

基于神经网络的焊枪倾角检测

南昌工程学院 (330099) 叶建雄
江西新余高等专科学校 (338000) 张发云 任 华

摘要 将旋转电弧传感器的应用领域扩大到焊枪倾角的实时检测, 利用人工神经网络的非线性映射功能实现了在线实时检测的目的。论述了基于旋转电弧传感器的倾角实时检测原理, 介绍了对焊接电流信号进行低通滤波处理的方法, 通过性能比较的方法确定了网络结构和网络参数, 构造出含一个隐含层的前向型 BP 神经网络, 进行了大量不同倾角时的金属熔化极混合气体保护焊 (GMAW) 检测试验, 结果证明采用前向型 BP 神经网络进行倾角检测是可行的和有效的。虽然 BP 网络的训练结果与焊接工艺紧密相关, 但由于 ANN 具有较强的泛化能力和并行计算能力, 实际检测结果在精度和速度两方面均令人满意。

关键词: 旋转电弧传感器 焊枪倾角 检测 神经网络

中图分类号: TP183 TG434

0 前 言

人工神经网络是由大量简单的神经元, 通过具有不同权系数强度的连接相互联系而形成的一种信息处理系统。人工神经网络吸取了生物神经网络的许多优点, 如具有高度的并行性, 可以实现高速的分布式运算; 具有高度的非线性全局作用, 可实现从输入状态空间到输出状态空间的非线性映射; 具有良好的容错性与联想记忆功能, 可以通过自身的网络结构实现对信息的记忆; 具有很强的自学习能力和对环境的自适应能力, 可以通过学习改变网络的相关参数。神经网络的这些特点使它既能进行聚类分析、特征提取、缺损模式复原等模式信息处理工作, 又能进行模式分类、模式联想等模式识别工作。

焊接在国内外工业生产中都是一种重要的加工手段, 不断提高焊接生产效率和焊接质量始终是国内外以焊接为主要加工手段的企业十分关注的问题, 但当前大多数焊接自动化研究都针对焊缝跟踪用传感器及跟踪算法进行分析^[1], 而很少对焊接过程中焊枪相对焊缝空间位置的变化进行检测, 如在诸如集装箱底板焊接装配中, 由于波纹板的起伏使得焊枪相对工件的倾角不断地出现变化, 不能很好地保证生产过程的一致性。

焊枪倾角的检测是实现空间焊缝自动跟踪的基础, 但对倾角进行检测至今仍然鲜有人涉足, 更少有能够实现三维双向焊缝跟踪的产品出现。论文采用旋转电弧传感器进行信号的提取, 采用人工神经网络实现

信号的分析处理, 将二者结合起来以实现焊枪倾角实时检测的目的。

文中将焊枪轴线与垂直线的夹角称为倾角, 沿着焊接的方向, 焊枪上端超前于末端的情形称为后倾, 反之称为前倾, 图 1 所示的焊接状态为后倾。

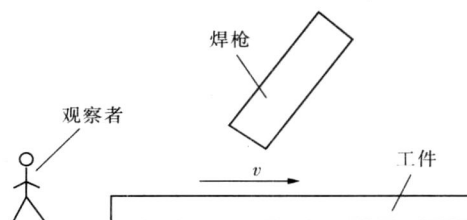


图 1 焊枪倾角示意图

1 倾角检测方法 & 信号处理

在铁路、轮船等交通运输行业中有大量的倾角检测工作, 所用的检测传感器种类繁多, 按工作原理主要分为 / 固体摆式、/ 液体摆式及 / 气体摆式三类。此外, 也有用加速度传感器、激光传感器及绝对编码码盘进行倾角检测的报道, 但将它们用于焊枪的倾角检测存在着诸多不便: 如何将传感器附加在焊枪上, 如何克服焊接过程中存在的干扰, 如何保证检测速度使其满足实时性的要求等, 都存在不少问题。

1.1 旋转电弧倾角检测的方法

旋转电弧传感器较别的传感器有着明显的优势: 不怕干扰、可达性好、没有位置超前的问题, 可以实时地采集当前的焊接电流值, 可作为一种性能良好的倾角检测传感器。

电弧传感器主要包括并列双丝电弧传感器、摆动式扫描电弧传感器及旋转式扫描电弧传感器几种,对于缓降外特性的电源来说,电弧传感器焊丝距工件的高度 H 与焊接电流 I 之间的静态数学模型可线性化为 $H = (a_1 + b_1 v_f) I + a_2 + b_2 v_f^{[2]}$, 旋转电弧传感器在工作时是高速旋转的,因而有必要研究该系统的 $H - I$ 动态模型,其目的是寻找焊接过程中各物理量在发生快速变化时它们之间的相互关系:当焊接电源被视为一惯性环节时,旋转电弧传感器的动态模型是二阶系统^[2-3]。由此不但可推导出最佳工作频率(旋转频率),而且由焊接过程中的弧长和焊接电流之间的传递函数关系可知:弧长越短则焊接电流越大,弧长的变化越大则对应的焊接电流变化也越大。由于焊枪倾斜角度变化时会引起弧长的变化,不同的倾角所对应的弧长不同,所以利用焊接电流作为神经网络的输入,通过神经网络的分布式并行运算可以计算出相应的焊枪倾角,从而将电弧传感器的应用领域从焊缝跟踪扩大到了焊枪倾角的实时检测。

1.2 电流信号的处理

输入到神经网络中的电流值必须经过处理,这是因为原始的焊接电流信号不仅包含有用的特征信息,而且包含大量干扰噪声,如熔滴短路过渡噪声、送丝速度变化噪声、焊接熔池形状噪声、高频辐射噪声等等。需要通过信号处理来抑制噪声干扰、提高信噪比从而改善信号品质。采用低通滤波的方法来实现信号的处理,将一组输入的数字序列转化为一组输出的数字序列,并使特定频率范围内的信息被通过,而其它频率范围内的信息被阻止,从而达到增强信号,减少干扰的目的。具体做法如图2:首先进行非线性的去极值滤波,然后在时间和空间上采用均值和中值相结合的低通滤波方法,电弧传感器的每一圈被均匀地分为64点,每圈相同序号的点表示传感器处于空间上相同位置,在空间上采用窗长为3的中值滤波,这样三圈数据经过处理后就压缩成了一圈64个数据;接着对所得的一圈数据进行时间轴上长度为3的均值滤波,从而得到满足要求的电流信号。滤波前后的波形效果见图3:其中图3a为焊接过程中原始电流数据的波形,它的横座标值最大为192,对应着旋转电弧连续旋转三圈时各个采样时刻,纵座标为焊接电流经A/D转换后的数值,二者均为无量纲的数值;图3b为对图3a中的数据进行相应处理后得到的波形,横座标值最大为64,即将图3a中的三圈192点焊接电流值对应压缩为一圈64点。显然,通过滤波处理的方法,不但能够反映原始数据的变

化规律,而且通过低通滤波作用,能够对电流起到平滑处理的效果,增强数据的稳定性和倾角判断的可靠性。

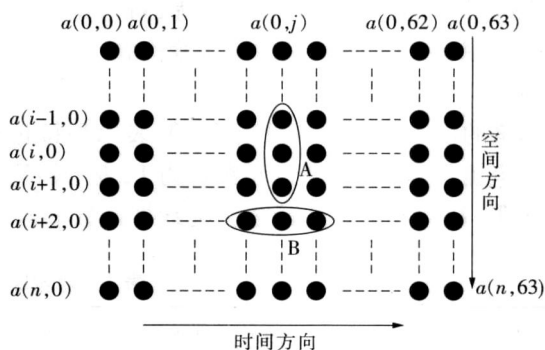
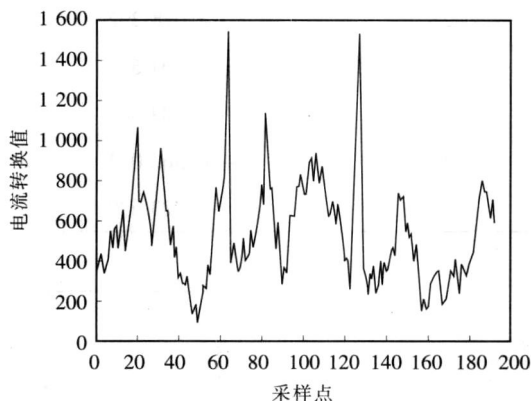
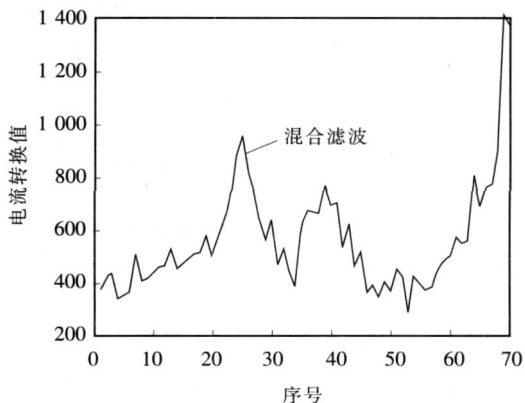


图2 电流滤波示意图



(a) 滤波前的三圈波形图



(b) 滤波后的波形图

图3 滤波处理效果比较图

2 倾角检测神经网络的设计和检验

从现有文献看,神经网络在焊接自动化领域的作用主要是模式识别和系统辨识^[4-8]。现尝试将前馈型BP神经网络引入焊枪倾角的实时检测中,建立在GMAW焊接过程中焊枪倾角和焊接电流之间的神经网络模型。具体步骤如下:首先确定网络的结构参数,包

括网络输入层、输出层和隐含层的层数, 各层神经元的数目, 神经元的传递函数等; 然后给定恰当的训练函数和结果的目标精度对网络进行训练, 对所得网络进行误差验证; 最后将所得网络用于试验检验。

2.1 神经网络的设计

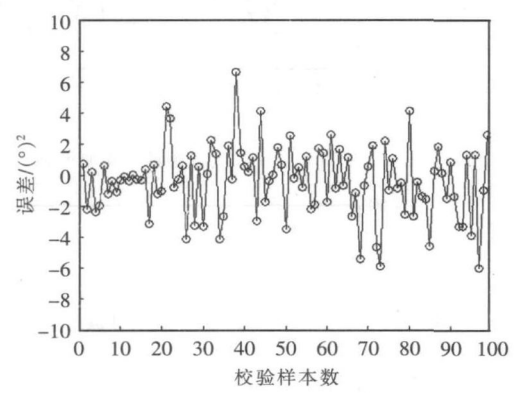
网络的输入神经元数设定为 10, 表示焊接过程中的实时电流值; 输出层神经元数目为 1, 表示检测到的焊枪倾角; 神经元的传递函数为纯线性函数 $\text{purlin}(x)$

$=x$; 网络包含一个隐含层, 神经元选取正切 S 型传函 $\text{tansig}(n) = 2 / (1 + \exp(-2n)) - 1$, 完成从输入到输出的映射。网络使用的学习函数为有导师的梯度下降动量学习函数 leamgdm , 采用 Trainlm 训练前向递归网络, 学习速率为 0.2, 网络训练后的均方误差 MSE 为 0.01; 为得到最佳的隐含层神经元数, 进行了对比试验, 得到表 1 所示的均方误差特征统计表。

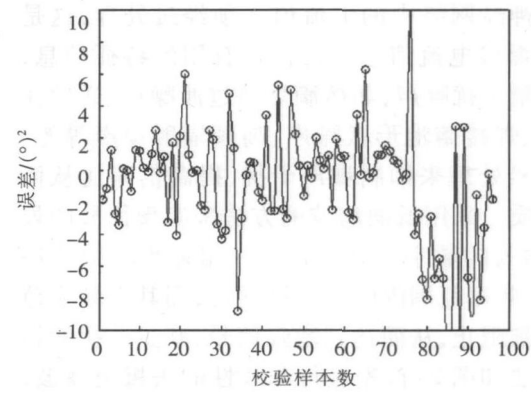
图 4 为对应网络的误差比较图。为比较方便, 将

表 1 隐含层神经元数不同时的误差统计表

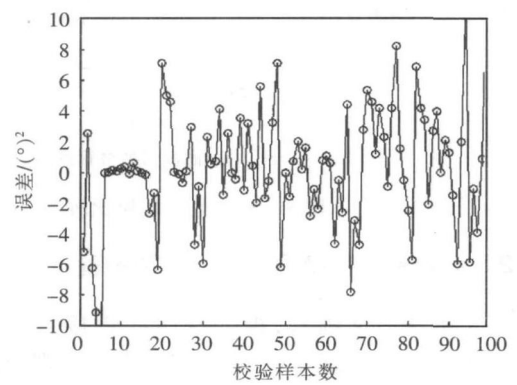
隐层神经元数	均方差最小值 $/(b)^2$	均方差最大值 $/(b)^2$	均方差平均值 $/(b)^2$	均方差中间值 $/(b)^2$
20	- 15.204 524	5 378 105	- 1 264 203	- 0.668 829
25	- 5.018 292	4 990 99	- 0.350 919	- 0.549 314
30	- 9.404 698	7 427 059	- 1 093 803	- 0.801 341
35	- 9.989 307	11 069 59	- 1 150 735	- 0.514 406
40	- 10.362 022	6 014 854	- 0.151 310	0.013 843
45	- 7.703 630	6 857 248	- 0.408 300	- 0.223 810



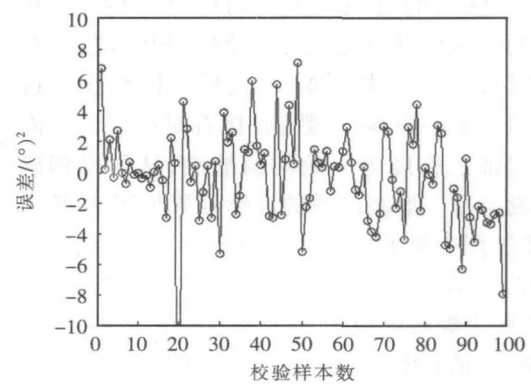
(a) 隐含层神经元数为 25 时的误差图



(b) 隐含层神经元数为 30 时的误差图



(c) 隐含层神经元数为 35 时的误差图



(d) 隐含层神经元数为 40 时的误差图

图 4 取不同隐含层神经元数时的误差图

误差图的纵座标均设为 (- 10 10)。当中间神经元数目为 25时,经过 112步即可达到 0.01的误差要求。实际训练后的 MSE 为 0.009 962 88,所以选用了 10- 25 - 1的三层网络结构。

表 2 倾角检测试验焊接条件

焊接速度 v/(cm#m in ⁻¹)	空载电压 U/V	焊接电流 I/A	旋转频率 f/H z	旋转半径 r/mm	保护 气体
50	25	165	17	2.5	18% CO ₂ + 82% Ar

为在焊接试验中使用训练后的网络,设计了相应的 VC程序来实现该神经网络的非线性映射功能,利用神经网络方法进行倾角检测的程序界面如图 5所示。试验前,选中 /倾角检测 0复选框和 /神经网络法 0单选框,然后按 /开始 0按钮,焊接开始后在 /前倾角度 0文本框和 /后倾角度 0文本框内就会实时显示出焊枪倾角的当前检测值。由于这时进行的是对中焊接时的倾角检测,所以 /自动跟踪 0复选框也应选中。

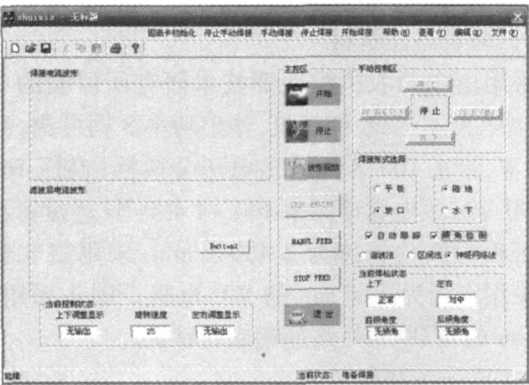


图 5 倾角检测程序界面

3 结 论

- (1) 神经网络具有强大的非线性映射功能,可以用来实现倾角的检测。
- (2) 焊接工艺的确定是所有分析的前提,如送丝速度加快,会导致单位时间内短路次数增加,随之而来的是熔池形状的变化,必然导致焊接电流变化的差异,从而得到不同的神经网络;此外,旋转半径的不同使焊枪扫过的空间位置不同,同样会得到不同的网络结果。故所有的分析必须和焊接工艺相结合。
- (3) 隐含层神经元数目越多,训练速度越快,但使

2.2 神经网络倾角检测试验

试验条件如表 2所示,按每 5b一档的间隔将倾角从后倾 40b到前倾 40b分为 17档,规定焊枪前倾为正值,焊枪后倾为负值。

- 用时所用的计算时间会增大且网络不一定最优。网络训练的结果和初始值相关,可以通过多次训练选择效果良好的网络。
- (4) 利用所得的网络可以实现角度的内插能力和外推能力,这是网络的优势之一,但外推结果一般较内插更不可靠。
- (5) 由于焊接过程的不稳定性,在实时的倾角检测中会出现输出跳跃的现象,最大误差达 15b及以上,但总体的检测结果比较令人满意。

参 考 文 献

[1] 宋晓梅,张 勃. 针对焊缝跟踪传感器的研究和探索 [J]. 沈阳大学学报, 2002, 14(4): 22- 24

[2] 廖宝剑,吴世德,潘际奎. 电弧传感理论模型及信息处理 [J]. 焊接学报, 1996, 17(4): 263- 271.

[3] 熊震宇,张 华,潘际奎. 电弧传感器的发展状况及应用前景 [J]. 焊接技术, 2001, 30(5): 2- 6

[4] 余海燕. 基于神经网络的低碳钢点焊质量在线监测的研究 [D]. 吉林: 吉林大学, 2006

[5] 滕文华,张勇智. 电子束二次熔焊人工神经网络模型的建立和分析 [J]. 热加工工艺, 2006, 35(11): 73- 74

[6] 叶建雄,张 华,谢剑锋. 神经网络在焊缝跟踪中的应用研究 [J]. 焊接技术, 2006, 35(2): 20- 22

[7] 高向东,黄石生. 弧焊过程中的人工神经网络焊缝检测技术 [J]. 焊接学报, 1998, 19(12): 118- 123.

[8] 孙 华,王 炎,周卫东. 人工神经网络在焊缝跟踪中的应用 [J]. 黑龙江自动化技术与应用, 1997, 16(3): 5- 7, 4

作者简介: 叶建雄, 1969年出生, 博士, 研究方向为焊接自动化和机电系统开发, 已发表论文近 20篇, E 收录 5 篇。

Detection of welding torch angle based on artificial neural network

Ye Jianxiang¹, Zhang Fayun², Ren Hua²

(1. Nanchang Institute of Technology, Nanchang 330099, China; 2. Jiangxi Xinyu College, Xinyu 338000, Jiangxi, China). p36- 39

Abstract The use of rotating arc sensor in real time detection of welding torch angle was realized by artificial neural network (ANN) with nonlinear mapping function. The principle and methods of welding torch angle detection were discussed, and then the structure of network was determined by comparing a large number of test results. A Back Propagation (BP) network was used. Although the trained BP is closely related to welding parameters, its better parallel calculation and generalization abilities still lead to satisfied results in GMAW to detect angle of welding torch.

Key words rotating arc sensor, welding torch angle, detection, artificial neural network (ANN)

WC coating deposited by electric spark process on high speed steel

Zhang Hu¹, Ma Yuejin¹, Hao Jianjun¹, Chen Zhiqiang²

(1. Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, Hebei, China; 2. Zhonghang Huiteng Windpower Equipment Co., Ltd, Baoding 071001, Hebei, China). p40- 42

Abstract WC cemented carbide coating was deposited on W18Cr4V high speed steel with electric spark deposition machine modeled DZ-1400, and the WC was used as electrode and the argon gas as shielding gas. The microstructure of coatings was investigated with microscope. The microhardness and thickness of coatings was tested by hardness testing device. The results by drilling on cast iron and 45# steel showed that the average tool life of the WC coating on high speed steel twist drill is 10 and 13 times than those of the uncoated drills and the wear rate of the twist drill is significantly reduced.

Key words WC coating, deposited by electric spark, high speed steel twist drill

Metal transfer modes and evaluation of usability of stainless steel electrode

Wang Bao

(Technology Center of Welding Consumables, North University of China, Taiyuan 030051, China). p43- 46

Abstract Process stability is the main factor in influencing the usability of stainless steel electrode. In order to evaluate usability of the stainless steel electrode, welding electric parameters were measured by the analyser HANNOVER. Tendency of flux wall guided transfer mode was analyzed. The results show that it correlates with probability density of short circuiting voltage and short circuiting frequency. The sum of probability density of short circuiting voltage $2n(U_s)$ and the sum of short circuiting frequency $N(T_1)$ were hereby defined as evaluation criterions for usability of the stainless steel electrode. And then, usability was evaluated. Practical applications indicate that this method can quantitatively judge metal transfer modes and scientifically evaluate usability of the stainless steel electrode.

Key words stainless steel electrode, analyser HANNOVER, welding arc physics

Analyses on cracks in the P91 main pipe thermocouple inset and their repairing online

Yu Jinyun, Zhang Jiagang

(Zhejiang Thermal Power Construction Co., Hangzhou 310016, China). p46- 49

Abstract During a boiler hydraulic pressure test, cracks were found at the joining place of thermocouple insets on P91 main pipes. In order to eliminate the cracks, reasons were analyzed from the structure, material and welding procedure. A corresponding online repairing technique was developed and carried out, and then the repaired places were inspected by means of visual inspection, nondestructive test, hardness test and metallographic test. The boiler has been working for more than two years, and no problem occurs anymore, which proves that the developed repair technique is applicable.

Key words P91, main pipe, thermocouple inset, crack, causation analysis, repair online