

三维温度场计算机可视化系统的研制与开发

(华中理工大学动力系) 张师帅 罗 军 朱茂殊 黄素逸

摘要: 介绍一种运用计算机图形、图像技术对工程热物理中三维温度场进行可视化处理的计算机可视化系统。该系统包括三维温度场的造型、颜色的映射、视觉模型的建立、剖切平面的提取、视角的设置等模块。该系统在 Windows 95 平台上采用 Visual C 开发研制。

关键词: 三维温度场; 计算机可视化系统

中图分类号: TP 301

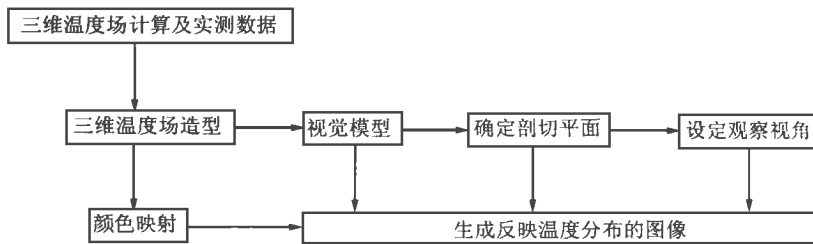


图1 三维温度场计算机可视化系统的主体结构图

1 引言

计算机可视化技术是 90 年代计算机应用的一个重要领域, 它可使科学计算或实测所产生的大量的分布在三维空间的数据转变为直观的, 易于为人们理解的, 且可以进行交互分析的, 以静态或动态形式显示的图形、图像, 帮助人们洞察隐含在这些繁杂数据中的规律性, 从而实现研究手段的进一步现代化。

三维温度场中包含庞大的数据, 用传统的数据表格、曲线等方法来表达很不利于人们的分析、理解和应用, 因而有必要运用计算机可视化技术对之进行再现。为此, 我们进行了三维温度场计算机可视化系统的开发和研制, 意在能使研究人员通过该系统直观地了解三维温度场中温度的分布情况, 并可对感兴趣的部分进行快速、细致的观察和分析。

2 系统概述

三维温度场计算机可视化系统的主体结构为: 由于 Visual C 是一种面向对象、采用事件驱动方式的结构化高级程序设计语言, 其功能强大, 开发效率高。利用 VC 的编程机制及 Windows 内部应用程序接口, 便可以高效、快速地开发出功能强大, 图形界面丰富的应用软件。因此, 本可视化系统在中文 Windows 平台上采用 VC 编程实现。

3 系统主要模块

3.1 三维温度场造型模块

三维温度场中的温度分布是连续的, 而计算或实测所得到的是在空间区域中离散的三维网格点上的温度值, 要进行三维温度场计算机可视化处理, 首先则要解决由离散场来求连续场的问题, 也就是要求出三维场中非网格点上的温度值。这里, 我们采用三维线性插值方法来求取。

首先考虑二维情况(见图 2), 在 z 为恒定值的 xy 平面中, 根据点 (x, y) 的四个相邻点(网格点)的温度值, 采用线性插值可求得 $T(x, y)$ 。具体方法如下:

规定对任意 s 值, $[s]$ 表示其值不超过 s 的最大整数, 即:

$$\begin{aligned} x_0 &= [x] & y_0 &= [y] \\ u &= x - [x] & v &= y - [y] \end{aligned}$$

经过两次线性插值可推导出:

$$\begin{aligned} T(x, y) &= T(x_0, y_0) + [T(x_0 + 1, y_0) - T(x_0, \\ & \quad y_0)]u + [T(x_0, y_0 + 1) - T(x_0, y_0)]v \\ & \quad + [T(x_0 + 1, y_0 + 1) + T(x_0, y_0) - \\ & \quad T(x_0 + 1, y_0) - T(x_0, y_0 + 1)]uv \end{aligned}$$

对于三维情况, 我们可以先对点 (x, y, z_0) 和点 $(x, y, z_0 + 1)$ 进行 xy 平面上的二维插值, 求得二点的温度值 $T(x, y, z_0)$ 和 $T(x, y, z_0 + 1)$, 再在 z 方向进行插值:

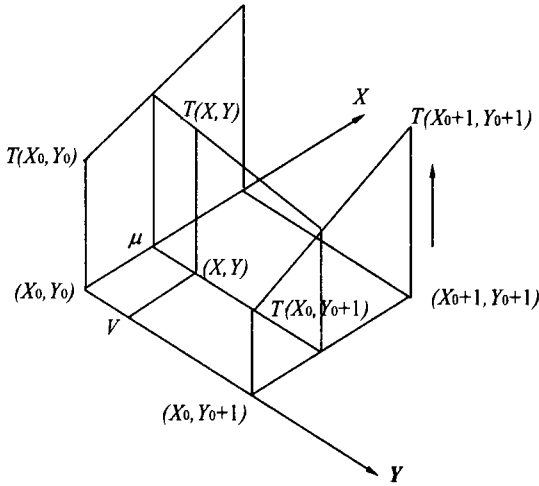


图 2 二维线性内插法示意图

$$T(x, y, z) = [T(x, y, z_0 + 1) - T(x, y, z_0)] \lambda + T(x, y, z_0)$$

其中 $z_0 = [z], \lambda = z - [z]$

因而, 由此模块可求出温度场内任一点 (x, y, z) 的温度值 $T(x, y, z)$ 。

3.2 颜色映射模块

将三维温度场中不同温度的点用不同的色彩表示, 这样研究者就可通过色彩与图象亮度形象地看到温度分布情况。本模块能从三维温度场数据中自动查找出温度的最大值 T_{max} 和最小值 T_{min} , 并根据其差值 $(T_{max} - T_{min})$ 等分出若干温度区域, 然后根据图象显示中所使用的基色数量, 计算出对应于不同温度值域的颜色值, 即进行颜色标号。再根据区域填充算法, 计算出剖切平面中各个网格点上温度值所对应的颜色值。在这里, 我们采用符合人们视觉习惯的对应关系来实现温度与颜色的映射, 并且令某些温度点的 RGB 的值为零, 把连续变化的温度人为地映射成阶梯跳跃的色调, 使平滑的温度场产生层次化, 最终使得生成的图象具有清晰可辨的视觉效果, 克服了图象的模糊性。

通过本模块, 我们可以任意一点 (x, y, z) 的温度值 $T(x, y, z)$ 所对应的颜色值 $Color(x, y, z)$ 来实现点与色彩的一一对应。

3.3 视觉模型的建立

由于本可视化系统是针对激光全息层析实验所获得的数据进行处理, 因此我们采用一立方体作为视觉模型。而实际的研究对象可以是已加热的钢球在空气中的换热, 椭圆管的换热以及火焰的三维温度场, 这时只需对实际对象进行比例变换, 使之完全包含于立方体这一视觉模型中, 其周围多出部分则可设定为环境温度。

3.4 剖切平面的提取和视角的设定

输入任意不共线的三点, 便可在视觉模型中确定一剖切平面, 通过改变视角可实现对这一剖切平面进行任意方向的观察。具体为: 根据输入的三点的坐标, 确定出剖切平面方程。

$$\begin{vmatrix} x - x_a & y - y_a & z - z_a \\ x_b - x_a & y_b - y_a & z_b - z_a \\ x_c - x_a & y_c - y_a & z_c - z_a \end{vmatrix} = 0$$

当三点共线时, 模块能提供出错信息。

对于视角的设定, 模块是这样实现的: 设立方体绕绝对坐标系 $x y z$ 旋转, 且相对 x 轴, y 轴, z 轴的旋转角分别为 α, β, γ , 其相对坐标系为 $X_e Y_e Z_e$, 设备坐标系 $X_s Y_s$ 对应于显示器的平面坐标, 如图 3 所示。由计算机图形学知识, 绕 z 轴的旋转并不引入新的信息量, 因此可作为二维旋转来处理。对于实际三维体中任意一点的坐标 (x, y, z) , 它在设备坐标系 $X_s Y_s$ 中对应的坐标 $PX(x, y, z), PY(x, y, z)$ 为:

$$PX(x, y, z) = x \cos \beta + z \sin \beta$$

$$PY(x, y, z) = y \cos \alpha - (-x \sin \beta + z \cos \beta) \sin \alpha$$

这样, 我们便可实现对任意剖切平面进行任意方向的观察, 实现切片方向的任意性。

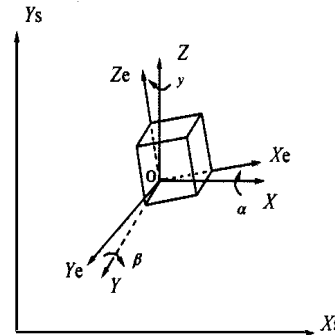


图 3 坐标系示意图

4 系统的特点

本计算机可视化系统具有如下特点:

- 4.1 系统采用统一的屏幕菜单形式, 具有良好的用户界面, 操作使用方便, 文件及数据管理功能齐全, 原始数据准备简单。
- 4.2 系统具有较强的交互功能, 用户可任意选择剖切平面, 观察方向, 同时, 系统还具有提示信息及一定的容错功能。
- 4.3 系统具有一定的通用性, 可用于其它三维数据场(如浓度场, 密度场等)的可视化。
- 4.4 系统具有可扩充性, 如果在该系统基础上, 增加温度数据的实时采集系统, 自动控制系统, 则可实现三维温度场检测和认识的自动化和智能化。

5 结束语

运用该系统对加热的钢球在空气中的换热及椭圆管的换热进行了计算机可视化处理, 均得到了满意的效果。

同时还需说明的是, 该系统还有待进一步完善, 功能还有待增强, 比如增加等温面的提取这一功能。另一方面, 该系统是一个对标量场进行计算机可视化的系统, 我们还可对之进行改善, 将之扩大到对于矢量场(如速度场)进行计算机可视化的系统。这些都是我们今后研究的方向。

在该系统的研制与开发过程中, 张欣给予了我们很多帮助, 在此对他表示感谢。

(下转 454 页)

燃烧过程的发展逐渐供给助燃空气的燃烧机理。

5 结 论

通过对旋流浓淡煤粉燃烧器不同工况下出口区域两相流动特性的实验研究与结果分析, 可以得出如下结论:

(1) 旋流浓淡煤粉燃烧器出口区域两相速度均在轴线附近形成较大的回流区, 而且在近壁处也形成了较大的回流区;

(2) 在一定的旋流叶片开度下, 随着旋流二次风风量的增大, 回流区稍微变长、变宽;

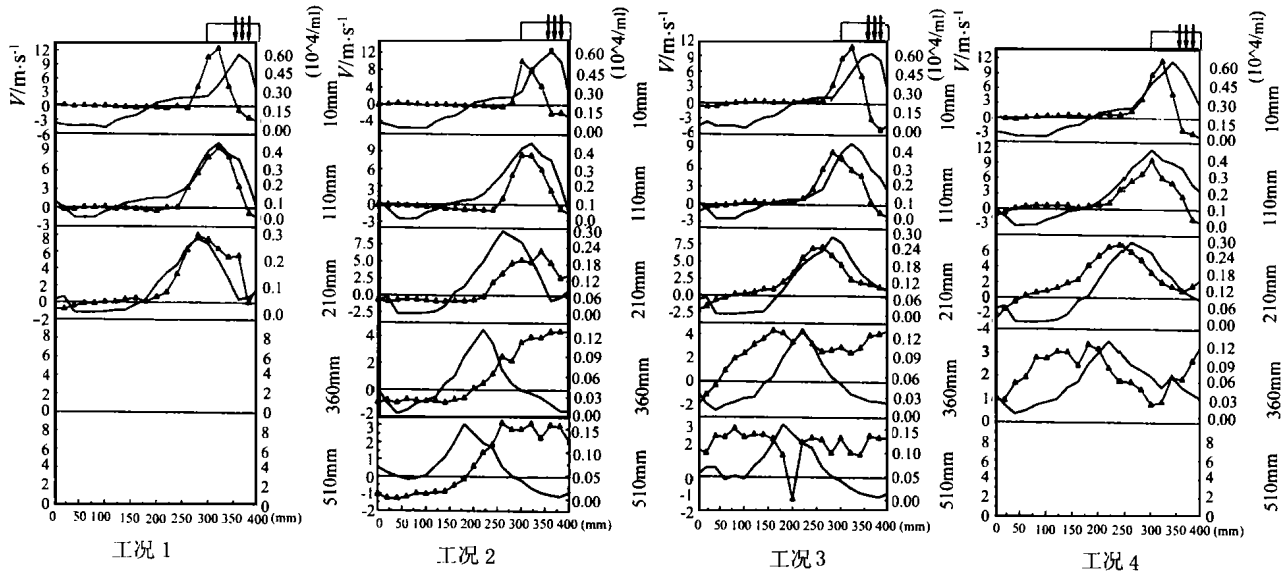
(3) 在一定的旋流二次风量下, 随着旋流叶片的开度由 45° 增加到 60°, 回流区的范围明显增大;

(4) 扩口和直流二次风可以有效地将射流扩展角限制在一定范围内, 能够保证射流的刚度;

(5) 两相流场中气相和颗粒相的切向速度均呈典型的 Rankine 涡结构;

(6) 在射流扩展角内, 两相径向速度均有向中心轴线流动现象;

显然, 通过适当选择旋流叶片开度、旋流二次风和直流二次风的配比, 在多变煤种和多变负荷下, 能够实现提高燃烧效率、稳定燃烧和降低 NO_x 生成的目标。因此, 这种燃烧器具有广泛的应用前景。



(— 颗粒浓度 —▲— 轴向速度 零值线)
图 7 轴向平均速度与颗粒相对体积浓度分布

参 考 文 献

[1] 李荣先, 崔龙铉, 周力行, 罗纲, 张斌. 轴向叶片式旋流煤粉燃烧器出口区域两相流场的 PDA 研究. 中国工程热物理学会燃烧学学术会议, 1997.

[2] 李荣先, 崔龙铉, 周力行, 罗纲, 李志强. 旋流煤粉燃烧器出口区域两相流场的 PDA 实验研究. 高校工程热物理研究会第七届全国学术会议, 1998.

[3] 李志强, 李荣先, 崔龙铉, 周力行. 旋流煤粉浓淡燃烧器出口区域两相流场的 PDA 实验研究. 中国工程热物理学会燃烧学学术会议, 1998.

[4] 曾汉才. 高浓度煤粉燃烧的理论及技术. 华中电力, 1991(1).

[5] Sakai M et al. Tangential corner fired boiler with low volatilia matter content coal. *Technical Review*, 1986.

(渠 源 编 辑)

(上接 442 页)

参 考 文 献

[1] Levoy M. Display of surfaces from volume data. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 1988, 8(3): 29~37.

[2] Gitta O Domik. Visualization Education. *Computer & Graphics*, 1994, 18(3): 277~280.

[3] 唐泽圣. 科学计算可视化与三维空间数据场显示. 计算机世界报, 1993 年 3 月 3 日.

[4] 石教英, 蔡文立. 科学计算可视化算法与系统. 科学出版社, 1996.

[5] 李介谷, 施鹏飞等. 图象处理技术. 上海交通大学出版社, 1990.

[6] 朱茂殊. 流场的层析干涉测量及计算机可视化研究. [硕士学位论文] 武汉: 华中理工大学, 1997.

(复 编)

On the basis of the water wall thermodynamic test of a 600 MW boiler unit and through the use of a finite-element analytical method an analysis was conducted of the dynamic variation with heat transfer conditions of membrane water wall tube wall temperature distribution of a low-circulation ratio boiler. The analysis aims at identifying the underlying basic cause of water wall tube wall temperature fluctuations. The results of the analysis show that the basic cause leading to the fluctuations of the water wall tube wall temperature lies in the deterioration of in-tube heat transfer. In the course of a heat transfer deterioration taking place inside the tubes of a single-side heated water wall the temperature difference between the fire-facing tube inner and outer tube wall surface has a relatively small time-dependent fluctuation. However, the water wall peripheral temperature difference suffers a drastic fluctuation triggered by the wall temperature fluctuations of the fire-facing outer wall. **Key words:** water wall, temperature field, finite element

换热器性能的火用经济评价 = **Exergy-economic Evaluation of a Heat Exchanger Performance** [刊, 中] / Wu Shuangying (Chongqing University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(6). — 437 ~ 440

Based on the exergy-economic analysis of heat exchanger heat transfer and flow process the author has come up with a heat exchanger performance evaluation index, the so-called η criterion, defined as the total cost per unit quantity of heat transferred. Furthermore, conducted was the exergy-economic analysis and optimization of three types of heat exchangers i. e., down-flow, cross-flow and counter-flow. The methods employed and results presented in this paper can serve as a guide during the performance evaluation of heat exchangers. **Key words:** heat exchanger, exergy-economic analysis, performance evaluation

三维温度场计算机可视化系统的研制与开发 = **Development and Fabrication of a Computer-based Visual System for Three-dimensional Temperature Fields** [刊, 中] / Zhang Shishuai, Luo Jun, Zhu Maoshu, et al (Central University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(6). — 441 ~ 442

Described in this paper is a computer-based visual system for the visualization treatment of a three-dimensional temperature field encountered in engineering thermophysics by the use of computer graphic and image techniques. The above-cited system includes a variety of modules, which are used for performing such functions as the model building of the three-dimensional temperature field, color mapping, setting-up of a visual model, extraction of a sectional plane, the setting of visual angle, etc. The system is developed and realized on a Windows 95 platform with the help of Visual C. **Key words:** three-dimensional temperature field, visual system, model building

大型亚临界无烟煤电站锅炉的开发设计 = **The Design and Development of a Large-sized Anthracite-fired Subcritical-pressure Utility Boiler with a Tangential firing System** [刊, 中] / Chen Jirong, Gao Feng (Harbin Boiler Co. Ltd.) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(6). — 443 ~ 446

The present paper describes the technical features and operational achievements of a 300 MW subcritical-pressure, natural-circulation and anthracite-fired boiler developed and designed by Harbin Boiler Co. Ltd (HBC). It focuses on some effective technical measures taken to ensure a good ignition, stable combustion and thorough burn-off, a stable combustion without relying on oil support even at low loads and complete combustion of low volatile coal as well as a slag-free operation and a reduction in NO_x emissions. With respect to the burner design a "self-stabilizing combustion technology incorporating double primary air channel" developed jointly by HBC and Qinghua University has been adopted. This item of technology was awarded a China National Golden Prize for outstanding creative and inventive patents. The marked flame stability at low loads and excellent overall performance provided by the above-cited technology have advanced the design of high-capacity anthracite-fired boilers to a new level. Such boilers with a tangential firing system enjoy the advantages of low steel consumption, low NO_x emission, etc. Their successful development has blazed a new trail for the utilization of low volatile coals, an abundant resource in China. **Key words:** anthracite, sub-critical, natural circulation, boiler design, burner

煤粉锅炉液化气点火装置的理论与实践 = **Theory and Practice of a Liquefied Petroleum Gas-based Ignition**