

基于人工神经网络的焊接接头力学性能预测系统

邓 欣¹, 汪 超², 魏艳红²

(1. 中国船舶重工集团公司第七二五研究所, 洛阳 471039;

2. 南京航空航天大学 材料科学与技术学院, 南京 210016)

摘 要: 对神经网络在焊接接头力学性能预测上的应用做了探索, 训练了焊接方法包括焊条电弧焊、气体保护焊、埋弧焊和 TIG 焊的抗拉强度、屈服强度、断后伸长率和断面收缩率模型。并在此基础上设计完成了基于人工神经网络的焊接接头力学性能预测系统。利用可视化界面编程技术和数据库技术制作了友好的人机用户界面。焊接接头力学性能预测系统包括添加模型、删除模型、性能预测、数据的保存和浏览、分析单个参数对接头性能的影响等相关功能。软件界面友好、操作方便, 极大的方便了客户使用。

关键词: 人工神经网络; 力学性能预测; 焊接接头

中图分类号: TG407 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2011)06-0109-04



邓 欣

0 序 言

长久以来, 焊接接头的力学性能的准确预测一直是人们研究的难点。人们利用多元回归、模糊数学及人工智能专家系统等技术, 尝试着进行焊接工艺评定。希望可以代替常规的工艺评定试验。特别是近年来, 获得迅速发展的人工神经网络(artificial neural network, ANN)技术, 可以处理任意复杂的多元非线性关系, 使比较准确地进行焊接工艺计算机辅助评定成为可能。

国内外已经有很多人对人工神经网络在焊接接头性能预测方面的应用做了大量的研究。在国内, 天津大学利用局部法评定了焊接接头的疲劳性能和预测了焊接接头动态断裂性能; 西北工业大学设计了基于神经网络的搅拌摩擦焊接头质量预测系统; 内蒙古工业大学采用基于径向基神经网络预测^[1]; 哈尔滨工业大学完成了铝合金焊接工艺设计及接头热裂纹预测系统^[2]。在国外, 利用人工神经网络原理, 英国剑桥大学训练了合金钢的屈服应力及拉伸应力模型; 印度的 Nagesh 训练了焊缝形状预测模型^[3]。

虽然国内外已经取得大量的研究成果, 但是还没有能够准确预测焊接接头力学性能且简单易操作的预测系统。文中针对人工神经网络也进行了大量

的研究, 训练出了焊接方法包括焊条电弧焊、气体保护焊、埋弧焊和 TIG 焊的抗拉强度、屈服强度、断面伸长率和断面收缩率模型。并在此基础上设计了焊接接头力学性能预测系统, 把所有训练好的模型存入数据库, 整合在一起方便管理。同时, 简化了预测性能的操作过程, 比较直观的显示出模型各输入参数的影响趋势。

1 人工神经网络的原理

文中神经网络模型采用的是三层反向传播(back propagation, BP)网络结构, 并使用贝叶斯函数逼近以减少误差。中间隐藏单元与输入输出间的联系公式如下。

联系输入和第 i 个隐藏单元的转换函数为

$$h_i = \tanh\left(\sum_j w_{ij}x_j + \theta_j\right) \quad (1)$$

隐藏单元和输出单元之间的关系为线性关系, 即

$$y = \sum_i w_i h_i + \theta \quad (2)$$

式中: x_j 为第 j 个输入参数; h_i 为第 i 个隐含单元; y 为输出值; w_{ij} 为输入参数 x_j 与隐含单元 h_i 之间的权值; w_i 为隐含单元 h_i 与输出值 y 之间的权值; θ_j 为输入层与隐含层之间的偏差; θ 为隐含层与输出层之间的偏差。等式的系数 w 和偏差 θ 由最小误差函数决定。

在实际应用中, 出于储存方式和编程难易程度

的考虑 将式(1)再次划分为线性部分和非线性部分 采用循环方式实现.

文中模型误差的计算公式为

$$M(w) = \beta E_D + \alpha E_w \quad (3)$$

式中: α 和 β 为经验系数, 含有隐藏单元的数量, 决定模型的复杂度; E_D 为测试误差, 为预测值与实测值之差的平方和; E_w 为调整误差, 为权重的平方和, 二者分别由下式获得, 即

$$E_D = \frac{1}{2} \sum_j (t_j - y_j)^2 \quad (4)$$

$$E_w = \frac{1}{2} \sum_j w_j^2 \quad (5)$$

式中: y_j 为预测输出值; t_j 为对应于 y_j 的实测值; w_j 为对应于 y_j 的权值. Hidetoshi, Malinov 等人^[4-6]利用贝式统计控制神经网络的权值的可能分布范围, 而不是计算权值的数值的一种学习方法. 这种方法在神经网络预测时给出每种输入参数的误差范围, 这样当数据比较少时, 误差范围就会很大.

神经网络训练具有很大的自适应性, 会产生对训练数据过拟合的可能, 如图1所示.

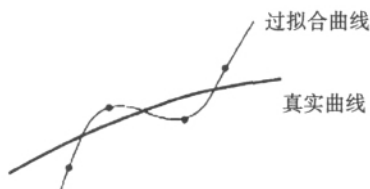


图1 训练数据过拟合

Fig. 1 Overfitting of training data

为了防止过拟合的产生, 将采用以下方法. (1) 所有样本数据分成两组, 一组用来训练神经网络产生不同权值和偏差的子模型, 另外一组用于测试所产生的子模型. 这样在一定程度上能够避免过拟合现象, 且能部分消除两组样本中随机噪声的影响. (2) 训练多组模型, 记录其测试误差和训练误差, 从中选择误差最小的模型. (3) 采用组合模型, 以使误差值最小.

2 焊接接头性能预测系统的设计

大量训练好的模型因为彼此独立, 进行预测的操作比较繁琐, 分析各输入参数影响趋势不够直观, 所以实际应用起来很不方便. 为了简化操作方便使用, 文中设计了焊接接头力学性能预测系统. 该系统设计为可视化界面系统, 其功能结构示意图如图2所示.

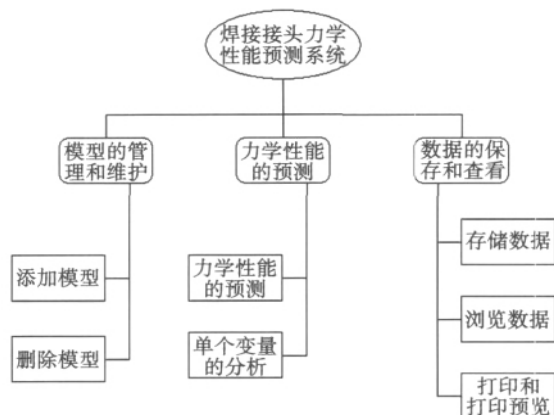


图2 系统模块

Fig. 2 Modules of system

文中利用可视化界面编程技术和数据库技术建立焊接接头性能预测系统, 操作人员可以随时进行模型的添加、删除, 性能预测, 单个成分分析, 数据存储和浏览等工作, 操作简单灵活.

其中模型维护和管理部分包括添加模型模块和删除模型模块. 力学性能预测包括具体的性能预测模块和单个变量分析模块. 性能预测模块又分为参数输入模块和预测计算模块两个子模块, 其中参数输入子模块负责参数输入输出, 预测子模块在后台运行, 从模型中读取需要的数据, 利用公式进行计算; 单个成分分析模块负责分析各输入参数对预测值的影响, 并反映到图表中. 下面将就各模块详细介绍. 数据保存和查看部分包括数据的存储模块, 数据浏览模块和打印模块.

3 焊接接头性能预测系统功能介绍

3.1 模型的管理和维护

该系统中仅集成了焊接方法包括焊条电弧焊、气体保护焊、埋弧焊和 TIG 焊的抗拉强度、屈服强度、断后伸长率和断面收缩率模型. 由于焊接方法和材料的多样性, 会产生大量的模型, 考虑到系统的可扩展性, 同时为了方便用户对模型的管理和更新, 该系统实现了模型的添加和删除功能.

3.1.1 添加模型模块

由神经网络产生的模型保存在一个文件夹中, 该文件夹包含一些用来定义模型的输入参数和输入参数范围的文件及该神经网络模型的权值、偏差、隐藏单元数、子模型数等. 当用神经网络模型来进行预测时, 必须从这些文件中读取出数据.

当系统需要使用新的模型进行预测时, 用户可以自己添加新模型. 点击浏览找到要添加的模型所

在的文件夹 , 同时在相应的地方输入模型焊接方法、焊接材料、所测试的力学性能以及对模型的说明 , 就可以将新模型添加到模型列表中。添加模型窗口在加载之前 , 会先搜索数据库中所有模型 , 把所有已经存在的焊接方法、焊接材料、所测试的力学性能加载到相应的下拉菜单中。用户在添加新的模型时可以自己输入新的焊接方法、焊接材料、所测试的力学性能 , 也可以从下拉菜单中选取已经存在的焊接方法、焊接材料、所测试的力学性能。模型的名字为模型焊接方法、焊接材料、所测试的力学性能的名字合在一起。当模型名称与已存在模型名称重复时 , 系统会提示用户 , 是否用新模型覆盖已有的模型 , 还是更改模型名称。

当新的模型被添加到系统中 , 系统首先自动在数据库中添加一个与新模型名字相同的表 , 将模型中的输入参数和输出参数的预测值、误差、最小值、最大值作为字段。同时 , 系统将参数范围文件中的输入参数的最大最小值写入新的单模型信息表中。其次系统在模型信息总表中添加一个新的记录存储新添加模型的焊接方法、焊接材料、性能指标、模型地址、备注等信息。系统界面与数据库交互结构关系如图 3 所示。

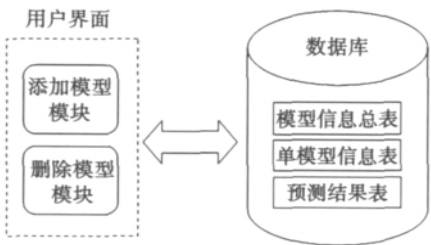


图 3 添加和删除模型模块与数据库交互结构关系
Fig. 3 Interaction diagram for adding and deleting modules and database

3.1.2 删除模型模块

对于一些已作废的模型或者用户不再需要该模型时 , 用户可以使用删除功能从系统中将模型删除。该系统提供的删除功能仅将模型从模型列表及数据库中删除 , 并不会删除计算机上原有的模型文件。用户需手动删除模型文件。删除模型模块其实就是添加模型模块的一个逆过程。用户在主界面的树形模型列表中选择要删除的模型 , 点击删除模型按钮 , 系统提示是否真的要删除选中的模型对话框 , 用户点击确定按钮后 , 系统将在模型列表和数据库中删除与该模型相关的全部信息。不管用户有多少模型 , 也不必考虑每个模型的输入参数有哪些 , 更不用

担心模型的更新问题 , 只要用户进行简单的添加或删除 , 模型就可以使用。

3.2 力学性能的预测

添加模型之后 , 用户就可以选择该模型来进行力学性能的预测。力学性能的预测主要包括以下两个模块: 性能预测模块 , 其中包括参数输入子模块和预测计算子模块; 单个变量分析模块。

3.2.1 性能预测模块

用户在左侧模型列表中双击选择要用的模型 , 参数输入子模块会读取数据库模型相应的信息 , 包括模型地址、输入参数、参数范围等 , 根据读取的信息 , 中间参数输入区域就会以类似于工艺评定报告的形式显示出相应的模型参数列表。当用户进行性能预测的时 , 只需直接在参数输入区域输入每种参数的输入值 , 其中标记的参数是要求用户一定要输入。预测计算子模块就是从参数输入模块中获取模型预测所需要的参数 , 并形成预测文件 , 调用模型访问预测文件 , 进行性能预测 , 将结果保存到结果文件中 , 根据结果文件 , 更新结果显示区域各个控件的值 , 显示出预测结果 , 包括预测值、误差、最大值、最小值等。性能预测模块的目的在于使模型能够在 Windows 下进行预测。

3.2.2 单个变量分析模块

模型预测完后 , 不仅可以知道预测值 , 还可以分析每种参数对输出结果的影响方式。单个变量分析模块会将要分析的变量在其取值范围内 , 按一定步长变化生成一系列值 , 其它变量取默认值 , 这样就可以画出该变量对预测结果的影响趋势图。图 4 为合金钢气体保护焊抗拉强度模型预测的母材锰含量对抗拉强度的影响趋势。

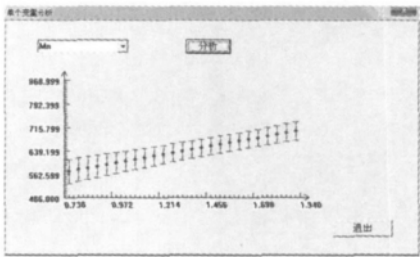


图 4 系统预测锰对抗拉强度的影响趋势
Fig. 4 Predicted trend for Mn towards ultimate tensile strength

3.3 数据的保存和查看

系统可以将用户预测好的数据保存在数据库中 , 方便用户以后查阅和打印。系统该部分功能模块主要包括: 数据存储模块、数据浏览模块和打印模

块等。

当用户进行完一次性能预测后,点击主界面右下角的保存按钮,数据存储模块就会将用户输入的各个参数值、系统预测值和其它一些必要信息存储到数据库 results 表中。当用户点击浏览按钮时,数据浏览模块就会以列表的形式显示出已保持的数据,用户可以选择其中一条数据,点击确定,全部数据将在参数输入区域显示出来。用户也可以点击删除按钮,删除不需要的数据。为了实际需要,系统还设计了打印和打印预览功能。

4 结 论

(1) 采用三层 BP 网络结构训练了焊接方法包括焊条电弧焊、气体保护焊、埋弧焊和 TIG 焊的抗拉强度、屈服强度、断后伸长率和断面收缩率模型。

(2) 设计完成了焊接接头力学性能预测系统,对合金钢焊接接头的力学性能预测有较高精度。

(3) 系统结构合理,采用灵活方便的数据输入,使得用户操作方便安全,能够合理使用。采用了全面的模型、记录维护和浏览功能,设计了记录的增加、删除、查询及修改功能。

(4) 实现了对各参数的分析功能,能够分析各个输入参数对输出结果的影响趋势图。

参考文献:

[1] 张永志,董俊慧,张艳飞. 基于径向基神经网络焊接接头力

学性能预测[J]. 焊接学报,2008,29(7): 81-84.

Zhang Yongzhi, Dong Junhui, Zhang Yanfei. Prediction of mechanical properties of welded joints based on RBF neural network [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2008, 29(7): 81-84.

[2] 王敏,杨磊,魏艳红,等. 基于 ANN 的 TA15 钛合金 TIG 焊接头拉伸性能模型建立[J]. 焊接学报,2007,28(12): 56-60.

Wang Min, Yang Lei, Wei Yanhong, et al. ANN prediction models for tensile properties of TIG welded joints of TA15 titanium alloys [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2007, 28(12): 56-60.

[3] Nagesh D S, Datta G L. Prediction of weld bead geometry and penetration in shielded metal-arc welding using artificial neural networks [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 123(2): 303-312.

[4] Hidetoshi Fujii, Mackay D J C, Bhadeshia H K D H. Bayesian neural network analysis of fatigue crack growth rate in nickel base super alloys [J]. ISIJ International, 1996, 36(11): 1373-1382.

[5] Hidetoshi Fujii, Mackay D J C, Bhadeshia H K D H. Application of Neural Network Analysis in Materials Science [J]. ISIJ International, 1999, 39(10): 965-976.

[6] Malinov S, Sha W, McKeown J J. Modeling the correlation between processing parameters and properties in titanium alloys using artificial neural network [J]. Computational Materials Science, 2001, 21: 375-394.

作者简介: 邓欣,男,1966年出生,高级工程师。主要从事舰船结构钢及焊接技术数据库的研究工作。发表论文 10 余篇。Email: dxin@725.com.cn.

sistance welding , which is a new technology used in the welding of zirconium tube. The numerical simulation of three-dimensional temperature field of special resistance welding was analyzed with ANSYS. Using non-uniform meshing principle and parametric design language APDL to finish flow settings. The transferring effect of convective heat and radiation heat and temperature influence on material performance parameters is taken into account. Research results show that centralized heat flow causes the generation of coarse plug and extruded material. The temperature of weld joint is about 1 500 °C , which has not reach its melting temperature. Showing hot forging structure with good mechanical properties. The temperature variation of radial direction and axial direction in the weld joint are both smaller than 5% .

Key words: special resistance welding; numerical simulation; parametric design language; temperature field

Mechanism of penetrating crack and gas porosity on dissimilar metal surfacing SU Yunhai , TANG Xingtao , SONG Xingkui , LIU Zhengjun (School of Material Science and Engineering , Shenyang University of Technology , Shenyang 110178 , China) . p 97 – 100

Abstract: The aluminum-bronze power and copper power were overlaid on the low carbon steel by plasma arc. After the contrast experiment in different surfacing processing parameters , the influence of the penetrating crack and gas porosity were analyzed. The experiment results show that the tendentiousness and probability of the penetrating crack and gas porosity increase obviously with the energy input increasing. The generation of the penetrating crack was affected by stress state , stress intensity , chemical constitution of the surfacing power and original condition of base metal. The low-melting eutectic and the microcrack were the main causes , the wetting spreadability of the liquid aluminum-bronze and the tension stress were inducement. As long as the surfacing processing procedure and measures were appropriately token the penetrating crack and gas porosity could be avoided or reduced.

Key words: penetrating crack; gas porosity; copper-steel alloy; plasma arc surfacing

Optimization design of ultrasonic transducer in ultrasonic-arc hybrid welding system FAN Yangyang , LIN Sanbao , HUANG Jiaming , YANG Chunli (State Key Laboratory of Advanced Welding Production Technology , Harbin Institute of Technology , Harbin 150001 , China) . p 101 – 104

Abstract: The optimum design method for the ultrasonic transducer in the ultrasonic-arc hybrid welding system is presented in this paper. The whole structure of the transducer and the material are chosen by the work conditions. On the basis of the traditional analytical method , the resonant frequency of the whole ultrasonic transducer is deduced in order to get the basic dimensions. The modal of the ultrasonic transducer is analyzed by the finite element analysis with ANSYS. The effects of the front block size and the back block size to the ultrasonic transducer resonant frequency are researched and further optimize dimensions of the ultrasonic transducer is approached. With an impedance analyzer , the impedance characteristics of the ultrasonic

transducer is tested and results show that the resonant frequency of the ultrasonic transducer is basically consistent with the modal analysis of the ANSYS and the main performance parameters are good.

Key words: ultrasonic-arc hybrid welding; ultrasonic transducer; finite element analysis; impedance analysis

Quality estimation of resistance spot welding based on kernel fisher discriminant analysis ZHANG Hongjie¹ , HOU Yanyan² (1. Tianjin Key Laboratory of Modern Mechatronics Equipment Technology , Tianjin Polytechnic University , Tianjin 300160 , China; 2. Department of Architecture Engineering , Hebei College of Administration , Shijiazhuang 050031 , China) . p 105 – 108

Abstract: In this research , the displacement signal of the resistance spot welding process is monitored and mapped into a 15 × 25 element bipolarized matrix by fuzzy theory method. Some welded spots with different welding currents , are classified into five classes according to the prototype pattern matrices. These pattern matrices , which represent different weld quality respectively , are used to construct the input data space. By using Kernel Fisher Discriminant Analysis (KFDA) technology , a nonlinear classification problem of the original data space can be converted to a linear one in feature space of high dimension. An effective pattern recognition system is developed , which realizes quality estimation of the welded spots. The results of cross-validation test show that the method utilizing pattern matrix of the electrode displacement signal to characterize formation process of nugget is effective. At the same time , the Fisher algorithm introduced kernel technology improves the recognition accuracy of the welded spot pattern under the small sample circumstance.

Key words: resistance spot welding; Kernel Fisher Discriminant Analysis; pattern recognition; quality estimation

Prediction system of mechanical properties of welded joints based on artificial neural network DENG Xin¹ , WANG Chao² , WEI Yanhong² (1. Louyang Ship Material Research Institute , Louyang 471039 , China; 2. College of Material Engineering , Nanjing University of Aeronautics and Astronautics , Nanjing 210016 , China) . p 109 – 112

Abstract: The application for neural network on the prediction of the mechanical properties of welded joints was explored in the paper. The models , including tensile strength , yield strength , elongation , reduction for the welding methods of SMAW , SAW , GMAW and TIG were trained. The prediction system of mechanical properties of welded joints based on artificial neural network was designed and optimized. The friendly man-machine interface was made by the use of visual interface programming and database technology. The prediction system of mechanical properties of welded joints included the features , those were model added , model delete , performance prediction , preservation of data , browse data , and the effect of analysis parameters on the performance of joints. The software interface was very friendly and easy to be operated.

Key words: artificial neural network; prediction of mechanical properties; welded joints