

# 基于数据库和可视化技术的翅片管换热器仿真

龙慧芳, 丁国良, 董洪州, 吴志刚

(上海交通大学制冷与低温工程研究所, 上海 200030)

**摘要:** 构建了翅片管换热器的性能仿真系统的整体框架, 通过引入数据库技术和可视化技术, 结合换热器分布参数仿真模型, 实现了该仿真系统。该系统具有分工明晰的输入、仿真和输出模块, 能方便用户输入仿真参数, 准确快捷地对翅片管换热器性能进行仿真, 并以各种形象直观的方式输出仿真结果。

**关键词:** 翅片管换热器; 仿真系统; 数据库; 可视化

## Simulation for Fin-and-tube Heat Exchanger Based on the Technology of Database and Visualization

LONG Huifang, DING Guoliang, DONG Hongzhou, WU Zhigang

(Institute of Refrigeration and Cryogenics, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030)

**【Abstract】** The framework of the simulation system for fin-and-tube heat exchanger is established, with the help of the technology of database and visualization, and the distributed simulation model of the heat exchanger, the simulation system is realized. This simulation system includes three parts, such as input module, simulation module and output module. The parameters for the simulation system can be input conveniently through the input module, the heat exchanger simulation can be executed by the simulation module, and the simulation results can be output visually by the output module.

**【Key words】** Fin-and-tube heat exchanger; Simulation system, Database; Visualization

翅片管式换热器具有高效传热、结构紧凑等特点, 因此被广泛地应用于制冷空调装置。传统的设计方法是对样机进行反复测试和修改, 这样不仅造成开发周期过长、开发费用投入巨大, 而且难以达到节能、节材的效果, 使企业难以跟上市场需求。采用计算机仿真方法<sup>[1,2]</sup>为换热器的高效设计提供了必要的手段。

如今, 计算机仿真技术正逐步向着实用化方向迈进, 但是, 以往的换热器仿真研究较多注重于仿真模型的精度和稳定性, 而对仿真方法的实用化以及基于仿真方法构建完善的仿真系统等研究甚少。这种做法不适合换热器仿真方法的推广, 也使得仿真方法不能够在实际生产、设计过程发挥应有的指导作用。这些问题的提出, 就要求构建一个完善的换热器仿真系统, 该系统不仅要在模型的选择和仿真精度上满足用户的要求, 更要提供给用户一个友好的、易用的、便于维护的仿真平台。

数据库技术便于统一保存和管理各种参数, 可视化技术可以将所研究的对象用图像的形式直观形象地表示出来, 这两点可以满足用户在仿真平台友好性和易操作性上的要求。因此本文采用数据库和可视化技术, 结合现有的比较成熟的换热器仿真模型, 构建并实现了翅片管换热器的仿真系统。该系统已成功地应用于企业, 缩短了产品开发周期, 满足了企业实际设计的需求。

### 1 换热器仿真系统的总体框架

#### 1.1 仿真系统的研究对象

本文仿真系统的研究对象是各种规格类型的室内机和室外机换热器。如一般空调系统中的室内机采用的 I 型换热器, 室外机采用的 L 型换热器, 以及在大型集中空调中采用的 C

型等不同形式换热器。本文所构建的翅片管换热器仿真系统除了对单体换热器性能的仿真外, 还可以对多联换热器的性能进行预测, 如大型空调室外机中采用的 V 型换热器的性能预测等。

图 1 显示的是一个实际系统中的换热器网络, 它是由具有 n 个换热器组成的联合运行的系统。每个换热器可以具有独立的类型结构, 可以采用各自独立的翅片类型和换热管类型。本仿真系统能够处理的翅片类型有 4 种: 波纹翅片、条缝翅片、超条形翅片和百叶窗翅片, 能够处理的换热管类型有 2 种: 光滑管和强化管。

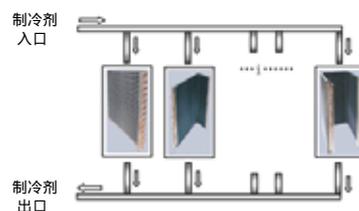


图 1 实际制冷系统中的换热器网络

#### 1.2 仿真系统的总体框架

通常, 仿真系统可以划分为 3 个主要的模块: 仿真参数的输入模块、仿真运算模块和仿真结果的输出模块。本文所构建的仿真系统的框架如图 2 所示, 也包括这样的 3 个主要

**基金项目:** 国家“973”计划基金资助项目(G2000026309); 日本富士通将军公司基金资助项目

**作者简介:** 龙慧芳(1982-), 女, 硕士生, 主研方向: 换热器性能仿真优化; 丁国良, 教授、博导; 董洪州, 硕士生; 吴志刚, 博士生  
**收稿日期:** 2005-10-17 **E-mail:** longhf@stju.edu.cn

模块。仿真系统通过输入模块输入仿真所必需的参数，然后调用仿真运算模块，对换热器的性能进行仿真，再调用输出模块将仿真结果用图、表或者对话框等的形式显示出来。

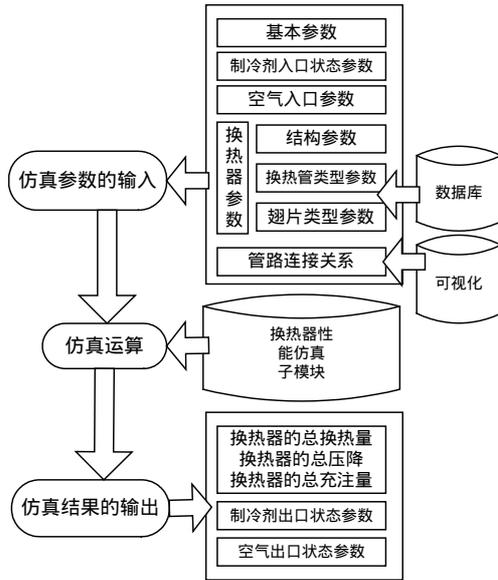


图2 仿真系统框架

其中，输入模块包括如下几个方面：

- (1)基本参数的输入 多联换热器组由几个换热器组成，即对几个换热器个体同时进行仿真；
- (2)制冷剂入口参数的输入 制冷剂的种类、制冷剂的入口压力、入口焓和质量流率；
- (3)空气入口参数的输入 空气入口风速、入口干球温度、入口湿球温度和入口压力；
- (4)换热器参数的输入 换热器的种类、长、宽、高等结构参数；以及每个换热器采用的翅片类型，每个换热器采用的管子类型。由于需要录入的翅片类型和换热管类型的参数较多，因此本文引入数据库技术，构建了翅片类型库和换热管类型库，方便用户从数据库中导入翅片类型和换热器类型的参数；
- (5)管路连接关系的输入 本文引入可视化技术，通过用户在界面上对换热管的选择和拾取来形象直观地确定换热器的管路连接关系。

仿真运算模块主要是通过调用输入模块的输入参数，对换热器的换热及压降特性进行仿真运算，为输出模块准备相应的输出参数。

输出模块输出的参数包括如下几个方面：

- (1)换热器整体性能参数的输出 换热器的总换热量、总压降和换热器中制冷剂的充注量；
- (2)制冷剂出口参数的输出 制冷剂出口的压力、温度、焓、干度、过热(冷)度等参数；
- (3)空气出口参数的输出 空气出口风量、出口干球温度、出口湿球温度和出口压力。

## 2 仿真系统的实现方法

### 2.1 各种类型的翅片和换热管的参数输入的实现

由于本仿真系统要求能够对多联运行的换热器组的性能进行仿真预测，而且要求多联换热器组中的每个换热器可以采用各自独立的翅片类型和换热管类型。但由于每种类型的翅片和换热管的类型参数为8~12个不等，如果采用对话框的形式录入翅片类型和换热管类型的参数，则对包含n个换

热器的多联换热器组来说，要录入 $(8 \sim 12) \times n$ 个数据。这是相当繁琐的，也不便于对翅片类型和换热管类型的参数进行统一的管理和分析。为了解决这个问题，本文引入数据库技术，建立了基于CSV文件的翅片类型和换热管类型的数据库，实现了相应的数据库的基本功能，方便用户管理和录入各种类型的翅片和换热管的参数。

#### 2.1.1 基于CSV文件的数据库的简介

CSV文件是指逗号分隔文件，是一种在实际的科学实验和研究分析中经常用到的文件格式，具有简单、易编辑、可以被多种文档编辑器打开和编辑(如Excel, Word, 文本编辑器)等优点。此外，相比FoxPro, Oracle等大型的专门的数据库软件来说，以CSV文件为基础建立简单的数据库表格来保存各种翅片类型和换热管类型的参数，具有简单、不需要另外专门软件的支持、能较好地与Visual C++结合等优点。

本文将同一类型翅片的参数保存在以这种翅片类型名称命名的CSV文件中，如Wavy\_Fin.csv, Slit\_Fin.csv等。两种换热管的参数也分别保存在Smooth.csv和Enhanced.csv文件中。在仿真软件的界面上以数据表格的形式来直观地显示这些数据，并且可以通过鼠标点击数据表格中的记录和相应的控件就可以方便地将相应的参数导入到换热器的模型中，这样就避免了要录入 $(8 \sim 12) \times n$ 个数据的繁琐过程。并且用统一格式的CSV文件来保存各种翅片类型的参数和各种换热管类型的参数，也便于对这些参数进行统一的管理和分析。

由于本文仿真系统的开发环境是Visual C++集成开发环境，因此要建立基于CSV文件的翅片类型和换热管类型的数据库，就要解决在Visual C++中如何读写CSV文件的问题，以及如何在界面上实现对这些文件进行方便操作的功能。

#### 2.1.2 在VC中读写CSV文件

本文通过对一个表格控件CGridCtrl类<sup>[3]</sup>的继承，构造了一个能够用表格形式将数据显示出来的类。这个类还包含一个能读写Excel文件和CSV文件的类CSpreadSheet<sup>[4]</sup>的对象，从而使得本文构造的这个类既能自由读写存储了各种翅片类型和换热管类型参数的CSV文件的类，又可以采用表格控件的属性将CSV文件的内容用表格的形式显示在用户界面，便于用户编辑和选择相关数据，并导入到仿真模型中。

本文构造的这个能够采用表格控件显示CSV文件内容的类的构造如图3所示。它继承于表格控件，同时又包含了一个能读写CSV文件的CSpreadSheet类的对象。

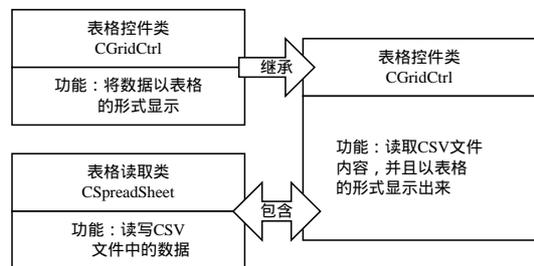


图3 采用表格显示CSV文件内容的类的构造

#### 2.1.3 基于CSV文件的数据库的功能的实现

通过调用上文构造的能够采用表格显示CSV文件内容的类来构建相应的对象，就可以在界面上实现对存储了翅片类型和换热管类型数据的CSV文件的修改、保存、以及对CSV文件内容进行排序，和将CSV文件中的数据导入到换热器仿真模型中等功能。

## 2.2 OpenGL 可视化技术对翅片管换热器可视化的实现

可视化技术是利用计算机, 根据数据产生图像, 并利用图像的颜色、透明度等属性来反映数据的特征的技术。这种技术能将不可见的变为可见的, 在短时间内通过图形传递大量的数据信息, 使得研究人员能直观、迅速地观察和构建仿真系统所研究的对象。目前, 在三维图形领域, OpenGL 图形库是应用最广泛的 3D 图形应用接口(API)。

### 2.2.1 OpenGL 技术简介

OpenGL是开放图形程序库(Open Graphics Library)的缩写, 是SGI公司开发的一套高性能的图形处理系统<sup>[5]</sup>。它是一个和硬件无关的编程接口, 由 250 个命令组成, 是一个三维的图形和模型库。它能与面向对象集成开发环境 Visual C++ 结合, 用户通过这些命令能指定创建交互的 3D 或者 2D 几何对象。

### 2.2.2 在 VC 中利用 OpenGL 技术

在 Visual C++ 集成开发环境中利用 OpenGL 技术, 需要将 OpenGL 图形库的相关头文件和动态连接库文件关联到 Windows 系统的相关文件目录下和 Visual C++ 的安装目录下, 即将 glut.dll 拷贝到 c:\windows\system32\文件目录下, 将 glut.lib 拷贝到 c:\Program Files\Microsoft Visual Studio\VC98\lib\文件目录下, 将 glut32.dll 拷贝到 c:\windows\system32\文件目录下, 将 glut32.lib 拷贝到 c:\Program Files\Microsoft Visual Studio\VC98\lib\文件目录下, 将 glut32.h 拷贝到 c:\Program Files\Microsoft Visual Studio\VC98\Include\GL\文件目录下。

### 2.2.3 基于 OpenGL 技术的可视化界面的实现

本文利用 OpenGL 技术在图形化领域的强大功能, 用形象、逼真的三维以及二维图形来反映换热器的实体结构, 并且利用 OpenGL 技术的灵活的交互能力, 实现了换热器设计中交互式的管路连接, 具体功能如下:

(1)用 3D 图形来反映换热器的实体结构 采用 OpenGL 提供的对实体的颜色、材质、光照等属性进行处理的方法, 分别绘制出风向箭头、换热器框架、换热管、连接管, 然后组合成换热器的实体结构。

(2)对 3D 图形实现移动、旋转、缩放等功能 为了便于从多个角度观察实体模型以及研究每个局部的仿真结果, 采用了 OpenGL 技术提供的视区变换、投影变换等处理方法。通过调用视点变换函数, 确定场景中换热器实体的视点位置和方向, 并通过投影变换将 3D 图形转化为 2D 图形。

(3)交互式地设计换热器管路 通过采用 OpenGL 技术提供的选择、拾取和反馈功能, 编写相关程序, 可以实现通过选择需要连接的两个换热管的端头, 将二者用连接管连接起来, 从而实现换热器中的管路连接。

## 2.3 采用分布参数模型实现翅片管换热器的三维仿真

由于换热器性能的设计研究是一个融合了传热、传质的复杂流动换热过程, 每个空间位置的性能参数均具有很大的差异, 因此只有采用分布参数模型才能全面和准确地仿真换热器的性能。并且由于在换热器性能仿真中, 换热管内外两侧的传热性能是相互制约、相互影响的, 同时各参数间又是定量耦合的, 因此只有正确处理这种耦合关系, 才能保证模型算法稳定性和提高仿真速度。文献<sup>[5,6]</sup>对此有详细的叙述, 因此不在此赘述。

## 3 仿真系统的具体实现

以下是采用了数据库和可视化技术后, 构建的换热器仿

真系统实现的效果图。图 4 为仿真系统的参数输入界面, 在这个界面中, 用户可以通过对话框或者表格的形式录入仿真需要的参数, 如制冷剂入口状态参数、空气入口状态参数、翅片类型和换热管类型参数, 图 5 为仿真系统的仿真运算界面, 仿真系统在进行运算时自动调用了仿真运算模块, 并将仿真运算所经历的时间实时地显示在界面上。图 6 为仿真系统的结果显示界面。仿真结果可以用表格或者对话框的形式形象直观地显示出来。

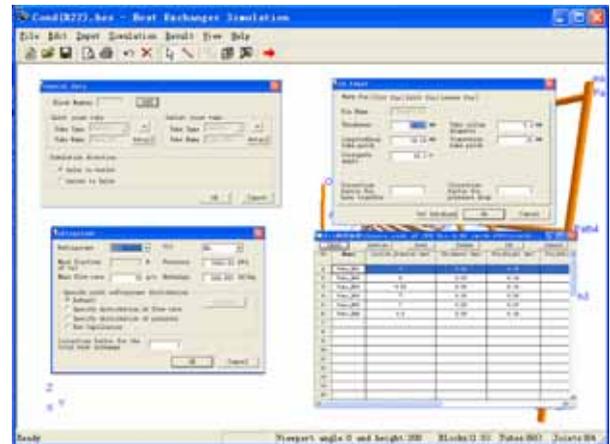


图 4 仿真系统的参数输入界面

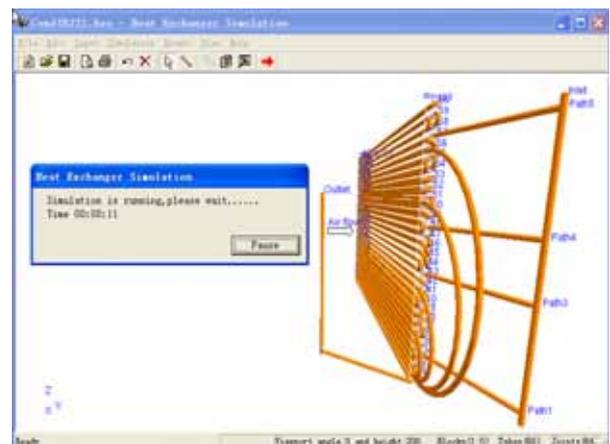


图 5 仿真系统的仿真运算界面

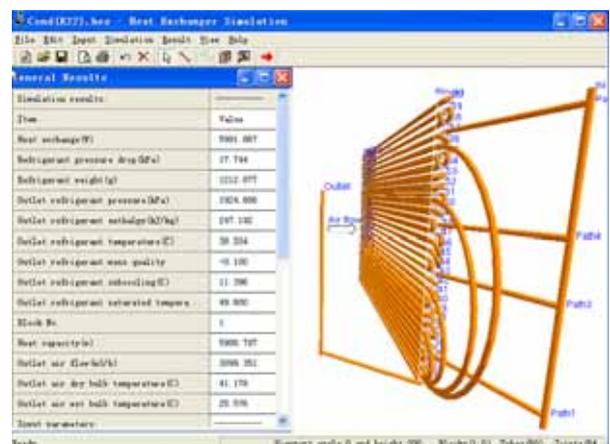


图 6 仿真系统的仿真结果输出界面

## 4 结语

本文采用数据库和可视化技术, 结合已比较成熟的换热器仿真模型, 实现了翅片管换热器的仿真系统。该系统现已

(下转第 283 页)