

连续油管直缝高频焊热影响区 最薄弱区硬度的神经网络预测*

李继红¹, 李琳¹, 赵鹏康¹, 余晗^{2,3}, 毕宗岳^{2,3}, 张敏¹

(1.西安理工大学 材料科学与工程学院, 西安 710048;

2.宝鸡石油钢管有限责任公司 钢管研究院, 陕西 宝鸡 721008;

3.国家石油天然气管材工程技术研究中心, 陕西 宝鸡 721008)

摘 要: 通过试验得出了连续油管 HFW 焊接接头最薄弱区域的力学性能, 采用 BP 神经网络对该区域工艺性能进行仿真预测, 研究了不同训练函数对网络性能的影响。对比分析不同训练函数下的网络性能, 得出连续油管 HFW 焊接接头最薄弱区线能量-硬度预测模型, 最终选取 LM 算法、SCG 算法和动量 BP 算法对网络进行训练, 采用这 3 种算法建立起的线能量-硬度模型精度较高, 测试数据预测值与实测值平均相对误差分别为 0.12%, 0.095% 和 0.11%, 表明神经网络模型能够很好地对“未知”硬度进行预测。

关键词: 连续油管; HFW; BP 神经网络; 硬度

中图分类号: TE973

文献标志码: A

文章编号: 1001-3938(2012)07-0005-04

The Neural Network Prediction of Hardness in the Weakest Area of Coiled Tubing in HFW HAZ

LI Ji-hong¹, LI Lin¹, ZHAO Peng-kang¹, YU Han^{2,3}, BI Zong-yue^{2,3}, ZHANG Min¹

(1. School of Material Science and Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;

2. Steel Pipe Research Institute Baoji Petroleum Steel Pipe Co., Ltd, Baoji 721008, Shaanxi, China;

3. National Petroleum and Gas Tubular Goods Engineering Technology Research Center,
Baoji 721008, Shaanxi, China)

Abstract: The mechanical properties of the weakest area in HFW joint of coiled tubing were obtained by experiment. The simulation and prediction to process performance in the said area were conducted by adopting BP neural network, the effect on network performance of different training function was studied, and the network performance under different training function were compared and analyzed. In the end, the line energy-hardness prediction model of the weakest area in HFW joint of coiled tubing was received. The LM, SCG, and BP algorithm were selected to train the network, the precision of line energy-hardness prediction model which was built by the said three algorithm is higher, and the average relative error of predicted and measured values in test data is 0.12%, 0.095% and 0.11% respectively, which shows that the neural network model can well predict the unknown hardness.

Key words: coiled tubing; HFW; BP neural network; hardness

* 基金项目: 陕西省教育厅自然科学基金资助项目(00k904); 陕西省重点学科建设专项资金资助项目(00X901)。

0 前 言

连续油管(coiled tubing, 简称 CT)是相对于用螺纹连接的常规油管而言的特殊类型油管, 长度一般为几百米甚至几千米。由于在使用过程中要发生弯曲, 故该管又称为挠性油管、蛇形管或盘管。经过几十年的发展, 连续油管产品从最初的短管对接发展到直接生产几千米长的单根连续油管, 材料已从普通碳素钢发展并形成高强度低合金连续油管系列, 钢级已从最初的 CT55 发展到 CT90, 对应的强度级别为 483 MPa 和 689 MPa, 产品性能发生了根本性改变。目前美国已研制开发出了 CT110 超高强度的连续油管^[1]。

连续油管在生产和使用过程中, 要用到 3 种焊接方法, 分别为等离子焊、直缝高频焊和管管对接 TIG, 其中直缝高频焊是使用最多的焊接方法。鉴于此, 本研究将以改进直缝高频焊热影响区最薄弱区力学性能为目标, 采用 BP 神经网络对该区域的硬度进行预测, 分析不同工艺条件下该区组织性能变化规律, 最终建立神经网络预测模型。

1 试验方法及数据采集

通过对连续油管直缝高频焊(HFW)焊接接头热影响区的热模拟研究, 得出 HFW 焊接接头热影响区的 4 个区中, 不完全正火区为最薄弱区域。针对此区域, 改进焊接工艺参数, 在 Gleeble-1500 热模拟试验机上模拟, 通过试验得出各种焊接工艺下的参数及焊后最薄弱区的硬度, 见表 1, 其中部分数据作为对网络的训练数据, 部分数据作为对训练后网络的检验数据。

表 1 线能量-硬度模拟数据

线能量/(kJ/cm)		硬度 HV ₃₀	
训练数据	检验数据	训练数据	检验数据
3.0, 3.96, 5.0	3.48, 4.48	289.2, 288.2, 287.4	288.7, 287.8

2 神经网络建模

BP 网络是单向传播的多层前向网络, 由输入层、隐层和输出层构成^[1]。层间各个神经元实现全连接, 即下层的每一个神经元与上层的每一

个神经元都实现权连接, 而每层各神经元之间不连接, 网络中每一层神经元的连接权值都可以通过学习来调整。对于给定一个输入节点数为 N 、输出节点数为 M 的 BP 网络, 输入信号由输入层到输出层传递, 通过非线性函数来复合完成从 N 维欧氏空间到 M 维欧氏空间的映射, 该过程是向前传播的过程。如果实际输出信号与期望值存在误差, 网络就转入误差反向传播过程, 并根据误差的大小来调节各层神经元之间的连接权值, 从而使网络的输出逐渐接近所希望的输出, 最终误差满足要求, 网络的学习过程结束, 获得学习成功后的权值^[2]。

本研究采用三层 BP 神经网络, 误差均方差设为 0.000 1, 采用以下经验公式^[3], 结合网络误差曲线、训练步长、均方差(mse)及标准差(res)来优选隐层节点数:

$$n_1 = \sqrt{n+m} + a \quad (1 \leq a \leq 10) \quad (1)$$

式中: n_1 —网络的隐含层单元数;

n —输入神经元数;

m —输出神经元数;

a —常数。

在节点数一定的前提下, 分别采用 LM 算法、SCG 算法、BFGS 算法和动量 BP 算法对网络进行训练, 这 4 种算法对应的训练函数分别为 trainlm, trainscg, trainbfg 及 traingdm, 通过对比分析得出了最优的网络预测模型^[4]。最终选取的网络结构为 1×10×1。

3 网络训练结果

图 1~图 4 分别列出了采用 trainlm, trainbfg, trainscg 及 traingdm 训练函数下, 网络误差曲线训练数据预测值与实测值拟合情况以及检验数据预测值与实测值拟合情况。表 2 列出了采用这 4 种训练函数训练后的网络性能, 结合图表可以看出, 采用 4 种训练函数时, 网络均以不同迭代次数达到了预设目标; 训练数据预测值与实测值拟合效果很好, 平均相对误差的绝对值均接近于 0。检验数据预测值与实测值拟合效果有所区别: 当采用 trainlm, trainscg 和 traingdm 训练函数时检验数据预测值与实测值平均相对误差均小于 1%, 拟合效果良好; 当采用 trainbfg 训练函数时

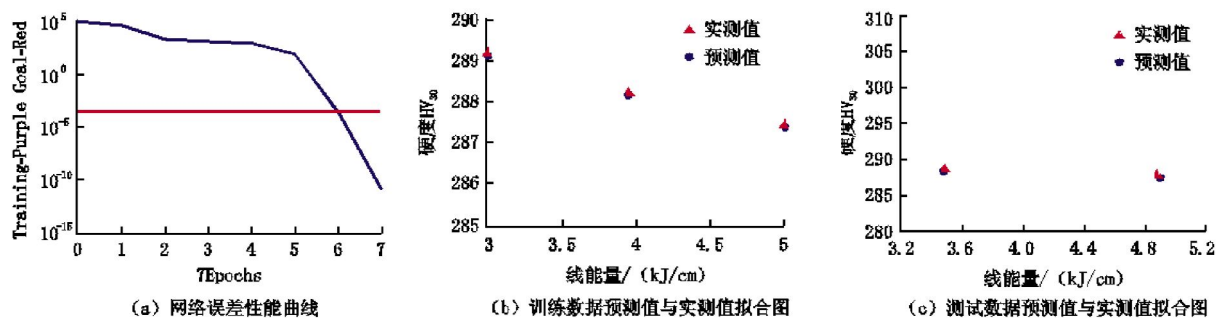


图1 采用 trainlm 训练函数训练后网络结果

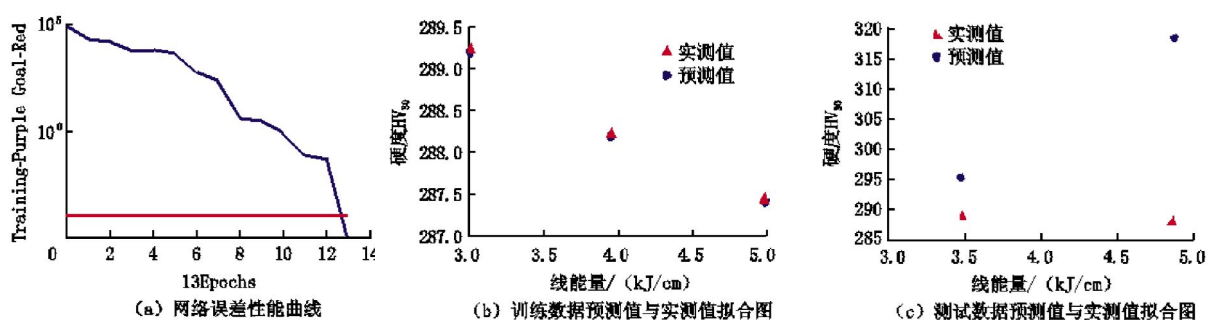


图2 采用 trainbfg 训练函数训练后网络结果

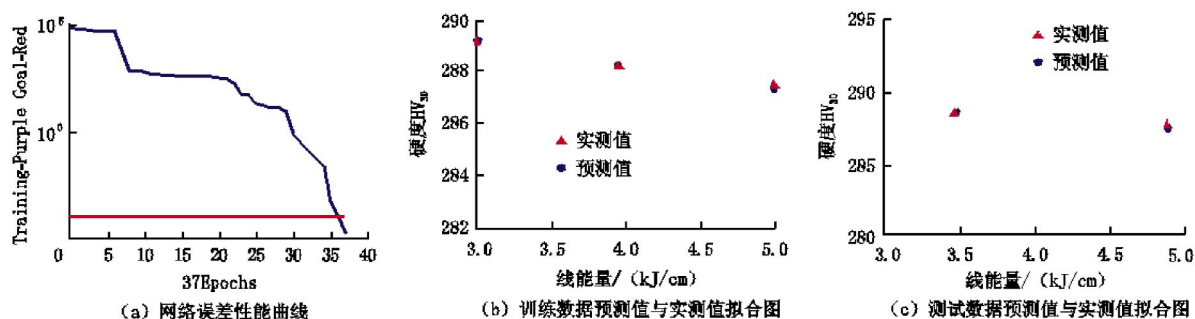


图3 采用 trainscg 训练函数训练后网络结果

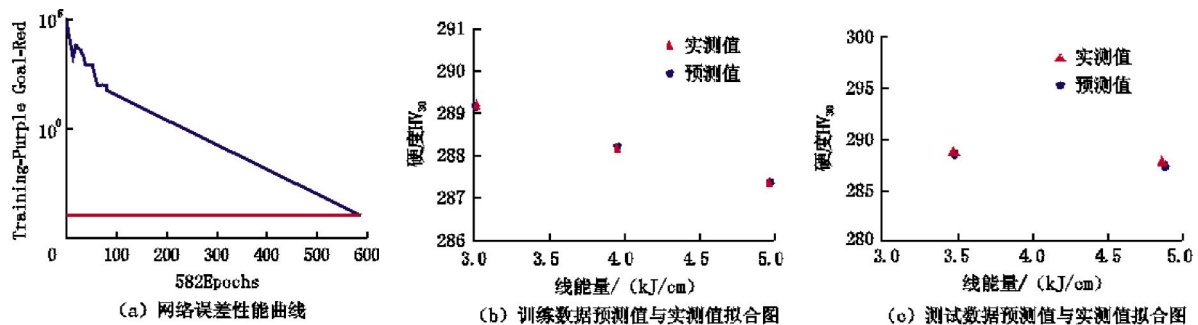


图4 采用 traingdm 训练函数训练后网络结果

表 2 4 种训练函数下的网络性能

训练函数	训练步长	平均相对误差/%	
		训练数据	测试数据
trainlm	7	0	0.12
trainbfg	13	0	6.22
trainsecg	37	0	0.095
traingdm	582	0	0.11

检验数据预测值与实测值平均相对误差为 6.22%，相比其它 3 种训练函数误差偏大。

结果表明采用 trainlm，trainsecg，traingdm 训练函数训练后的网络预测值与实测值拟合效果良好，能够对“未知”硬度进行预测，网络值得信赖。

4 结 语

通过对 HFW 焊接接头最薄弱区性能进行研究，采用 BP 神经网络建立了线能量-硬度模型，分别采用 4 种算法对网络进行训练，对比分析训练结果最终选取 LM 算法、SCG 算法和动量 BP 算法对网络进行训练，采用这 3 种算法建立起的线

能量-硬度模型精度较高，测试数据预测值与实测值平均相对误差分别为 0.12%，0.095%和 0.11%，网络能够很好的对“未知”硬度进行预测。

参考文献：

[1] 毕宗岳,付宏强.高强度连续油管[J].焊管,2007,35(06):85-86.
[2] 朱凯,王正林.精通 MATLAB 神经网络[M].北京:电子工业出版社,2010:193-224.
[3] 朱大奇,史慧.人工神经网络原理及应用[M].北京:科学出版社,2006:33-53.
[4] 王清,那月,孙东立,等.GH99 合金 TIG 焊焊接接头拉伸性能的人工神经网络预测[J].焊接学报,2010,31(03):77-80.
[5] 周开利,康耀红.神经网络模型及其 MATLAB 仿真程序设计[M].北京:清华大学出版社,2005:69-100.

作者简介:李继红(1973—),男,工学博士,讲师,主要从事新型焊接材料、焊接结构断裂强度和焊接工程结构方面的研究。

收稿日期:2011-12-03
编辑:黄蔚莉

我国油气管道总长度已达 9.3 万 km

截至 2012 年上半年，我国油气管道总长度已达 9.3 万 km，而 2004 年我国油气管道总长度还不到 3 万 km。油气管网是能源输送的大动脉。过去 10 年，我国油气管网建设加速推进，覆盖全国的油气管网初步形成，东北、西北、西南和海上四大油气通道战略布局基本完成，我国油气供应保障能力明显提升。

这 10 年中，我国形成了由西气东输一线和二线、陕京线、川气东送为骨架的横跨东西、纵贯南北、连通海外的全国性供气网络。“西气东输、海气登陆、就近外供”的供气格局已经形成，并形成了较完善的区域性天然气管网。中哈、中俄、西部、石兰、惠银等原油管道构筑起区域性输油管网，以兰成渝、兰郑长等为代表的成品油管道，作为骨干输油管道，形成了“西油东送、北油南下”的格局。

这 10 年来，困扰我国多年的 80%进口原油必经马六甲海峡这一战略咽喉要道的不利局面出现根本改观。在西北，我国首条跨国原油管道中哈原油管道全线贯通，横贯中土哈乌四国的中亚天然气管道工程正式投产。在东北，中俄原油管道已投入运营。在西南，中缅油气管道境内外全线开工建设。西北、东北、西南及海上四大油气进口战略通道格局初现。

“十二五”期间，我国四大油气进口战略通道建设将进一步加速，中哈原油管道二期、中亚天然气管道二期即将建设，中俄天然气管道正在规划中。国内油气主干管网将建设西气东输三线、四线，西气东输陕京线以及川气东送等骨干天然气管道及联络线将进一步建成和完善。预计到 2015 年，我国油气管道总长度将达 15 万 km 左右，覆盖全国的油气管道将与进口战略通道一起，为满足我国油气需求搭建畅通的能源通道。

(罗 刚 供稿)