

分布式网络化焊接数值模拟系统的研究*

赵海燕 刘点兵 鹿安理 王 煜 张建强
(清华大学机械工程系 北京 100084)

摘要: 根据焊接数值模拟的特点及企业进行数值模拟的困难性, 提出了分布式网络化焊接数值模拟的基本思路, 并建立了系统基本构架, 介绍了系统功能。对实际焊接过程进行了数值模拟, 结果表明, 采用分布式网络化焊接数值模拟系统, 用户不需熟练掌握专门技术便可进行焊接数值模拟, 可有效减小数值模拟的工作量, 提高生产效率, 降低焊接结构的制造成本, 提高企业对市场的响应速度和竞争能力。

关键词: 分布式网络化 焊接 数值模拟

中图分类号: TG4

0 前言

21 世纪制造业趋向于全球化、网络化、集成化、虚拟化和异地化, 计算机和信息技术的快速发展将促使制造领域逐渐与其融合, 以提高对市场的响应速度和产品的竞争能力^[1]。现代制造、加工系统越来越分散、越来越庞杂^[2]。焊接作为制造领域中重要的材料加工和结构生产技术, 也正在与信息技术紧密结合^[3]。由于焊接过程的多变性和复杂性, 利用计算机技术进行数值模拟, 以优化工艺参数、提高生产效率和产品质量、降低生产成本, 逐渐成为焊接生产中非常重要的一环^[4,5]。然而, 实际生产中数值再现焊接过程非常困难, 不仅需要高速运算的大型工作站, 同时更需要熟悉焊接技术与数值模拟技术的专家。目前国内很多企业在技术和设备方面存在种种困难, 因而严重阻碍了焊接数值模拟技术的实际应用。分布式网络化焊接数值模拟系统是一种网络化智能系统, 这种模式充分利用 Internet 和 Web 技术, 企业不必一次性投入巨资构架自己的专用运行平台与应用系统, 而是通过本系统享用公用的运行平台和应用系统的服务, 从而大大减轻企业的投资压力, 降低投资风险并提高生产效率, 有利于企业建立自己的核心价值与市场竞争力^[6]。运用分布式网络化数值模拟系统, 企业的技术人员可在本地进行产品与工艺的优化设计或模拟仿真, 即通过网络将其要求提交到远程工作站进行仿真分析, 系统将模拟结果反馈给企业。在网络带宽允许条件下, 模拟仿真专家也可以通过网络直接使用工作站上的数值分析软件进行模拟仿真分析。因此, 分布式网络化数值分析系统可以使企

业获得定制的、安全的、专业的解决方案, 企业可能在自己有限的预算内获得专家级服务以及最新的开发成果。

采用分布式网络化焊接数值模拟方法, 不仅具备一般分布式系统所具有的资源共享、易于扩张、可靠性强、灵活性强的特点, 而且可以通过相互协调与协作解决大规模的工程复杂结构数值模拟问题, 即使用户对数值模拟技术不太了解也不妨碍问题的解决。分布式网络化焊接数值分析系统是一种分布、异构、松散耦合的数值分析系统, 它将研究、仿真、生产和制造等环节分开, 彼此又存在有机的联系。对于熟悉焊接生产各个环节、却不一定熟悉焊接数值模拟的企业可以有效的利用本系统进行数值模拟, 从而在人力、设备等资源上节省大笔投资, 缩短产品开发周期, 赢得市场竞争。

目前国内外关于分布式网络化制造系统的研究非常广泛, 然而焊接领域的相关研究工作刚刚起步, 没有见到相关的资料报道。因此基于我国的国情, 提出基于分布式网络化构造焊接数值模拟系统, 采用类似 Browser/Server (B/S) 模式的三层逻辑结构, 建立系统的基本框架, 通过实例运行, 证明该系统的构建是可行的, 从而可以为我国焊接数值模拟技术与网络化制造技术的发展和工程应用提供参考。

1 系统的结构与功能

1.1 系统的基本结构

分布式网络化焊接数值模拟系统的应用框架采用类似 B/S 体系的三层逻辑结构, 其体系结构主要由下列关键元素构成, 如图 1 所示。

* 国家计委产业化前期关键技术研发项目(计高技[1998]2077号)。
20020625 收到初稿, 20030410 收到修改稿

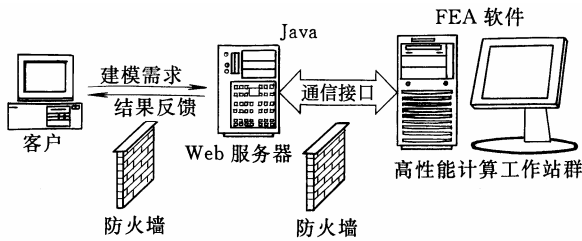


图 1 分布式网络化焊接数值模拟系统体系结构

(1) 客户。即各焊接企业，他们不需要拥有高性能计算工作站，也不一定要有精通焊接数值模拟的专家，而只需要安装少量的软件，用基于 Web 的 B/S 模式提交数值模拟仿真任务及要求，接收远程 Web 服务器反馈回的信息，便可完成大型复杂结构的焊接过程数值模拟，从而可以对焊接结构焊接工艺进行优化。

(2) 网络基础设施。提供如 TCP/IP、目录和安全(防火墙)等服务，这些服务能力可通过开放且标准的接口和协议来存取。

(3) Web 应用服务器软件。它为分布式网络化数值模拟系统提供了一个用户平台，包括 HTTP 服务器、用户数据库和常规事务处理能力，例如：接受用户需求并输出焊接数值模拟仿真的结果，提供邮件服务及发布需求信息服务等。

(4) 高性能工作站。Web 服务器通过专有接口与工作站上的有限元分析软件相互通信，使得 Web 服务器接收的用户数值模拟仿真需求可有效地转换为大型有限元软件能理解的语言，实现建模、运算、分析及结果输出。

1.2 系统的功能

分布式焊接数值分析系统采用跨平台应用模式。该平台中工作站采用 SGI 计算和图形处理工作站群作为有限元分析中心，安装有大型商用有限元分析软件 ABAQUS, MARC、ANSYS 和 NASTRAN 等，另有一台运行 Linux 的机器充当 Web 服务器。同时客户端只需要安装少量系统所需的软件工具包，组成图 1 所示的系统结构。

客户端工具包采用 Python 语言开发，它可以在 Windows, Unix, Linux 等多种平台运行，实现焊接制造过程有限元分析的部分建模功能，并选择焊接模拟常用的材料与焊接方法等，例如可选择采用 Gauss、Goldak、移动、分段等热源模型进行焊接模拟，它主要包含如图 2 所示几个模块。

当客户端用户完成简单造型或者读入复杂的造型(复杂的造型一般有专门的 CAE 软件完成)、设定材料(选用系统提供的材料数据或添加新的材料数据)、选定热源模型以及完成网格划分等，系统

得到足够多的信息之后，数据将会被提交给远程 Web 服务器。

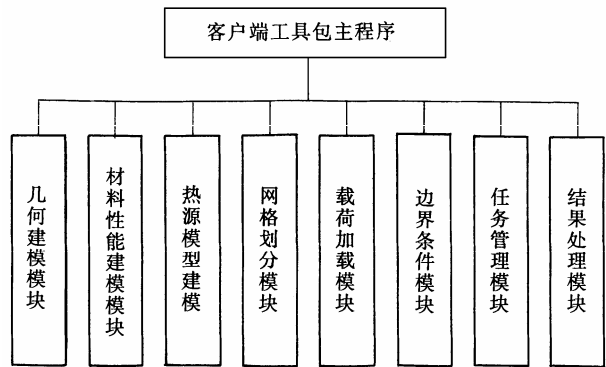


图 2 客户端工具包模块

Web 服务器充当着防火墙与中转站的功能，因为直接将工作站暴露在 Internet 上是一个冒险的行为，有诸多的安全隐患。Web 服务器监听和接收远程客户端传来的信息，并对其合法性与完整性检查。在校验无误之后，Web 服务器启动工作站上的大型分析软件，将模拟仿真输入数据提交运行，同时提示用户成功提交。

客户端提交过来的数据指令作为一个模块被 Web 服务器导入，这就增加了专家干预的可行性。Web 服务器接收的数据指令可以是整个的模拟仿真指令，也可以只是如材料、热源等某些特定的模块，剩下的具有特殊要求的复杂模块可以由模拟仿真的专业人士来完成；最后形成大型分析软件可接受的数据格式和指令。在数值模拟运行出错时，可以只修改某个相应的特定模块，如工作步，边界条件等。这样的特性使得整个焊接数值模拟系统变得更加人性化与智能化，可以更好地实现人机交互。

客户端用户可以随时查询模拟仿真的过程和结果，甚至可以中途中止。整个过程完成之后，用户能够得到一份详细的分析报告。图表的生成与显示将由客户端根据 Web 服务器传来的数据动态生成，这样大大减少了网络的传输量。同时使得企业、仿真专家、计算工作站三方能紧密地结合起来。

2 分布式网络化焊接数值模拟系统的应用

以 200 mm × 200 mm × 10 mm 的镍基合金 INCONEL 718 板材的电子束焊接的温度场分析为例，说明分布式网络化焊接数值模拟系统的使用。

远程用户启动客户端程序，新建一个数值模拟项目；选择热传导分析类型；在几何模块中，选择

简单结构形式(平板对接), 输入相关几何参数; 选用系统数据库中已有的材料数据(也可以输入用户自己定义的材料数据); 选择热源模型; 指定网格划分策略、边界条件等, 完成客户端数据的输入。

这里材料数据选择 INCONEL718, 选择 Gauss 热源模型(如图 3 所示), 以热源沿直线移动的方式进行焊接。因为几何形状简单, 可以由程序自动生成网格。

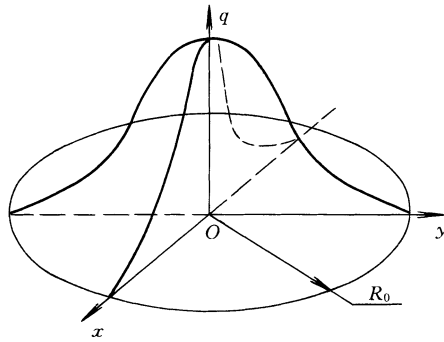


图 3 Gauss 热源模型

客户端程序收集到足够的信息之后, 将尝试连接远程 Web 服务器, 并校验用户身份, 用户验证成功, Web 服务器自动将客户端的运算要求提交给计算工作站, 并反馈回提交成功的信息。

运算完成之后, 用户可以重新登录 Web 服务器(Web 服务器会自动断开长时间不活动的用户)。查看计算结果, 或者查看专家反馈回的建议, 完成一个运算过程。部分计算结果如图 4~6 所示。

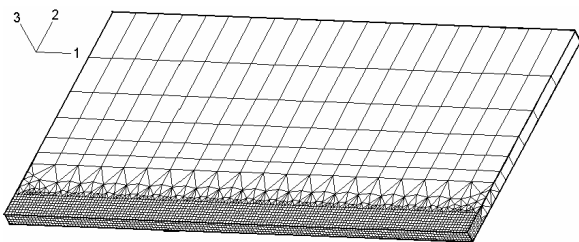


图 4 有限元网格划分(沿焊缝中心取对称的一半)

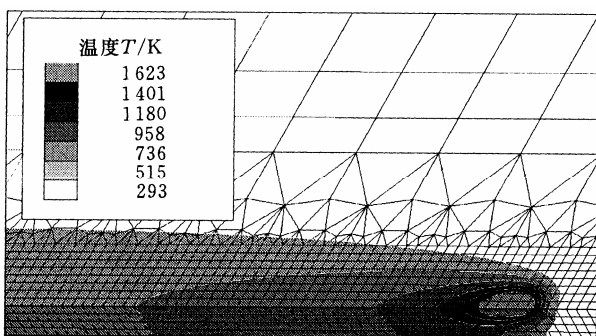


图 5 温度场模拟结果(局部)

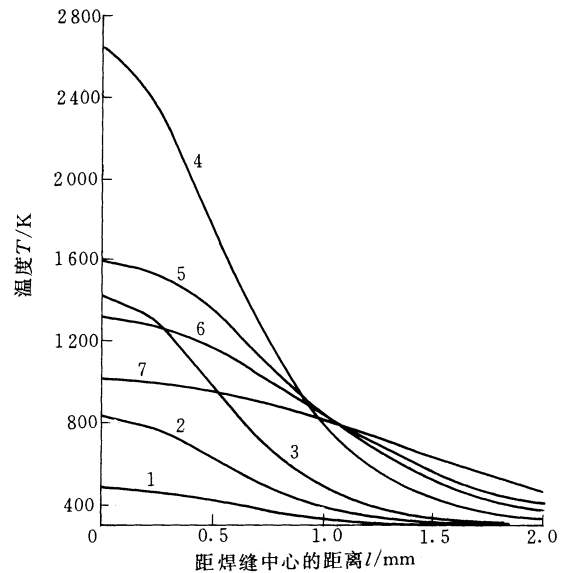


图 6 与焊缝中心垂直的直线上的温度变化

1.1.00 s 2.1.01 s 3.1.03 s 4.1.08 s
5.1.11 s 6.1.14 s 7.1.20 s

3 结论

(1) 分布式网络化焊接数值模拟系统使用简捷、方便, 用户不需要熟练掌握焊接数值模拟技术, 只须对所求的问题选择相应的模型, 或建立相应的几何模型、选择相应的焊接方法、工艺参数、材料参数, 便可实现远程焊接数值模拟。

(2) 使用该系统可以有效减小焊接数值模拟的工作量, 提高模拟效率, 降低焊接结构的制造成本, 提高企业对市场的响应速度和竞争能力。

(3) 分布式网络化焊接数值模拟系统为焊接过程数值模拟提供了新的途径, 为推动焊接数值模拟的发展和工程应用提供了颇有价值的参考。

参 考 文 献

- 1 马登哲. 关于开发网络化敏捷制造示范工程. 机电一体化, 2000(6): 9~10
- 2 胡春华, 朱庆华, 张智勇, 等. 基于 CORBA 的分布式网络化制造系统. 机械与电子, 2001(1): 3~6
- 3 宋天虎. 先进制造技术的未来与发展. 中国机械工程, 1998, 9(8): 2~5
- 4 拉达依 D. 焊接热效应. 熊第京, 郑朝云, 史耀武译. 北京: 机械工业出版社, 1997
- 5 Masubuchi K. Prediction and control of residual stresses and distortion in welded structures. In: International Symposium on Theoretical Prediction in Joining and Welding, Osaka University,

Japan, 1996: 71~88

- 6 张曙. 分散网络化制造. 北京: 机械工业出版社, 1999
- 7 焦建彬, 于华, 郝明晖. 基于 CORBA 的分布式远程制造系统的若干问题研究. 中国机械工程, 2002, 13(2): 140~142

INVESTIGATION ON DISTRIBUTED NETWORKED NUMERICAL SIMULATION SYSTEM OF WELDING

Zhao Haiyan Liu Dianbing Lu Anli
Wang Yu Zhang Jianqiang
(Tsinghua University)

Abstract: Because numerical simulation of welding is difficult

to be performed in ordinary manufacture enterprise, distributed networked numerical simulation system of welding is proposed according to the characters of industry. The framework of the system is established and the main functions are presented. The real welding process is simulated numerically by using the system, and the result shows that customers can perform welding simulations without major skills by this system. The system proposed may simplify the complex process of numerical simulation, increase the efficiency, reduce the manufacture cost of welded structures, and improve the agility and competition ability of the enterprise.

Key words: Distributed networked Welding
Numerical simulation

作者简介: 赵海燕, 男, 1970 年出生, 博士, 副教授。主要研究方向为材料加工的数值模拟及网络化敏捷制造。



(上接第 146 页)

《机械工程学报》被 EI 收录论文目次 (2002 年增刊)

一种新的区域增长相位去包裹算法.....	吴禄慎 任丹 吴魁 (126)
应变疲劳可靠性分析的新进展与展望.....	赵永翔 (131)
三维环境下产品拆卸过程分析.....	潘晓勇 刘光复 刘志峰等 (137)
摆动活齿传动系统的弹性动力学模型的研究.....	梁尚明 张均富 徐礼钜 (142)
超弹 TiNi 形状记忆合金滑动接触机敏摩擦学特性的有限元分析.....	王立民 徐久军 严立等 (147)
切削力测试系统研究.....	张军 孙宝元 钱敏 (151)
面向敏捷制造车间模式的分布式协同作业方法与实施技术.....	殷国富 郭文胜 戈鹏等 (155)
基于活动标架法的 2 自由度机器人轨迹规划.....	张连东 王德伦 (160)
并行工程中设计任务的动态调度.....	黄洪钟 李丽 刘伟 (164)
旋转电极电火花抛光金刚石膜.....	王成勇 郭钟宁 陈君 (168)
水润滑条件下高岭土填充 UHMWPE 基复合材料的摩擦学特性.....	龚国芳 杨华勇 傅新 (172)
双速卷扬机减速器多流传动系统的运动学分析与网络化设计.....	林超 李润方 施成越等 (177)
基于 Internet 的注塑模具智能化并行设计系统研究.....	于同敏 单秀海 刘铁昌等 (181)
故障诊断专家系统中的数据库子系统设计.....	陈波 马孝江 (186)
K24 镍基高温合金切削性能试验研究.....	王殿龙 荀志锋 庞继有等 (190)
机构类型综合自动求解分析及知识库系统的建立.....	张德珍 马雅丽 王德伦 (194)
GH4169 高温合金惯性摩擦焊接温度场的数值模拟.....	张立文 齐少安 刘承东等 (200)
关节式液压机械手脉码调制控制研究.....	王宣银 刘荣 贾光政 (203)
海底热液科学考察中的机电装备技术.....	陈鹰 (207)
并联机床手轮功能的实现.....	王辉 黄田 倪雁冰等 (212)
机械手操作性能最优控制理论的线性化方法.....	黄晓华 王德伦 (215)
切削系统可变刚度结构及其颤振控制方法的研究.....	王民 费仁元 (219)
基于截面线方法的汽车覆盖件曲面识别.....	郭树华 胡平 李运兴 (223)
微操作机器人机构的运动特性分析.....	毕树生 宗光华 (227)
楔横轧三维热力耦合非线性有限元模拟.....	杜凤山 李学通 王敏婷 (231)
语音控制应用系统设计.....	李胜 李永新 李尚荣等 (235)
基于遗传学习的可拓综合评价权重分配新方法.....	刘海生 赵燕伟 王广鹏等 (238)