

模糊层次分析法和人工神经网络模型 在电梯风险评估中的应用

张广明¹, 邱春玲¹, 钱夏夷², 黄水霞¹

(1. 南京工业大学 自动化与电气工程学院, 江苏 南京 210009; 2. 江苏省特种设备安全监督检验研究院, 江苏 南京 210009)

摘要: 针对特种设备风险评估模型中的人工神经网络(ANN)技术一般采用定量加权平均法. 由于其权值是以专家经验为依据, 导致评估所需时间太长. 针对这个缺点, 建议将模糊层次分析法(F-AHP)和ANN相结合, 用于对电梯的风险评估中. 实验证明用此方法进行评估所用的时间比ANN方法要少, 且评估的准确性没有降低.

关键词: 模糊层次分析法; 人工神经网络; 风险评估; 电梯

中图分类号: TP202+.1 文献标识码: A

The application of fuzzy analytic hierarchy process and artificial neural network in elevator risk assessment

ZHANG Guang-ming¹, QIU Chun-ling¹, QIAN Xia-yi², HUANG Shui-xia¹

(1. College of Automation and Electrical Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing Jiangsu 210009, China;
2. Jiangsu Province Special Equipment Safety Supervision Inspection Institute, Nanjing Jiangsu 210009, China)

Abstract: The method of weighted averaging is commonly employed in the ANN model for the risk-assessment of special equipment. Because the selection of weights depends on the expert experience, the process of the assessment generally takes a long time to complete. To deal with this problem, we propose a new risk-assessment model based on F-AHP and ANN. This model is applied to the risk-assessment of elevators. Results show that the assessment time is shorter and the accuracy is not lower, in comparison with that from the ANN model.

Key words: fuzzy analytic hierarchy process; artificial neural network; risk assessment; elevator

1 引言(Introduction)

特种设备是指涉及生命安全、危险性较大的锅炉、压力容器、电梯、起重机械、客运索道等设备设施, 其一旦发生事故将造成重大经济损失和人员伤亡. 风险评估是以设备和人员安全为目的, 应用安全系统工程的原理和方法, 对设备中存在的危险因素进行辨别和分析, 判断设备发生事故和危害的可能性及其严重程度的一种方法^[1].

本文选取电梯作为研究对象, 利用AHP具有决策过程时间短、所需参考资讯量少和ANN具有信息分布存储、并行处理以及自学习等优点, 提出了F-AHP和ANN相结合的评估方法, 将科学计算和专家经验结合, 在不降低原有ANN评估准确性的前提下提高电梯风险评估的快速性.

2 系统结构(System structure)

F-AHP与ANN结合的电梯安全评估系统, 其步骤包括: 首先, 用F-AHP对所有可能的影响因素进行分

析, 计算每个影响因素的权值; 其次, 根据权重选择影响设备安全状况最大的因素作为ANN的输入并建立ANN模型; 最后, 用历史评估数据对ANN训练后对特种设备进行风险评估^[2].

对影响因素的评估需要依据相关文献和该领域专家的经验. 在建立神经网络中, 本文用影响因素数据作为神经元输入层的输入, 计算结果作为网络的输出^[3].

2.1 建立层次结构(Establish hierarchical structure)

AHP的第1步就是针对设备查看相关文件、接触领域专家以便层次地分解影响因素. 对电梯建立层次结构, 其影响因素的模糊结构如图1所示. 顶层表示预定的目标, 设定这里的目标就是电梯安全与否. 第1层包括所有影响目标的主因素, 而子因素则列于下一层^[4].

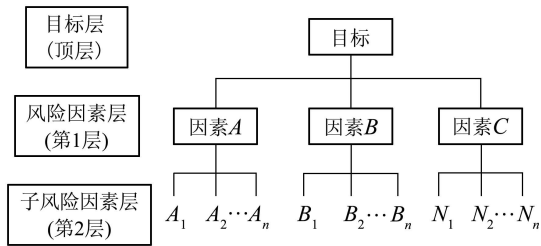


图1 层次分析法的层次结构

Fig. 1 The structure of AHP

2.2 观测权值(Weight determination)

建立好层次结构后,接着制定这个结构的调查表格,该表格的主要目的就是每层的成对元素与上一层的元素进行比较.结合领域专家意见,列出相关公式如下^[5]:

$$L_{ij} = \min(L_{ijk}), \forall k = 1, 2, \dots, N. \quad (1)$$

$$M_{ij} = \left(\prod_{i,j=1}^N M_{ijk} \right)^{1/N}, \forall k = 1, 2, \dots, N. \quad (2)$$

$$U_{ij} = \min(U_{ijk}), \forall k = 1, 2, \dots, N. \quad (3)$$

上述公式中的 L_{ij} , M_{ij} 和 U_{ij} 分别表示下层宽度、平均宽度和上层宽度.可用一个成对比较矩阵来表示,如式(4)所示:

$$\tilde{J} = \begin{bmatrix} \tilde{j}_{11} & \tilde{j}_{12} & \dots & \tilde{j}_{1n} \\ \tilde{j}_{21} & \dots & \dots & \tilde{j}_{2n} \\ \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ \tilde{j}_{n1} & \tilde{j}_{n2} & \dots & \tilde{j}_{nn} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

因为

$$\tilde{j}_{ij} = \begin{cases} \tilde{j}_{ij}, & i \neq j, \\ 1, & i = j, \end{cases} \quad \tilde{j}_{ji} = 1/\tilde{j}_{ij}.$$

因此,

$$\tilde{J}_i = (\tilde{J}_{i1} \otimes \dots \otimes \tilde{J}_{in})^{1/n}, \quad (5)$$

$$\tilde{W}_i = \tilde{J}_i \otimes (\tilde{J}_1 \otimes \dots \otimes \tilde{J}_n)^{-1}. \quad (6)$$

这个由Teng和Tzeng提出的方法被用来进行反模糊化^[6].计算得出的权值可被视为选择重要影响因素的标准.去掉权值相对较小的影响因素,选择更为重要的因素作为ANN的输入.因此,ANN的结构就会大大地简化.

2.3 采用ANN进行风险评估(Risk assessment use ANN)

运用带时序学习算法的前馈神经网络(EBP)对电梯进行风险评估. EBP学习算法是一种梯度最速下降法,可以用来缩小成本函数,其训练过程可归纳如下:

准备训练样本,实际数据可以是任意实数.首先对样本进行归一化处理, x_{\max} 是变量的历史值中最

大的值,同样 x_{\min} 是最小的值,以 x_i 为基准,其归一化 x'_i 定义如下:

$$x'_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}. \quad (7)$$

该网络参数确定: 1) 输入层、隐层和输出层的节点数; 2) 学习率和动量; 3) 成本函数或训练样本数量的最大允许平方误差.

随后对ANN进行训练,当误差平方值小于最大允许误差平方值时停止训练.

3 模型评估(Model evaluation)

影响电梯安全状态的因素有很多,其层次分析法结构如图2所示.运用2.2节的算法,计算各影响因素的权重,列于表1中.

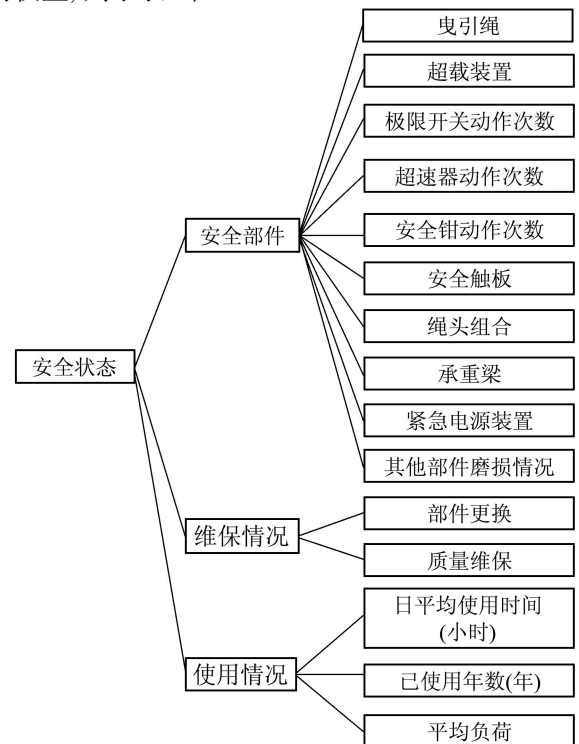


图2 电梯风险评估的层次结构

Fig. 2 The AHP structure of elevator risk assessment

由表1,可以得到影响电梯安全因素的权重,从各个部件的权重可以看出,曳引绳和承重梁对电梯安全影响重大,但结合电梯领域专家经验,由曳引绳或承重梁故障而导致电梯出现安全隐患的事故几乎没有,且各个电梯制造商对该类部件都有故障应急处理装置.因此选择表中11个权重较大即表1中被标记“*”的因素作为ANN评估的输入.

在ANN模型中采用3层网络,输入节点是FAHP分析出的11个影响因素,输出节点数为1.隐层的节点数为6,学习算法是BP算法. 20个电梯安全状态的评估样本被分为训练样本和评估样本.前15个用于网络训练,后5个则用于测试网络性能.

表 1 评价因素及相应权重
Table 1 Evaluation factors and their corresponding weights

评价因素	权重
曳引绳	0.4665
超载装置*	0.3506
极限开关动作次数*	0.3166
超速保护装置*	0.3149
安全钳动作次数*	0.5335
安全触板	0.1741
绳头组合*	0.4672
承重梁	0.4161
紧急电源装置*	0.2348
其他部件磨损情况*	0.0751
部件更换*	0.3080
质量维保*	0.2882
日平均使用时间	0.1167
电梯使用年数*	0.1609
平均负荷情况*	0.2390

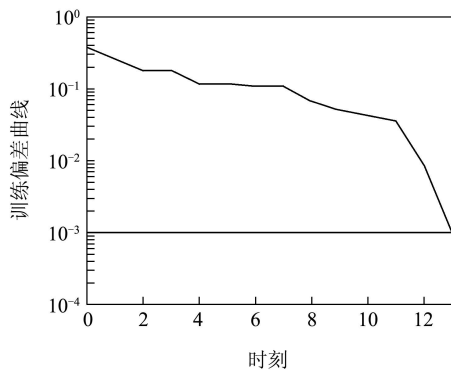


图 3 EBP神经网络的训练偏差曲线
Fig. 3 Training deviation curve of the EBP

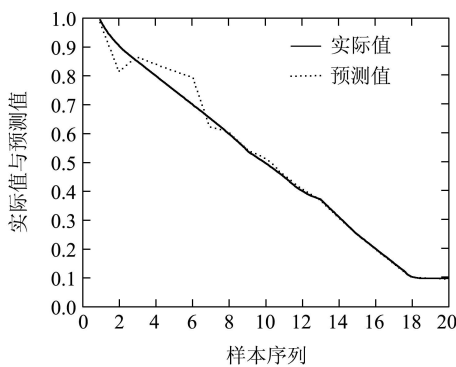


图 4 输出值与参考值比较
Fig. 4 Comparison of the output values and the reference values

图3给出了ANN训练偏差曲线. 图4则给出了预测值和ANN计算出的实际输出值比较的结果. 由图可看出, EBP网络的实际输出与预测值很接近. 它表明, 用AHP分析出的输入因素越重要, 风险评估的结果就越好. 同时, 神经网络的结构得到了简化, 且学习效率也得到了提高.

4 结论(Conclusion)

本文使用了F-AHP和EBP神经网络相结合的评估方法进行风险评估. 通过选择权重比较大的影响设备安全性的因素, 使EBP人工神经网络的结构大为简化, 计算效率也得到了提高. EBP神经网络的输出值与参考值一致. 结果表明采用F-AHP和EBP神经网络相结合的评估方法对电梯系统进行评估, 提高了评估的速度和结果的精度, 实现了预期的目标. 但由于影响电梯安全状态的因素诸多, 对于一些局部安全情况(如门机控制系统和主板受干扰所引发的故障等), 笔者未做深入研究, 本文旨在对电梯整体运行情况进行安全评估, 仅就其研究方法提出自己的见解, 以期抛砖引玉, 促进该领域的深入研究与发展.

参考文献(References):

- [1] ZHANG G M, CAI L, ZHU W, et al. Application of evaluation model based on fuzzy analytic hierarchy process in elevator selection[J]. *Elevator World*, 2006, 54(10): 114 - 119.
- [2] SAATY T L. *The Analytic Hierarchy Process*[M]. New York: McGraw-Hill, 1980.
- [3] KWONG C K, BAI H. A fuzzy AHP approach to the determination of importance weights of customer requirements in quality function deployment[J]. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2002, 13(5): 367 - 377.
- [4] 马艺玮, 陈渊睿, 曾君. 风电场电能质量分析与评估[J]. *控制理论与应用*, 2008, 25(2): 307 - 310. (MA Yiwei, CHEN Yuanrui, ZENG Jun. Analysis and evaluation on the electric power quality of wind farm[J]. *Control Theory & Applications*, 2008, 25(2): 307 - 310.)
- [5] ZAHEDI F. The analytic hierarchy process: a survey of the method and its applications[J]. *Interfaces*, 1986, 16(4): 96 - 108.
- [6] BELTON V, PICTER J. A framework for group decision using a MCDA model: sharing aggregating or comparing individual information[J]. *Journal of Decision Systems*, 1986, 6(3): 283 - 303.

作者简介:

张广明 (1965—), 男, 教授, 自动化与电气工程学院院长, 研究方向为智能控制理论、计算机测控技术, E-mail: zgmchina@163.com;
邱春玲 (1983—), 女, 硕士, 研究方向为智能控制、故障诊断;
钱夏夷 (1962—), 男, 高级工程师, 江苏省特种设备安全监督检验研究院院长, 研究方向为电梯测试技术;
黄水霞 (1985—), 女, 硕士, 研究方向为智能控制、故障诊断.