

钢坯瞬态温度场预报模型与虚拟现实可视化的研究

张翠敏, 杨承志, 田宏伟, 陈鹏, 李仁俊
(昆明理工大学 信息工程与自动化学院, 云南 昆明 650051)

摘要: 采用机理建模和辨识建模相结合的办法, 建立了加热炉钢坯瞬态温度场预报模型, 并应用虚拟现实建模语言实现了钢坯温度场的虚拟现实可视化。

关键词: 钢温预报; 有限差分法; 动态BP网络; 可视化; 虚拟现实建模语言

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2003)01-0077-04

The Modeling and Visualization of the Temperature Field of Slab in Reheating Furnace

ZHANG Cui-min, YANG Cheng-zhi, TIAN Hong-wei, CHEN Peng, LI Ren-jun

(Faculty of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, China)

Abstract: A slab temperature field prediction model is proposed through the combination of mechanism modeling and identification modeling, and the temperature field is visualized by using the Virtual Reality Modeling Language.

Key words: slab temperature prediction; finite difference method; dynamic BP neural network; visualization; VRML

0 引言

钢坯加热的质量直接影响轧材的质量、能源的消耗和轧机的寿命等^[1]。针对加热炉钢坯温度在线的测量困难的问题, 一直以来, 钢坯温度预报问题倍受关注; 而面对钢坯温度预报的数据量大、工程分析不直观的问题, 钢坯温度场的科学计算可视化问题显得尤为重要。

1 钢坯内部瞬态温度场的数值计算

1.1 加热炉加热过程中的假设^[2]

为降低所建模型的复杂程度, 本文根据加热炉热工机理分析、生产过程实际采集数据分析及操作人员的实际操作经验对加热炉加热过程作如下合理简化:

- (1) 炉温沿炉长方向上分段线性分布;
- (2) 钢坯只有四个表面存在热量交换, 即上、下表面和两个端面存在热量交换;
- (3) 每个时刻每一块钢坯表面上的任意点的温度为相同值(下表面黑印的温度除外)。

1.2 钢坯内部传热模型

根据上述假设钢坯的导热微分方程^[1]为:

$$\frac{\partial t(x, y, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{\rho c} \left[\frac{\partial^2 t(x, y, \tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t(x, y, \tau)}{\partial y^2} \right] \quad (0 \leq \tau \leq \tau_f)$$

式中: λ —钢坯的导热系数; ρ —钢坯的密度; c —钢坯的热容量; τ —加热时间;

τ_f —钢坯入炉至出炉的时间; $t(x, y, \tau)$ —钢坯在加热时刻 τ 时 (x, y) 点的温度;

收稿日期: 2002-08-26; 基金项目: 省级重点学科资助项目。

第一作者简介: 张翠敏(1977~), 女, 硕士; 主要研究方向: 智能控制技术。

根据不稳态导热的有限差分法,对钢坯的导热微分方程进行离散可得钢坯内部节点 (i, j) 的显式差分方程:

$$t_{i,j}^{k+1} = F(t_{i-1,j}^k + t_{i+1,j}^k + t_{i,j-1}^k + t_{i,j+1}^k) + (1 - 4F)t_{i,j}^k \quad (\text{其中 } F = a\Delta\tau/(\Delta x)^2)$$

由于钢坯初始温度场已知,并且边界温度变化的情况已知,根据显式差分方程可以计算出任意时刻钢坯的温度场.

2 钢坯表面温度模型

加热炉对钢坯的传热模型即为钢坯传热模型的边界条件.如果钢坯的边界条件经验性的描述为钢坯表面热流密度的函数,不仅精度低、自适应性差,而且求解烦琐.为了减少边界条件方面的不足,笔者尝试采用一种新的钢坯表面温度预报模型,即:

$$T_i(\tau) = f_1(\tau) \quad T_b(\tau) = f_2(\tau) \quad T_s(\tau) = f_3(\tau) \quad T_p(\tau) = f_4(\tau)$$

式中: $f_1(\tau)$ —钢坯上表面温度曲线; $f_2(\tau)$ —钢坯下表面温度曲线;

$f_3(\tau)$ —钢坯两个端面温度曲线; $f_4(\tau)$ —钢坯两条黑印温度曲线.

钢坯表面温度是联系热量生成、传递和钢坯内部温度分布的纽带,其变化情况复杂,用机理建模的方法建立温度模型极为困难,因此,笔者尝试采用了神经网络的方法辨识钢坯表面温度曲线.

2.1 网络结构选择

多层前向网络已被证明可以逼近任意非线性函数,但是该网络为静态网络,只能处理与时间无关的对象^[3].对于工程中许多对象与时间密切有相关的问题,BP网络显出很大的不足.本文在BP网络的基础上把输出端信号通过延时环节反馈到输入端,形成动态BP网络.图1为根据传热学原理建立的动态BP网络理论结构图.

此动态BP网络可以较为准确地反映了钢坯的传热机理,即钢坯的表面温度不仅和钢坯所处的环境温度有关,而且还和钢坯内部的温度有关.理论上讲,该网络可以更准确地预测钢坯表面温度,但网络结构过于复杂,不适合在实际控制过程中应用.

研究表明钢坯在加热过程中外部炉温只有小范围扰动时,采用如下结构的动态BP网络亦可较为准确地预报钢坯表面温度.图2为动态BP网络实际结构图,亦即钢坯表面温度的辨识模型.

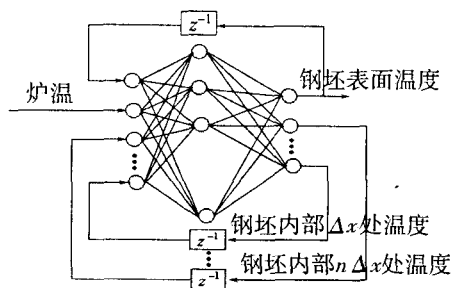


图1 动态BP网络理论结构图

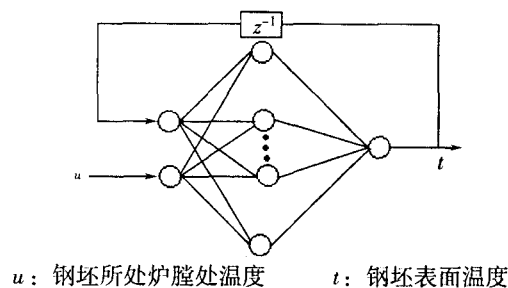


图2 动态BP网络实际结构图

动态BP网络上和BP网络虽然在结构上有所不同,但在学习算法上和BP网络没有本质的区别,只是在训练数据上作适当的调整,即把当前钢坯所处炉膛位置的温度和上一时刻钢坯表面的温度作为输入,把当前时刻钢坯表面温度作为输出,对网络进行训练.

2.2 仿真研究及分析

动态BP网络的训练样本从昆明钢铁公司第二轧钢厂盘元车间实际生产记录中选取的炉温数据,并由工作人员的经验及传热学相关知识推得的钢坯表面温度(注:炉膛温度进行了线性化处理,为简洁起见,这里只讨论上表面温度数据).

根据工况1的数据采用BP网络学习算法对动态BP网络进行训练,设定误差平方和为0.01,BP网络经过536步的学习达到误差平方和要求.利用上述训练好的动态BP网络对钢坯表面温度进行预报,工况

2 的实际温度、预报温度比较图如图 3。

从工况 2 的实际温度、预报温度的比较图中, 可以看出: ①动态 BP 网络能较好的拟合表面温度曲线; ②动态 BP 网络有较好的泛化能力, 除预热段的预报值和实际值的偏差较大(最大处约为 50℃)外, 其余各点的误差均 $\leq 20^\circ\text{C}$, 可以满足工程需要。

3 钢坯温度场的科学可视化

在热力传导中大量存在着将数值计算及硬件采样所获得的大容量数据转化为可视化图像的问题。这一问题的研究, 直接影响着与传热学相关学科的发展。因此, 对于热力传导的科学计算可视化问题的研究就显得尤为重要。在本论文中, 作者尝试了用虚拟现实技术来实现钢坯温度场的科学可视化。

3.1 虚拟现实技术简介

虚拟现实技术(Virtual Reality), 又称灵境技术, 是 20 世纪 90 年代为科学界和工程界所关注的技术。它的兴起, 为人机交互界面的发展开创了新的研究领域, 为智能工程的应用提供了新的界面工具, 为各类工程的大规模的数据可视化提供了新的描述方法。这种技术的特点在于计算机产生一种人为虚拟的环境, 这种虚拟的环境是通过计算机图形构成的三度空间, 或是把其它现实环境编制到计算机中去产生逼真的“虚拟环境”, 从而使得用户在视觉上产生一种沉浸于虚拟环境的感觉。这种技术的应用, 改进了人们利用计算机进行多工程数据处理的方式, 尤其在需要对大量抽象数据进行处理时。同时, 它在许多不同领域的应用, 可以带来巨大的经济效益。

3.2 虚拟现实建模语言简介

虚拟现实建模语言(VRML) 是描述网上三维物体和三维世界的一种标准文件格式, 为虚拟环境的建立提供了规范, 综合了现有三维软件的景象描述语言的优点。它有基本元素、顶点、线和面的定义, 坐标变换有缩放(Scaling)、旋转(Rotation)和平移(Translation), 并有优化的数据结构^[4]。因为 VRML 文件体积小而包含的信息量大, 为人们提供了一种经济、方便的描述及浏览三维模型的方法, 所以在工程设计中得到广泛应用(VRML 在国外许多方面特别是工程设计中已得到广泛应用, 而在我国还刚刚起步)。

3.3 钢坯温度场的虚拟现实可视化

在这里, 我们对钢坯导热的温度场采用了颜色纹理法的可视化方案: 首先对钢坯表面和截面温度数据进行颜色的可视化处理, 再参照色温表, 钢坯温度分布就一目了然了。本程序中采用了随温度由低到高, 颜色由蓝到黑再到红的色温表。具体工作大致分为以下三个方面:

(1) 依据所建立的模型预报钢坯温度场各个点的温度值;

(2) 应用虚拟现实建模语言(VRML)建立钢坯的可视化模型;

(3) 应用颜色纹理法的可视化方案将钢坯温度的预报值进行颜色的可视化处理。

虚拟现实技术使人们可以根据需要从各个不同的方位来直观地观察钢坯温度场的动态变化。如图 4 为某一个视角的仿真图形。

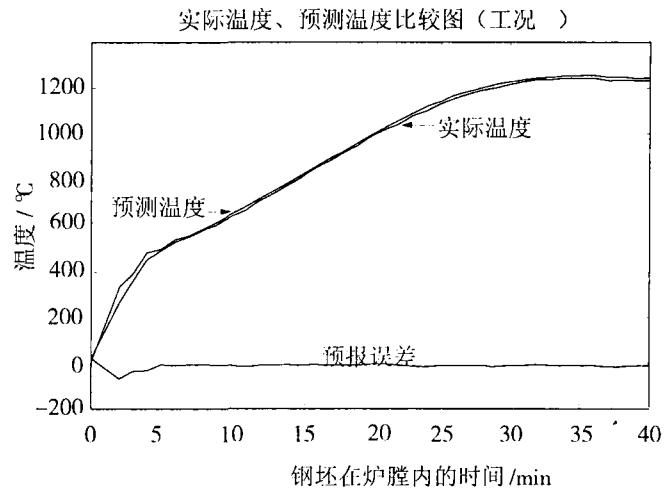


图 3 工况 2 的实际温度、预报温度比较图

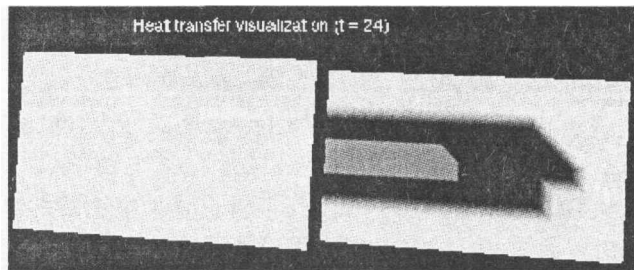


图 4 钢坯温度场的仿真图形

(下转第 84 页)

为了保证移动的合理性,对用户操作做出如下限制:

- ① 如果用户移动管块轮廓时,轮廓发生变形,则视为无效操作;
 - ② 如果用户移动管块轮廓超出了某个合理的范围,则视为无效操作。
- 管道的其他操作虽然计算量较大,但是根据常识很容易实现,故不在此详述。

4 结束语

空间数据模型是地理信息系统的灵魂,与之相关的操作方法的设计和实现是关乎应用系统成败的关键。本文描述的通信管道模型是“电信资源管理系统”模型的重要组成部分,在 MapInfo 平台通过 MapBasic 编程已经完全实现。由于充分考虑多个管道视图的内在联系并最大限度地发挥 MapInfo 强大的空间数据处理能力,管道处理过程表现出高度的智能,得到用户的肯定。该模型为整个系统的成功奠定了基础,为实现对市话管线资源的高效、可视化管理提供了一条有效的途径。

致谢 本文的研究工作得到陕西北方邮电设计院刘云孝高级工程师、西安电信局金花分局贾选忙工程师的大力协助,并受到西安邮电学院计算机系 2000 届隆波、沈斌、潘美冰同学毕业设计期间开拓性工作的启发,特此致谢。

参考文献:

- [1] 陈述彭,鲁学军,周成虎. 地理信息系统导论[M]. 北京:科学出版社,2000. 107~116.
- [2] 贺建忠. 面向对象 GIS 的空间数据模型研究:[博士论文][D]. 北京:北京大学,1998. 48~83.
- [3] 赵东,刘就女. 基于特征建模的地质可视化数据模型研究[J]. 工程图学学报,2001,(3):44~49.
- [4] 国家遥感中心. 抓国产地理信息系统软件应用示范工程,促地理信息系统软件应用和产业化[J]. 遥感信息,2002,(2):2~5.
- [5] 杨立法. MapInfo 二次开发方法研究[J]. 昆明理工大学学报,2001,26(6):18~21.
- [6] 杨立法,王文浪,孟彩霞等. 本地网通信线路管理模型研究[J]. 西安邮电学院学报,2001(1):37~41.
- [7] 杨立法. 基于智能操作的市话电缆可视化地理模型设计[J]. 昆明理工大学学报,2002,27(5):7~10.

(上接第 79 页)

4 结论

本文针对机理建模复杂和辨识建模实验数据难以获得的问题,提出了使用机理建模和辨识建模相结合的方法建立钢坯温度场预报模型. 并采用 VRML 虚拟现实建模语言实现了钢坯温度场的可视化,使对整个温度场的变化过程进行动态观察分析成为可能. 仿真研究表明此钢坯温度模型能满足工业要求,具有很高的工程价值。

参考文献:

- [1] 蔡乔方. 加热炉[M]. 北京:冶金工业出版社,1996. 15~26.
- [2] 田宏伟. 加热炉钢坯温度场智能预报系统研究:硕士研究生学位论文[D],2000. 40~49.
- [3] 张乃尧,阎平凡. 神经网络与模糊控制[M]. 北京:清华大学出版社,1998. 10~18.
- [4] 吴小华,姜安德,周玲. VRML 从入门到精通[M]. 北京:国防工业出版社,2002.
- [5] 王中杰,关守平,柴天佑. 加热炉自适应钢坯温度场预报模型开发[J]. 钢铁研究学报,1999,11(2).