. A case application proves the correctness and validity of this method.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China(No.70571060).

**Key words:** electric power production; security evaluation; BP neural networks

中图分类号: TM81 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)16-0046-04

## 1 安全性评价的基本概念

安全性评价是综合运用安全系统工程的方法对系统安全性进行度量和预测, 通过对系统存在的危险性或称之为不安全因素进行辩识、定性和定量分析, 确证系统发生危险的可能性及其严重程度, 对该系统的安全性给予正确的评价, 并相应地提出消除不安全因素和危险的具体对策措施。通过全面、系统、有目的、有计划地实施这些措施, 达到安全管理标准化、规范化, 以提高安全生产水平, 超前控制事故的发生<sup>[1]</sup>。

安全是电力企业发展永恒的主题, 离开了安全, 企业的生产、经济效益只不过是一句空话。电力行业正向大电网、大系统的方向飞速发展, 与之相对

应的技术和设备虽得到了相应的提高和改善, 但电力系统的安全问题始终不能更好地预测和控制, 事故仍会发生。在电力企业实施安全性评价能及时发现并消除生产中存在的安全隐患, 以此保证电力运行的绝对安全和稳定, 从而保证经济效益和人民财产安全, 使企业变为一个有扎实安全基础的实体, 更具市场竞争力。

## 2 电力生产安全性评价模型建立

电力生产的安全性涉及到许多方面, 按现代安全管理理论大体可以分成“人、机、环境、管理”四个重要环节。这四个环节可以看成电力生产安全性评价指标涉及的四个大类, 每个大类下又包含若干表征电力生产安全性的具体评价指标, 通过对这些指标的综合计算, 得出表征电力生产安全性的评价值。

**基金项目:** 国家自然科学基金(70571060)面向绿色制造的制造企业生产过程多目标集成决策模型及方法研究

由以上分析可以看出, 电力生产安全性实际是一个多输入, 特定输出的复杂对象系统, 对其进行评价则应建立相应的评价模型。人工神经网络(ANN)是一个以有向图为拓扑结构的动态系统, 它能够通过对各种输入信息作出反应而进行信息处理, 最后得出相应输出<sup>[2]</sup>。因此, 可以应用神经网络对电力生产安全性进行评价。

BP神经网络是至今为止应用最广泛的人工神经网络, 它采用误差反向传播算法BP(error back propagation), 能够模拟人脑神经功能来研究问题, 并具有自组织性和自学习性, 能不断适应外界环境的变化。一个三层的BP网络可以完成任意输入层到输出层的变换<sup>[3]</sup>。本文采用输入层多输入单元, 单隐层和单输出单元的三层神经网络结构, 并采用有教师的BP算法对电力生产安全性进行综合评价, 网络结构如图1所示。

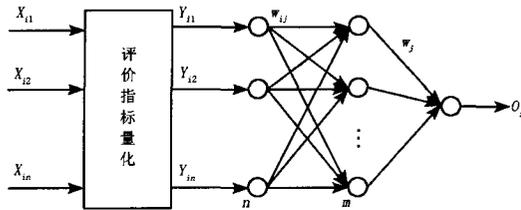


图1 BP神经网络结构

Fig.1 Structure of BP neural networks

利用人工神经网络对电力生产安全性进行评价是将描述电力生产安全性的若干评价指标值作为神经网络的特征输入向量输入神经网络, 将相应的评价结果作为神经网络的输出。通过用足够多的已知电力生产安全性评价样本对其进行训练, 使该网络达到输出与期望输出相符的结果, 则神经网络所持有的那组权系数便是网络经过学习所得正确的内部表示。训练好的神经网络便可以作为一种定性与定量相结合的有效工具, 对待评价的电力生产安全性样本作出接近于人类思维模式的综合评价。

和传统方法相比, 将BP神经网络用于电力生产安全性评价的优点主要有:

(1) 将人、机、环境、管理四大重要环节有机结合的同时避开了各个环节之间复杂的非线性关系。电力生产安全性虽已积累了大量输入-输出原始数据, 但各个指标内部蕴涵的规律仍未完全掌握, 相比传统评价方法往往仅依靠专家经验进行判断, 更具科学性。

(2) 将定量分析与定性分析相结合。网络输入样本不仅利用到电力生产各种管理标准的硬性指标, 也利用到专家的经验知识, 相比传统评价方法

单纯利用专家知识, 更具客观性。

(3) 评价结果直观。通过将神经网络的输出分类, 可直接看出现行生产的安全性, 能有效指导电力生产安全性的整改。

### 2.1 模型的构建

基于现代安全理论可以将电力生产安全性评价指标分为人、机、环境、管理四个大类, 在每个大类下面又可以细化为若干个具体的指标, 其框架结构见图2。

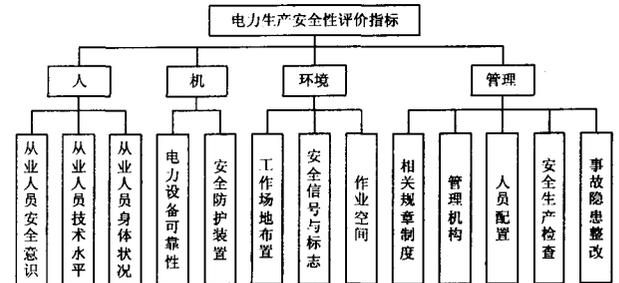


图2 电力生产安全性评价指标

Fig.2 Security evaluation index for electric power production

本文采用如图1所示三层BP神经网络进行模型构建。

输入层: 对来自输入单元的特征输入向量进行规范化处理,  $n$ 代表输入节点数, 结合图2所示电力生产安全性评价指标涉及的13个指标值, 取 $n=13$ ;

输出层: 输出神经网络计算结果,  $l$ 代表输出节点数, 这里取 $l=5$ ;

隐藏层: 直接影响网络性能的优劣,  $m$ 代表隐藏层节点的个数, 目前其选取尚缺乏理论指导, 本文按基于最小二乘法的设计方法, 利用经验公式:

$m = \sqrt{0.43nl + 2.54n + 0.77l + 0.35 + 0.12l^2} + 0.51$  进行计算, 得 $m=9$ 。

对某一已知样本 $i$ ,  $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in}$ 为样本 $i$ 的实际数据,  $Y_{i1}, Y_{i2}, \dots, Y_{il}$ 为特征输入向量, 由 $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in}$ 经过定量分析变换所得;  $w_{ij}$  ( $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$ )为输入层第 $i$ 个单元到隐层第 $j$ 个单元的连接权值;  $w_j$  ( $j=1, 2, \dots, m$ )为隐层第 $j$ 单元到输出层的连接权值;  $O_i$ 为样本模式 $i$ 的输出。网络转移函数选用Tansigmoid函数。

用足够的已知样本对神经网络训练, 使其达到给定收敛值, 则此神经网络就具有了样本所包含的专家知识, 存储在BP网络权值中。这个训练好的

BP 网络就可以用来对待评价的样本做出综合评价, 得出接近于人类思维模式的定性与定量相结合的评价结果。

### 2.2 网络输入输出层向量的确定

为保证电力生产安全性评价的客观性又不失专家经验的权威性, 本文就神经网络的输入及输出向量的确定提出了以下方法。

(1) 输入层特征向量的确定。利用已知的足够的电力生产安全性评价指标的实际数据, 由数据统计原理分别得出相应参考平均值  $\bar{X}$ 。

对于待评价样本  $j$ :

a) 分别计算样本  $j$  提供的实际数据  $X_{j1}, X_{j2}, \dots, X_{jn}$  与参考平均值  $\bar{X}$  的差值;

b) 根据所得差值的占参考平均值  $\bar{X}$  的百分比由专家按 10 分制打分机制进行打分, 分别确定  $X_{j1}, X_{j2}, \dots, X_{jn}$  所得评分值  $J_{j1}, J_{j2}, \dots, J_{jn}$ ;

c) 对所得评分值进行归一化处理, 作为待评价样本的输入特征向量  $Y_{j1}, Y_{j2}, \dots, Y_{jn}$  输入神经网络。本文选用的归一化函数是  $(J_i - m(\min)) / (M(\max) - m(\min))$ , 其中  $M(\max)$  和  $m(\min)$  分别代表评分最大值 (10) 和最小值 (0)。

这种方法将定性分析与定量分析相结合, 能有效地借鉴专家知识, 又能克服单纯由专家打分所带来的主观不确定因素, 保证输入向量的客观性。

(2) 输出层特征向量的确定。为保证评价结果的直观性, 本文将电力生产安全性分成了 5 个评价等级: 很高、高、一般、较差、差。这种分类法可通过网络实际输出结果与评价等级的比较, 直观地看出其属于哪个评价等级, 对电力生产安全性改进起到积极的指导作用。

表 1 安全性评价等级

Tab.1 Grade of security evaluation

| 评价等级 | 代表符号 | 评价等级矩阵表达        |
|------|------|-----------------|
| 很高   | V1   | [1, 0, 0, 0, 0] |
| 高    | V2   | [0, 1, 0, 0, 0] |
| 一般   | V3   | [0, 0, 1, 0, 0] |
| 较差   | V4   | [0, 0, 0, 1, 0] |
| 差    | V5   | [0, 0, 0, 0, 1] |

### 2.3 模型的求解

在图 1 所示的三层 BP 神经网络中, 输入值先传播到隐单元, 经作用函数运算后再把隐层单元输出值传播到输出层, 得出输出值, 再通过反向误差传播不断修正网络的权值和阈值, 直至系统误差小于给定收敛值。网络中每个单元的输出值计算如下:

(1) 输入单元

$$r_i = Y_i, \quad i=1, 2, \dots, n$$

式中:  $r_i$  表示输入层第  $i$  个单元的输出值。

(2) 隐单元

$$R_j = f(\text{net}_j) \quad j=1, 2, \dots, m$$

$$\text{net}_j = \sum_{i=1}^n \omega_{ij} r_{ij} + \theta_j \quad j=1, 2, \dots, m$$

式中:  $R_j$  表示隐层第  $j$  个单元的输出向量,  $r_{ij}$  表示输入层第  $i$  个单元到隐层第  $j$  个单元的输出值。

(3) 输出单元

$$O_i = f(\text{net}_i), \quad \text{net}_i = \sum_{j=1}^m \omega_{ij} R_j + \theta_k, \quad \theta_k \text{ 为输出单元阈值。}$$

对于样本模式  $i$ , 定义其实际输出  $O_i$  与期望输出  $D_i$  的误差函数为  $E_i$ ,  $E_i = (D_i - O_i)^2 / 2$ 。

设样本模式总数为  $N$ , 其总误差为:

$$E = \sum_{i=1}^N E_i$$

评价算法如下:

Step1 指标属性值量化;

Step2 确定 BP 网络结构并定义网络参数;

Step3 给 BP 网络权值和阈值  $(\omega_{ij}, \omega_j, \theta_j, \theta_k)$

赋值;

Step4 输入待考核对象特征向量, 作为 BP 网络输入  $Y_{ij}$ ;

Step5 计算各样本模式隐单元层和输出单元层各单元实际输出值  $R_j, O_i$ ;

Step6 计算  $E$ , 若  $E \leq \varepsilon$  ( $\varepsilon$  为给定收敛值) 则转 Step8, 否则转 Step7;

Step7 从输出单元层开始, 按下式反向调节权值和阈值:

$$\omega_j(n+1) = \omega_j(n) + \eta \delta_j R_j$$

$$\omega_{ij}(n+1) = \omega_{ij}(n) + \eta \delta_{ij} r_i$$

$$\theta_k(n+1) = \theta_k(n) + \eta \delta_j$$

$$\theta_j(n+1) = \theta_j(n) + \eta \delta_{ij}$$

其中:  $n$  表示调整次数,  $\eta$  表示学习效率, 且  $\eta \in (0, 1)$ ,  $\delta_j$  表示隐层第  $j$  单元到输出层的局部梯度,  $\delta_{ij}$  表示输入层第  $i$  单元到隐层第  $j$  单元的局部梯度, 用于计算神经网络反向误差, 且有:

$$\delta_j = (D_i - O_i)O_i(1 - O_i)$$

$$\delta_{ij} = R_j(1 - R_j)\delta_j\omega_j$$

转 Step5;

Step8 神经网络学习结束。

### 3 应用实例

本文以某电力企业为例, 对其生产安全性评价的人工神经网络模型建立及评价进行了应用分析。将此电力企业现行的生产安全性指标作为待评价样本  $j$ , 按前文提及的评分标准确定其分值  $J_j$ 。

表2 某电力企业安全生产指标评分值

Tab.2 Value of security evaluation index for electric power

|   |        | 指标层      | 评分值 |
|---|--------|----------|-----|
| 电<br>力<br>生<br>产<br>安<br>全<br>性<br>评<br>价<br>指<br>标 | 人      | 从业人员安全意识 | 4   |
|   |        | 从业人员技术水平 | 5   |
|   |        | 从业人员身体状况 | 2   |
|   | 机      | 电力设备可靠性  | 1   |
|   |        | 安全防护装置   | 1   |
|   |        | 工作场地布置   | 1   |
|   | 环境     | 安全信号与标志  | 1   |
|   |        | 作业空间     | 2   |
|   |        | 相关规章制度   | 1   |
|   |        | 管理机构     | 2   |
| 管理  | 人员配制   | 2        |     |
|   | 安全生产检查 | 1        |     |
|   | 事故隐患整改 | 3        |     |

利用 Matlab6.5 语言编写神经网络计算机程序, 用 50 个已知样本训练神经网络 (每个评价等级各 10 个), 取神经网络学习效率  $\eta = 0.01$ , 给定收敛值  $\varepsilon = 0.001$ , 迭代次数为 10 000。

利用归一化函数:  $\frac{J_j - m(\min)}{M(\max) - m(\min)}$ , 对分

值  $J_j$  进行计算, 得出输入神经网络的特征向量  $Y_j = [0.4, 0.5, 0.2, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.2, 0.1, 0.2, 0.2, 0.1, 0.3]$ , 输入 BP 神经网络进行求解, 得出的网络实际输出  $O_j = [0.002\ 200\ 135\ 967\ 627\ 315, 0.951\ 834\ 607\ 893\ 949\ 7, 0.014\ 258\ 779\ 743\ 292\ 085, 0.026\ 260\ 676\ 635\ 087\ 7, 0.198\ 357\ 997\ 738\ 172]$ , 可由表 1 直观地看出其安全性评价等级为高。结果表明该企业在电力生产安全性方面工作比较到位, 但仍有进一步提高的可能。

结合表 2 的评分值可以看出从业人员安全意

识、从业人员技术水平这些指标基本属于中等水平, 因此对其安全性整改可具体从这些方面入手。

### 4 结论

利用人工神经网络建立了电力生产安全性评价指标体系和评价模型, 并在此基础上对神经网络进行了求解。用电力企业安全性实例对上述模型和方法进行了验证, 结果与实际情况较为吻合, 说明了评价指标选取的合理性及人工神经网络评价方法的可行性, 通过与输出为合格评价矩阵时输入向量的比较可直观地看出现有生产中存在的不足, 能有效地指导电力生产的安全性改进。

### 参考文献

- [1] 蔡树人. 再谈电力生产企业安全性评价[J]. 电力安全技术, 1999, (2): 2-4.  
CAI Shu-ren. Discussion on Security Evaluation of Electric Power Production Enterprises[J]. Electric Safety Technology, 1999, (2): 2-4.
- [2] Lippman R P. An Introduction to Computing with Neural Nets[J]. IEEE ASSP Magazine, 1987, 4(2): 4-22.
- [3] 阎平凡, 张长水. 神经网络与模拟进化计算[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.  
YAN Ping-fan, ZHANG Chang-shui. Artificial Neural Networks and Evolutionary Computing[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005.
- [4] 王宗军. 复杂对象系统多目标综合评价的神经网络方法[J]. 管理工程学报, 1995, 19(1): 26-33.  
WANG Zong-jun. The Neural Network Method of Multiobjective Comprehensive Evaluation for Complex Object Systems[J]. Journal of Industrial Engineering Management, 1995, 19(1): 26-33.
- [5] 吴春长. 电力安全网络评价体系的标准化研究[J]. 集团经济研究, 2005, (3): 105-106.  
WU Chun-chang. Standardized Management of Electrical Safety Network Evaluation System[J]. Group Economic Research, 2005, (3), 105-106.
- [6] 焦晓佑, 宋守信. 神经网络在电力企业安全文化评估系统中的应用[J]. 东北电力技术, 2006, (9): 43-52.  
JIAO Xiao-you, SONG Shou-xin. Artificial Neural Networks Application to Safety Culture Evaluation for Electric Enterprises[J]. Northeast Electric Power Technology, 2006, (9): 43-52.

收稿日期: 2008-09-19; 修回日期: 2008-11-11

作者简介:

胡涛(1981-), 男, 本科, 主要研究电力系统规划、企业管理等。E-mail: hydrabow@126.com