

基于 SCNN 的转子热应力场的实现研究

高晶波¹, 张嘉钟¹, 夏松波¹, 郑铁旭²

(1. 哈尔滨工业大学 航天学院, 黑龙江 哈尔滨 150001; 2. 大庆油田热电厂, 黑龙江 大庆 156000)

摘 要: 热应力是监测机组寿命损耗的重要量, 但现在对热应力的实时计算方法大多是采用解析方法, 由于解析方法是对转子二维轴对称热传导方程的简化, 这给热应力的计算结果带来了误差。基于这种背景, 本文利用了有限元计算热应力场的中间计算结果, 应用结构可控的前向神经网络(SCNN)方法, 仿真了热应力场的整体刚度矩阵代数方程组的求解, 应用所得的节点位移, 可求出转子的热应力场。

关 键 词: 神经网络; 有限元; 热应力场

中图分类号: TP183

文献标识码: A

1 前言

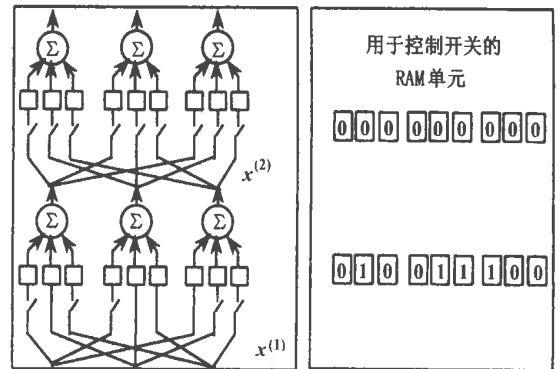
汽轮机在启停机过程中, 热应力是监测机组寿命损耗的重要参数^[1], 在国外已根据对转子热应力的监测实现了机组的自动启停机, 而我国在机组的自动启停机方面应用较晚, 而且现在对热应力的监测计算方法均是采用解析的计算方法。由于解析方法是把汽轮机转子看为一个无限长的一维圆柱体, 忽略其轴向热流, 通过这种简化的计算方法能够实现转子危险点热应力的快速计算, 但是也给热应力的计算结果带来了误差。基于这一背景, 本文利用有限元的中间计算结果, 应用结构可控的前向神经网络(SCNN)方法实现了热应力场的整体刚度矩阵代数方程组的节点位移求解, 根据每一节点位移, 进而求出转子热应力场。

2 结构可控的前向神经网络原理

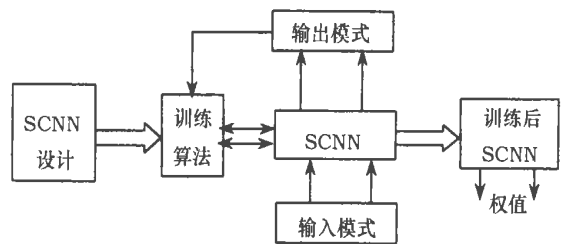
结构可控的多层前向神经网络(简记为 SCNN)^[2], 它是一两级多层神经网络: 第一级由随机存储器(RAM)组成; 第二级是一多层神经网络, 其中的神经网络模型是一多输入—单输出加权求和器, 其权值通过神经网络学习算法训练且由第一级 RAM 予以控制, SCNN 的结构如图 1 所示。

由图 1 可知, SCNN 具有前向和误差反馈两类连接, 其中误差反馈仅在学习训练时使用。每一权值

都连有一个“开关”: 当“开关”接通时, 相应的连接权值通过学习算法来修正; 而当“开关”断开时, 相应的连接权值维持不变。这些“开关”的状态由 RAM 网络来控制, 每一个 RAM 元件对应一个“开关”, RAM 网络为 SCNN 的第一级。



(a) 可编程 SCNN 一般结构



(b) SCNN 计算过程

图 1 SCNN 的基本结构

当某个 RAM 元件被置为“1”时, 对应的“开关”处于接通状态; 而当某一个 RAM 元件被置为“0”时, 对应的“开关”就处于断开状态。因此, 通过适当的给定 RAM 的值, 就可以控制权值的学习与否, 进而通过适当的选取权值初值来控制 SCNN 的第二级网络。

自适应 SCNN 神经网络方法是把矩阵代数问题作为特殊的模式识别问题, 并用特定的 SCNN 网络匹配期望的模式。

3 应用 SCNN 方法实现热应力场的节点位移代数方程组

应用有限元法实现转子网格中节点的代数方程组为： $[K]\{\delta\} = \{R\}$ ，其中 K 为整体刚度矩阵， δ 为节点位移列向量， R 为温度引起的总体节点载荷。 $K \in R^{m \times m}$ ， $\delta \in R^m$ ， $R \in R^m$ ， m 为转子热应力场划分的节点数。

设有一个二级三层 SCNN，设 RAM 赋值为：

$$\text{ram}(1, i, j) = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ 0 & j \neq 1 \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{ram}(2, i, j) = 0 \quad i = 1, 2, \dots, m$$

则 SCNN 第一级的 RAM，对任何 i 值，只有第一个“开关”设为 1，其它“开关”均为 0；SCNN 第二级的 RAM，对任何 i 值，“开关”均为 0。

设 SCNN 权值矩阵的初值矩阵为：SCNN 的第一级权矩阵值为 0；SCNN 第二级的权矩阵值为： $W^2 = A$ 。

网络采用 BP 网络，权值学习规则为^[2]：

$$W_{ij}^h(t+1) = W_{ij}^h(t) + \Delta W_{ij}^h \text{ram}(h, i, j) \quad (2)$$

其中 ΔW_{ij}^h 表示更新规则； t 表示更新步数，因此：

(1) 如果 $\text{ram}(h, i, j) = 0$ ， W_{ij}^h 将保持不变，且始终等于 $W_{ij}^h(0)$

(2) 如果 $\text{ram}(h, i, j) = 1$ ， W_{ij}^h 将依梯度更新规则变化。

BP 网络的训练模式为：输入模式为 1，输出模式为 R ，当解匹配完成后，权矢量 W_1^1 为热应力场整体刚度矩阵代数方程组所要求的解， W_1^1 表示为权矩阵 W^1 的第一列。工作

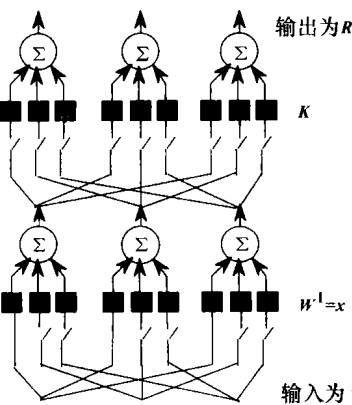


图 2 SCNN 解热应力节点位移代数方程组工作图

过程如图 2 所示。

4 应用 SCNN 方法的仿真

设有一个网格图如图 3 所示，边界条件：边 12 的 z 方向位移为零，其余皆为自由边界。

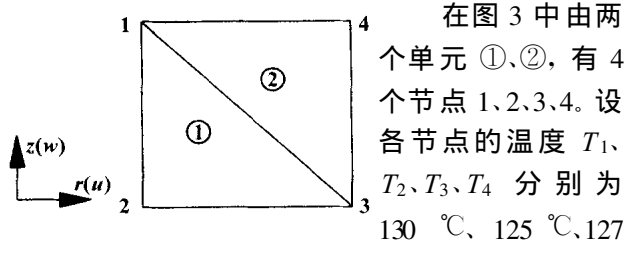


图 3 网格图

在图 3 中由两个单元 ①、②，有 4 个节点 1、2、3、4。设各节点的温度 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 分别为 130°C 、 125°C 、 127°C 、 129°C 。设节点价

值 (r, z) 为 $(0, 1)$ 、 $(0, 0)$ 、 $(1, 0)$ 、 $(1, 1)$ 。

根据前几节介绍的 SCNN 解热应力节点位移方程组的方法，本节对图 3 的节点位移方程组进行了仿真。

在仿真的 SCNN 方法中，采用的神经网络是 BP 神经网络，每一层神经网络采用的传递函数是线性激励传递函数，在 MATLAB 中用 purelin 函数表示。

神经网络的训练方法采用 BP 神经网络的训练模式，权值的更新规则采用式 (2) 的方法更新，即对于第一层神经网络设网络的初值权值为零，第二层神经网络的初始权值为整体刚度矩阵值。在训练网络时，第一层中只更新第一层中每一个神经元的第一个权值，而且，如果是已知的边界条件，即节点 1、2 的 z 方向的位移为 0，则第一层第 2 个神经元的权值为 0，第一层第 4 个神经元的权值为 0，其它权值不变，即总为 0；第二层神经网络的权值始终不变，即总为整体刚度矩阵值。

神经网络训练的输入为 1，输出为等效节点载荷向量 P 。

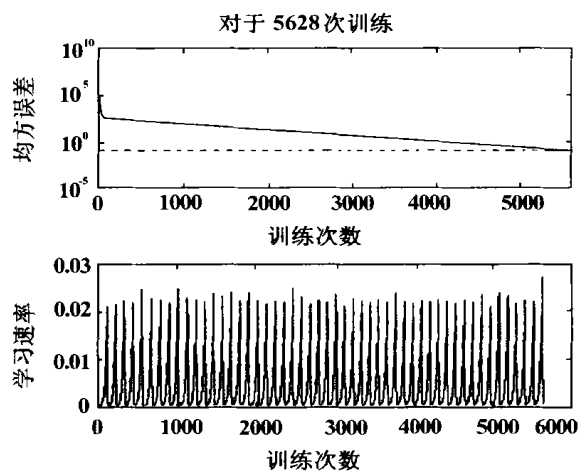


图 4 神经网络训练的均方误差图及学习速率曲线

这样，神经网络训练中，设训练误差小于 0.1 时，训练停止。训练的误差图和学习速率图如图 4。

网络经过 5 628 次训练达到训练要求。

这样, SCNN 方法求解出的图 3 的每一个点的位移为:

$$\delta = \{-11.27640 \quad -1.92330 \quad 123.0878 \quad -20.8610 \quad 73.8298 \quad 64.2808\}^T$$

与通过有限元计算的精确解相比较, 见表 1。

表 1 仿真结果比较

	各点位移值					
精确值	-11.49110	-1.79280	123.2430	-20.4821	73.6679	64.6769
SCNN	-11.46570	-1.81040	123.2248	-20.5126	73.6726	64.6838

5 结论

本文应用 SCNN 方法仿真了有四个节点、两个

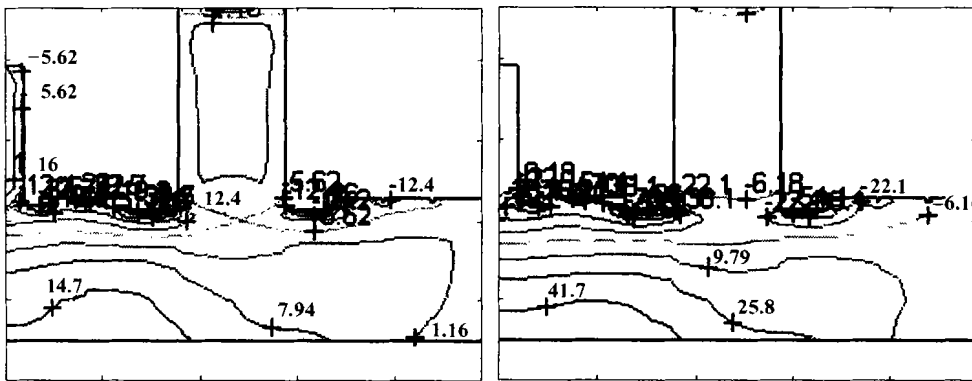


图 5 温升率为 1 °C/min 时不同时刻热应力场

单元的整体刚度矩阵代数方程组, 仿真结果表明, 该方法是有用的, 但该方法训练时间长。本文作者在已知温度场各节点温度的情况下, 仿真了汽轮机转子的二维温度场, 仿真时间很长, 因此, 应用此种方

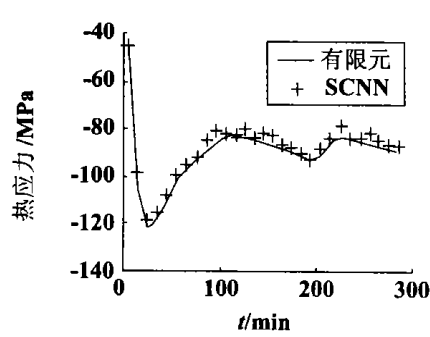


图 6 SCNN 方法与有限元的计算结果在转子热应力最大值处的热应力值的比较

法只有在应用神经网络处理芯片或 DSP 等芯片上实现, 如果应用微型计算机训练神经网络显示不出神经网络的优越性。图 5 是应用 SCNN 神经网络仿真转子二维热应力场的场图。图 6 是应用 SCNN 方法计算的结果与有限元计算的方法的比较, 从仿真结果可以看出, SCNN 方法实现热应力场是有效的。

SCNN 方法利用有限元的中间计算结果实现热应力场的计算, 是把有限元的计算结果作为标准值进行计算的, 有限元的计算结果与转子热应力场的真实值的比较可以参考其它文献。

参考文献:

[1] 张保衡. 大容量火电机组寿命管理与调峰运行[M]. 北京: 水利电力出版社, 1998.
 [2] 焦李成. 神经网络计算[M]. 西安: 电子科技大学出版社, 1996.

(何静芳 编辑)

《水利电力机械》(双月刊)

《水利电力机械》1979 年创刊, 国家电力公司主管, 国内外公开发行, 主要面向电力系统的管理部门、电力(水电)设计院、水利和电力工程施工单位、电力设备制造厂、火力发电厂、水电站及系统外机械行业和相关高等院校。本刊已由《中国期刊网》、《中国学术期刊(光盘版)》、《中国学术期刊综合评价数据库》全文收录。

欢迎订阅, 欢迎投稿, 欢迎刊登广告

国内定价: 6 元/期 36 元/年

地址: 郑州市陇海中路 57 号 邮编: 450052 电话: 0371-7423706

电子信箱: s7423706@public2.zz.ha.cn

网址: <http://www.cnki.net/abjbydy.htm>

汉] WANG Xin-xin, XU Xiang-dong (Department of Thermal Engineering, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2002, 17(1). —51 ~ 54

In connection with the features of a fluidized bed boiler control system and the existing problems in its operation and management a study was conducted of the theory of a decoupled and generalized predictive control as well as multivariable parameter evaluation. A predictive control theory was selected to design the predictive instruction system of a fluidized bed boiler along with a simulation research of the predictive instruction system. Through the simulation study obtained was the parameter selection mechanism of the above-mentioned system. Meanwhile, the study results were applied with excellent results in engineering practice, e. g. in the design of a predictive instruction system for a factory in Laixi and the provision of guidance and training for worker's operation. As the design method of the system is applicable to all cases, it has also been employed in other similar systems. **Key words:** fluidized bed, predictive instruction system, decoupled and generalized predictive control

基于 SCNN 的转子热应力场的实现研究 = A Study of the Thermal Stress Field Based on SCNN (Structure-Controllable Neural Network) [刊, 汉] / GAO Jing-bo, ZHANG Jia-zhong, XIA Song-bo, et al (Aerospace College under the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2002, 17(1). —55 ~ 57

Thermal stress constitutes a major parameter for monitoring the loss of steam turbine service life. To date, for the real-time calculation of thermal stresses employed in most cases is an analytical method. As the analytical method involves a simplification of the two-dimensional axial-symmetric heat conduction equation for a rotor, it will lead to some errors in evaluating the thermal stress. In view of this, by way of the intermediate calculation results of a finite element analysis for the thermal stress field the authors have utilized a SCNN (structure-controllable neural network) method to simulate the solution of an algebraic equation of integral rigidity matrix for the thermal stress field. By using the displacement of nodes thus obtained, one can identify the thermal stress field of a rotor. **Key words:** neural network, finite element, thermal stress field

利用面阵 CCD 进行火焰温度分布测量(I)——二维投影温度场的测量 = Measurements of Flame Temperature Distribution by the Use of a Colored Array CCD (Charge-coupled Device) (I) the Measurement of a Two-dimensional Projection Temperature Field [刊, 汉] / WEI Cheng-ye (Network Technology Research Department under the Guangdong Telecommunications Science & Technology Research Institute, Guangzhou, China, Post Code: 510630), YAN Jian-hua, SHANG Min-er, et al (Thermal Power Engineering Institute under the Zhejiang University, Hangzhou, China, Post Code: 310027) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2002, 17(1). —58 ~ 61

The make-up and basic principles of a flame temperature measuring system using colored array CCD (charge-coupled device) are described along with an analysis of its major error sources. To cope with these error sources, the authors have come up with respective resolution methods or correction algorithms. Finally, test measurements were made, which indicate that this measuring method is easy to use and features a relatively high precision. **Key words:** charge-coupled device, temperature measurement, calorimetric method of temperature measurement

移动颗粒层过滤除尘的数值模拟及实验对比 = Numerical Simulation and Experimental Contrast of the Dust Filtration of a Moving Granule Bed [刊, 汉] / YUAN Zhu-lin (Education Ministry Key Lab on Clean Coal Power Generation and Combustion Technology under the southeastern University, Nanjing, China, Post code: 210096), XU Shi-sen, (Thermal Power Research Institute of National Electric Power Corporation, Xi'an, China, Post Code: 710032) //