

# 基于 LabVIEW 和 PXI 技术的热工水力学测控平台

## Thermal Hydraulics Measurement and Control Platform Based on LabVIEW and PXI

作者：查美生，陈实，沈健和韦源  
职务：教授，研究生，研究生，研究生  
单位：清华大学（北京 100084）

**应用领域：** 院校

**使用的产品：** 美国 NI 公司的 LabVIEW 6i 和软件包（企业通讯工具包，系统仿真和控制包，信号处理包，PID 控制包和自动化符号包）。PXI-1010, SCX1102, PXI-PC18335, MXI-3, PXI-6031E, NI-4351, NI-4350 和 PCI-MIO-16X-10 等。

**挑战：** 应用美国 NI 公司的 LabVIEW 和 PXI 等先进的虚拟仪器技术，建成大学实验室热工水力学测量平台，将虚拟仪器和对等网络技术应用于热工水力学实验热工参数的测量和控制,同时在平台软硬件支持下，开发先进热工测量技术和热工仿真技术。

**应用方案：** 采用美国 NI 公司的 LabVIEW 6i 和 PXI 等先进的虚拟仪器技术，组建成热工水力学测控平台，服务于科学研究和实验的测量和控制。同时，在平台软硬件支持下，开发成功了多项先进的热工测量技术和热工仿真技术。

### 介绍

依托 NI 公司的 LabVIEW 高效软件开发平台和强大的功能，结合先进的 PXI 技术，快速组建成大学实验室热工水力学测控平台，在短短的时期内，完成了或正在进行海水淡化等几个重大研究课题，同时成功地研发了先进的热工测量技术和热工仿真技术，将实验室测试水平提高到一个新的水平，有力地支持了世界一流大学的建设。

### 热工水力学测控平台

根据虚拟仪器和对等网络的思想，采用 NI 公司的 LabVIEW 和 PXI 系列产品组建成了热工水力学测控平台，平台的结构见图 1 所示。这是一个由 PXI 数据采集系统，PCI-板卡数据采集系统，PCMCIA—板卡数采系统和 GPIB 仪器系统组成的网络化测控系统，系统内各个子系统可以单独使用，也可以组合使用，非常适合于大学实验室各类实验需要。

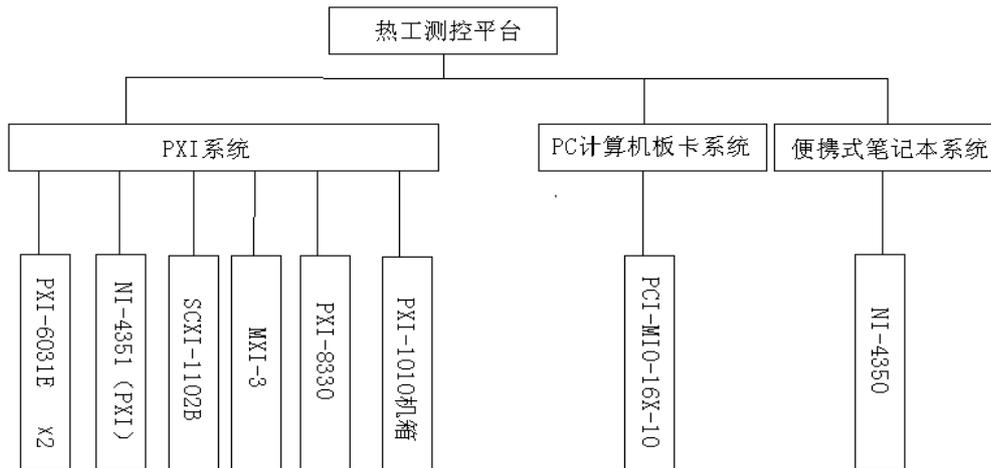


图1 热工水力学测控系统结构图

### PXI 和 MXI 总线技术

PXI 是 1997 年 NI 公司推出的一种新的仪器机箱总线标准，PXI 在结构形式上与 VXI 总线有些类似，但有区别，PXI 的核心是 Compact PCI 的结构和 Microsoft Windows 软件，它直接采用当今主流计算机的 PCI 总线，在保留 PCI 总线与 Compact PCI 模块结构所有的优越性能（如优良的机械性能 易于系统集成以及比台式计算机有更多的扩展槽等）的同时，增加了系统参考时钟和触发器总线等，在机械、电器和软件方面增加了仪器测量所特别需要的性能，加上人们在台式机上所熟悉使用的 Windows 软件，使得 PXI 系统集诸方面优点于一身，它将 PC 机的性能价格的优势和 PCI 总线面向仪器领域的扩展结合起来，成为一种新型的虚拟仪器系统。与 VXI 仪器相比较，除了具有基本相同的性能外，还具有成本低，开发周期短，便于组成便携式测试系统等优点。MXI 是与 PC 计算机互连的数据总线，宽度 32 位，传输速度 23MB/S，通过 MXI 光缆，实现信号远距离传输。

热工水力学实验室实验大厅内有四个大型热工实验台架，每个台架都有大量的温度、压力、流量等热工参数，还有辅助的电压、电流、功率等信号，采用 PXI 和 MXI 技术，形成图 2 所示测量系统。PXI 系统靠近实验台架，通过 MXI 光缆将实验现场的 PXI 系统和控制室的 PC 主控机连接起来，所以大量的信号传输线都位于实验现场，虽然数量很多，但长度很短，这样既节约了大量费用，又有利于抗干扰。四个实验台架共用一套便携式 PXI—MXI 系统。实际应用证明，该系统配置合理，成本低，利用率高，从而极大地提高了实验水平和效率。

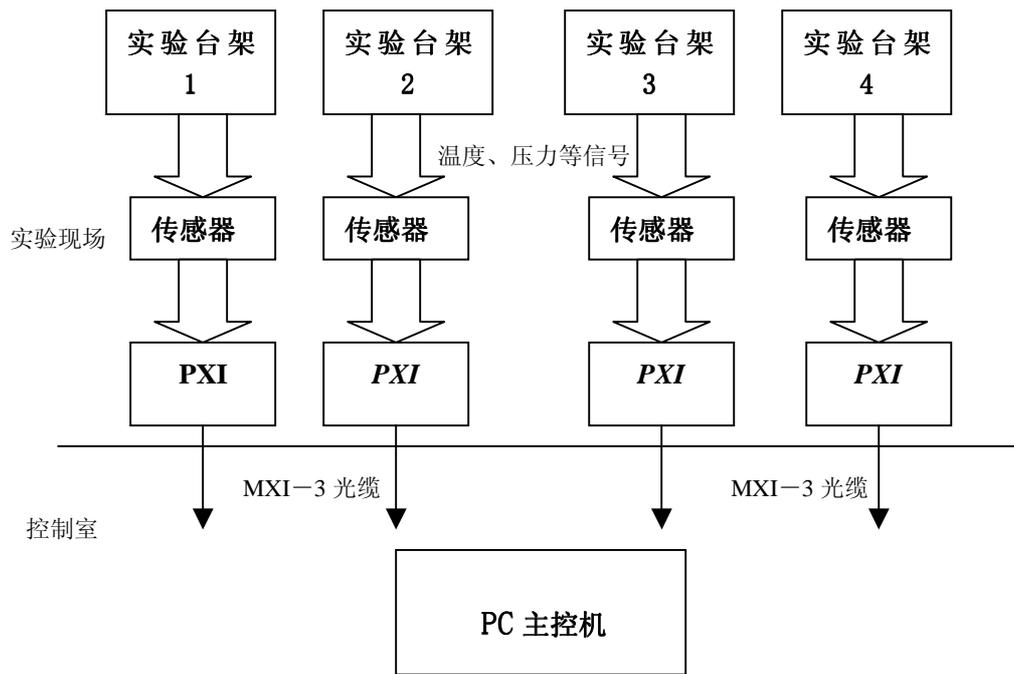


图2 PXI—MXI 数据采集系统连接框图

### 热工测控平台的应用举例

海水淡化是 985 项目的重大课题之一，测量信号多，有温度、流量、液位、压力和压差信号，还有加热功率、电压、电流等信号。由于测控平台的强大数据采集和信号处理功能，在较短的时间内完成了该实验测试系统，在 Data Socket 技术支持下，实现了实验网络化，实验室内和远程网络终端都能实时读取实验数据，实时了解实验进展，图 3 是海水淡化实验整体示意图。

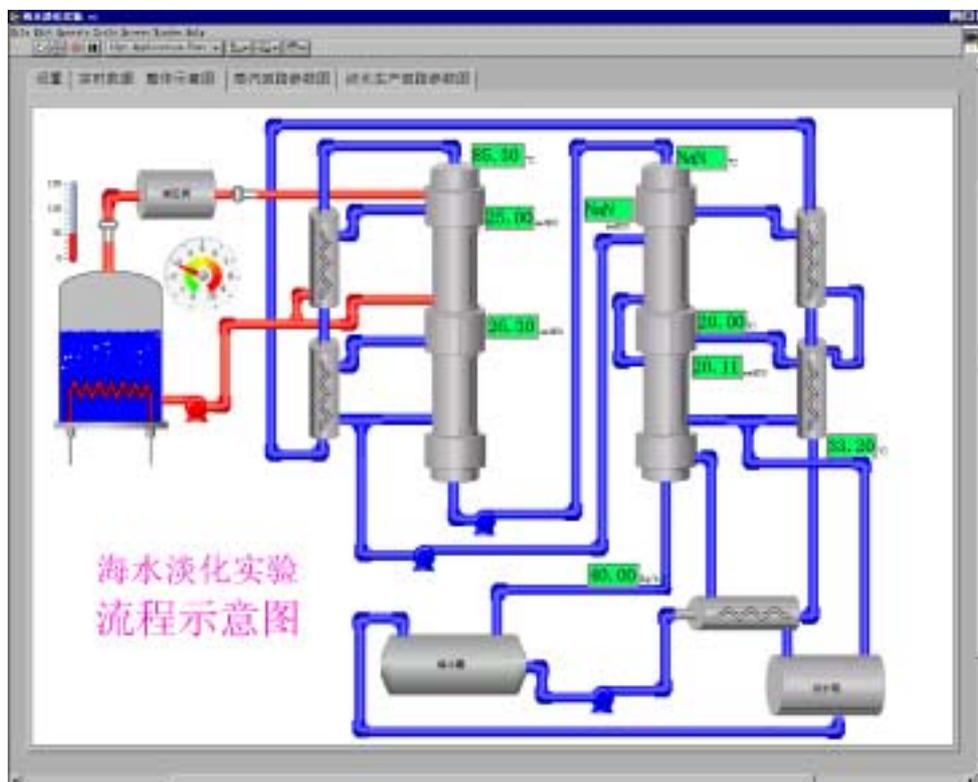


图3 海水淡化实验整体示意图

## 先进的热工测量技术

依托LabVIEW 软件包强大信号处理功能, 在较短的时间内, 开发成功了基于频率信号流量计的流量测量和仿真分析系统, 自然循环两相流不稳定测量和仿真系统, 相关技术测量流量和仿真系统, 以及基于 G Web 服务器的热电偶校验监控系统, 将实验室测试水平提高到一个崭新的水平。

### 1. 基于频率信号的流量计的流量测量和仿真分析系统

实验室中大量使用涡街和涡轮流量计, 流量信号是近似正弦波的频率信号, 频率大小代表了流量的大小。由于实验室中电场、磁场相互影响和 50Hz 电网干扰, 其测量精度受到很大影响, 往往达不到流量传感器本身精度。我们利用 LabVIEW 信号处理包中 Super Resolution Spectral Est. 的 PCAR Power Spectrum 等模块, 研发成功基于频率信号的流量计流量测量和仿真分析系统, 见图 4 所示, 该系统既可作流量测量用, 又可作为仿真分析用, 达到优化测量方法, 实现高精度流量测量。该系统具有所需采样点数少, 分辨率高, 和抗噪声能力强等优点。

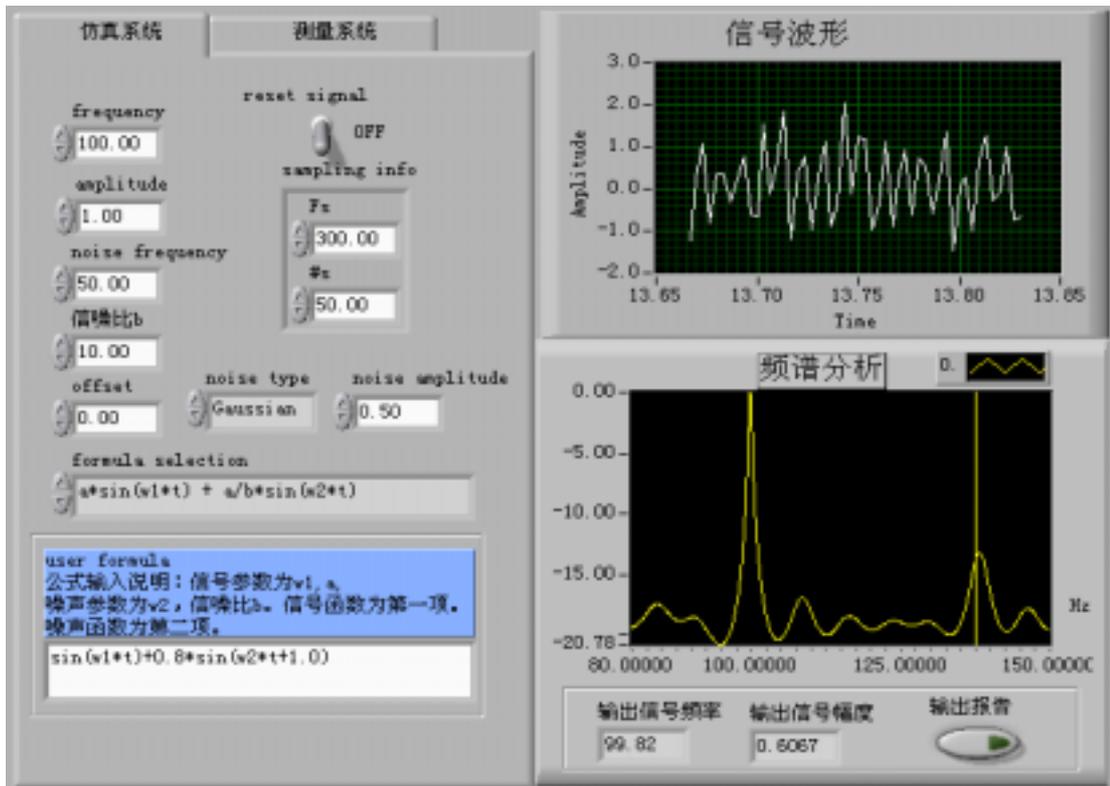


图4 基于频率信号的流量测量和仿真系统

### 2. 两相流不稳定测量和仿真分析系统

两相流特性和两相流不稳定研究是热工水力学学科的研究前沿, 对学科发展和两相流应用都有重要价值。我们采用 LabVIEW 信号处理包中 Super Resolution Spectral Est. 的 PCAR Power Spectrum 等模块, 在短短时间内, 开发成功了自然循环两相流不稳定性测量和仿真分析系统, 系统的前面板见图 5 所示, 该系统为科研人员深入研究两相流不稳定性问题提供了先进测量和分析工具。

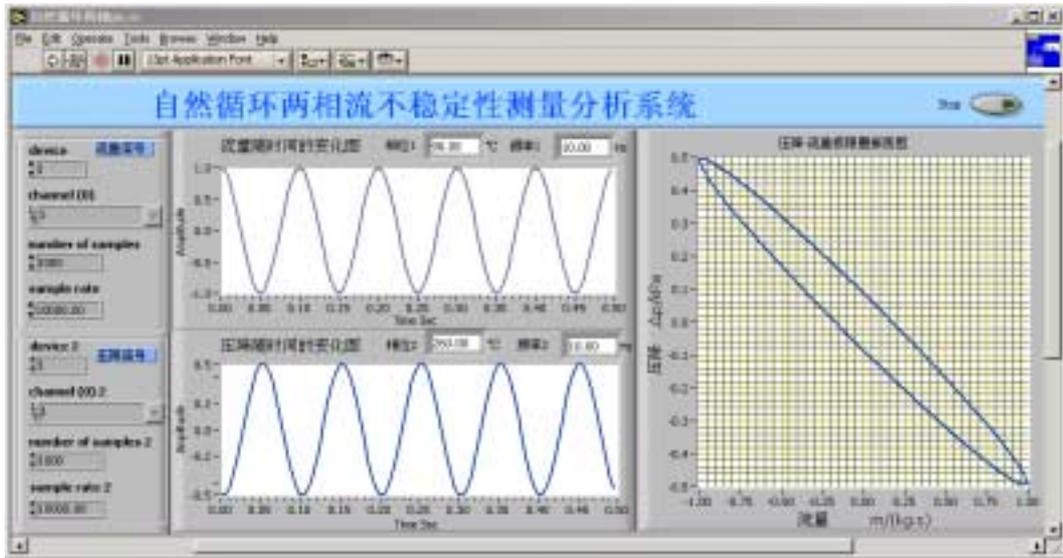


图5 自然循环两相流不稳定性测量和仿真分析系统

### 3. 相关技术测量流量系统

应用相关技术测量流量是先进的流量测量技术，它利用流体携带的某种特征信号,对载流管道相距  $L$  位置上的检测信号  $X(t)$ 和  $Y(t)$ 作相关处理来确定流体的运动速度,即流体的流量。

利用 LabVIEW 软件库中 Signal Processing 的 Cross Correlation 等模块,即可容易地开发成相关技术流量测量分析系统,在热工实验中,流体的温度和电导等信号都可作特征信号用,图 6 是相关技术流量测量系统,由相关函数  $R_{xy}$  最大值可知,信号  $Y(t)$ 比信号  $X(t)$ 延迟时间  $\tau$ ,根据两个测点之间的距离  $L$ ,即可得到流体的流速  $W=L/\tau$ 。

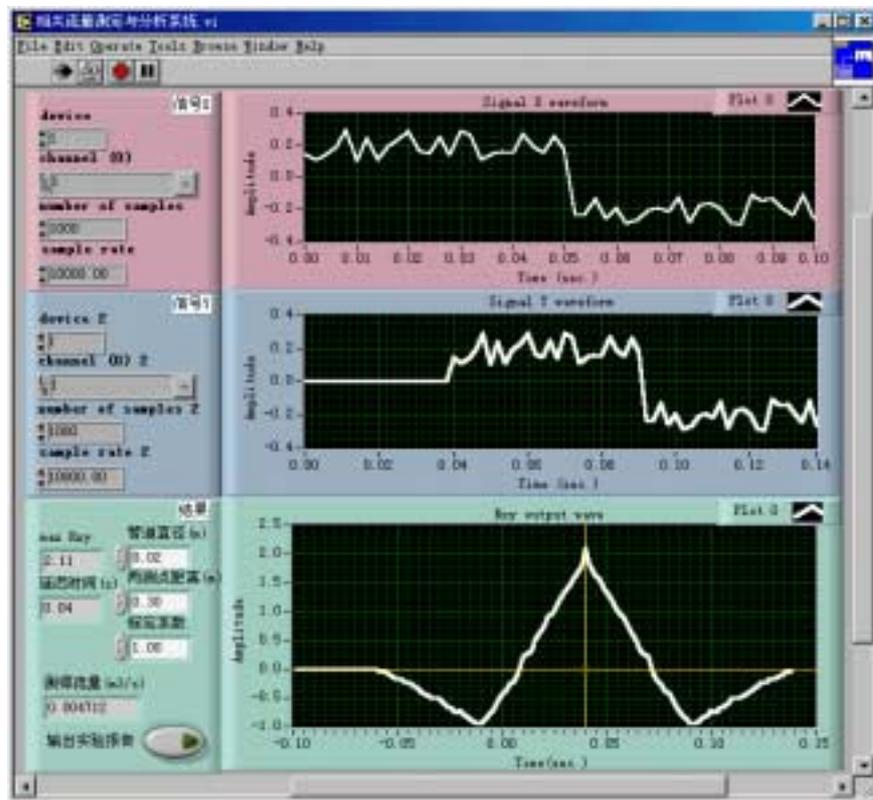


图6 相关技术流量测量系统

#### 4. 基于 G Web 服务器的热电偶校验监控系统

用 LabVIEW 软件库中 G Web 服务器等模块，容易地开发成远程控制的热电偶校验系统，系统的前面板见图 7 所示，用户可以通过浏览器来对现场的校验监控程序进行操作，例如设定恒温温度，采集设备和通道号等参数。

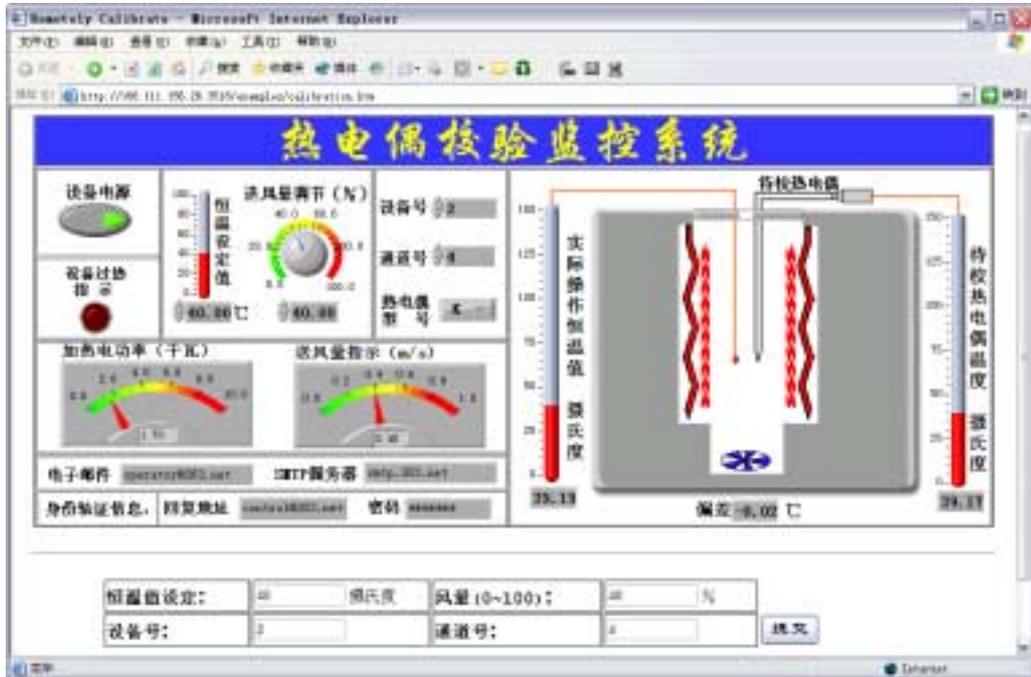


图7 远程控制的热电偶校验监控系统 HTML 页面

#### 基于 LabVIEW 的热工仿真技术

热工仿真技术主要是指应用计算机技术，热工水力学原理，数值计算方法和虚拟热工仪表技术，进行传热学和流体力学方面的数值模拟，即用计算机进行热工实验，达到（或基本达到）与热工水力学过程一致的结果，和高可视化的数据表达。用来进行工程性实验预测和估计，达到优化实验，提高水平和效率，提高工程建设的可行性和经济性。

“模块化与组合”的方法是用 LabVIEW 开发热工仿真程序的基本方法之一。所谓“模块化”就是对基本的热工对象的特征属性以及其热工过程的计算方法进行封装，形成一个独立的、可复用的基本模块，此模块既可以独立运行，也可以通过合理的联接与其他基本模块组合运行；所谓“组合”就是根据各个基本模块输入参数的类型以及相互关系对其进行联接，前一个模块的输出数据经过合理的处理后，作为后一个模块的输入参数，通过数据流驱动整个程序的运行，从而完成由简单的基本模块组成复杂仿真系统的过程。

##### 1. 模块化

热工对象模块是 LabVIEW 开发热工仿真程序系统结构的基础，其结构示意图如图 8 所示。要搭建一个具有基础模块结构的基本热工对象模块，首先需要对一个热工对象的特征及属性的进行总结、提炼，抽取其中的共性属性作为模块的输入参数、中间隐含参数、或是输出参数，然后建立这些参数的物理关系，并以数学模型表达这些关系，必要的时候再根据需要辅以适当的辅助计算模块和对象的物性参数，从而形成一个完整且可以复用的基础热工对象模块。当模块应用于仿真程序时，它就成为程序框图中的一个“节点”。

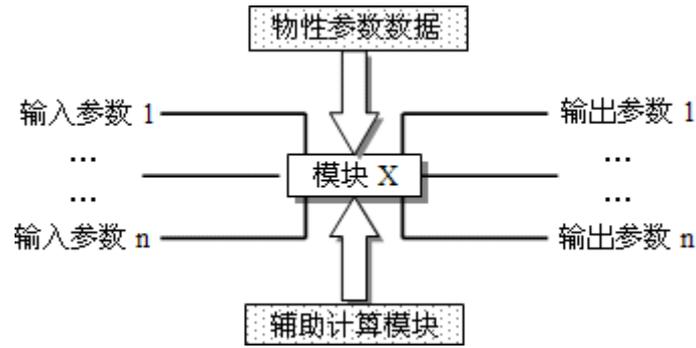


图8 基础模块的结构示意图

## 2. 组合

LabVIEW 的运行是由数据流驱动的。简单地说，就是只有当所有的输入参数的数据都已经准备好的时候，一个“节点”才能执行其功能，当“节点”的流程执行完后，它所有的输出端都会产生一个数据值，传给下一个“节点”的输入端。

这种数据流驱动的执行方式使用户“组合”各个基本热工对象模块的过程变得更加容易，因为用户可以将实际的物理过程中的能量、质量的流动映射成数学模型中的相应的数据流动，所以用户在编程过程中就可以根据实际的物理过程中各个热工对象之间的关系来联接各个基本的热工对象模块。图9 为一个处理管道并联中子管道与并联后混合计算的示例。

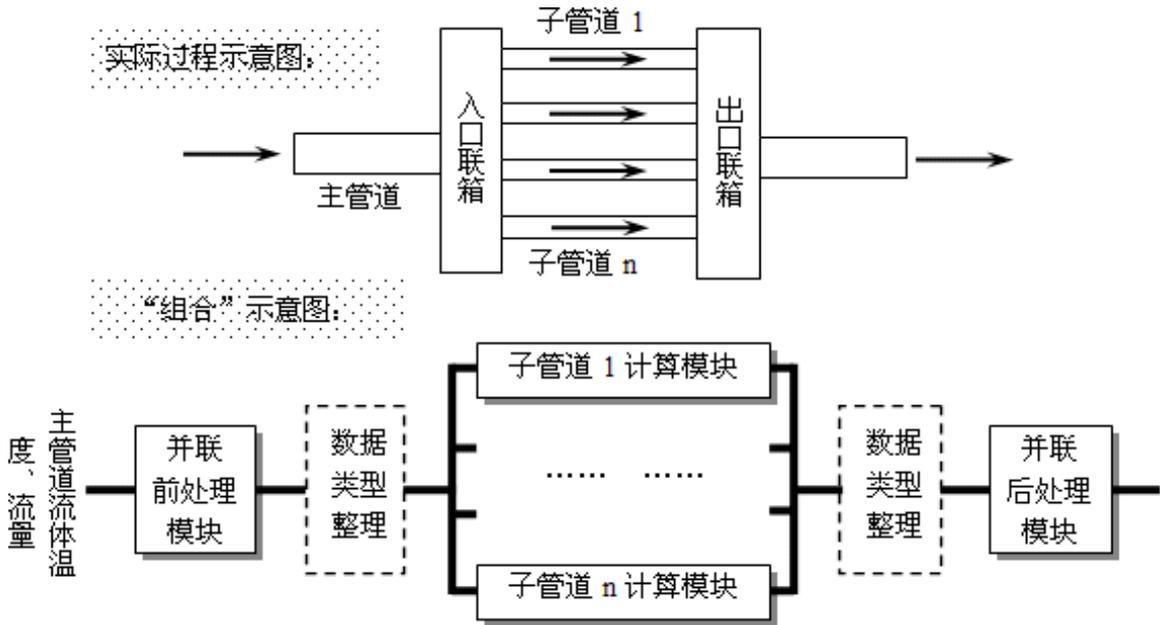


图9 组合示例

其仿真程序的框图如图 10 所示,为了清晰的显示上面所述的组合结构，作者隐去了程序框图中的一些模块的部分参数。

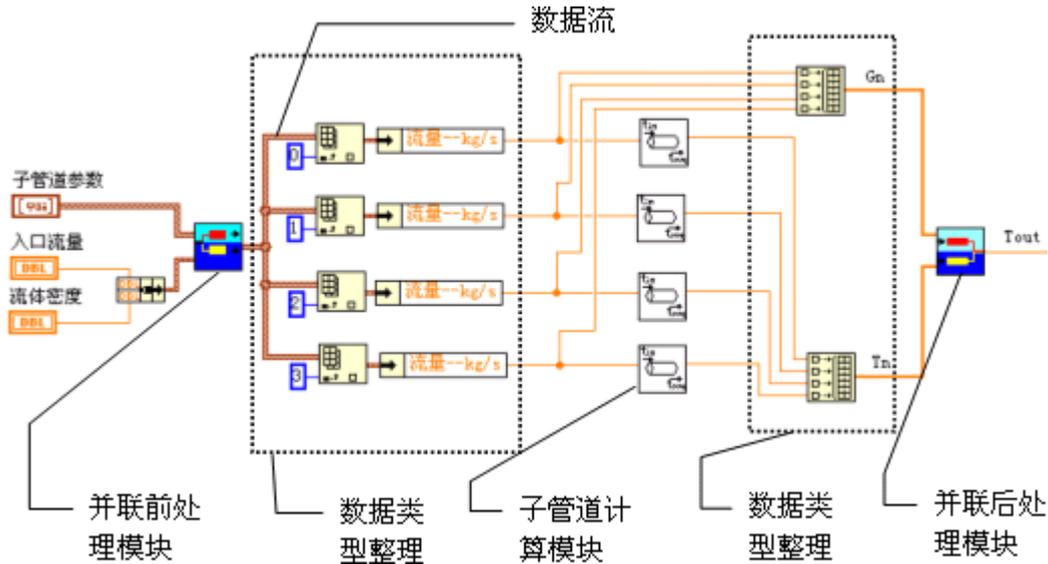


图10 并联管道计算仿真程序框图

### 3. 热工仿真程序系统的结构

根据“模块化与组合”这个基本思想，作者提出了图 11 所示的结构作为基于 LabVIEW 开发热工仿真程序系统的框架结构。

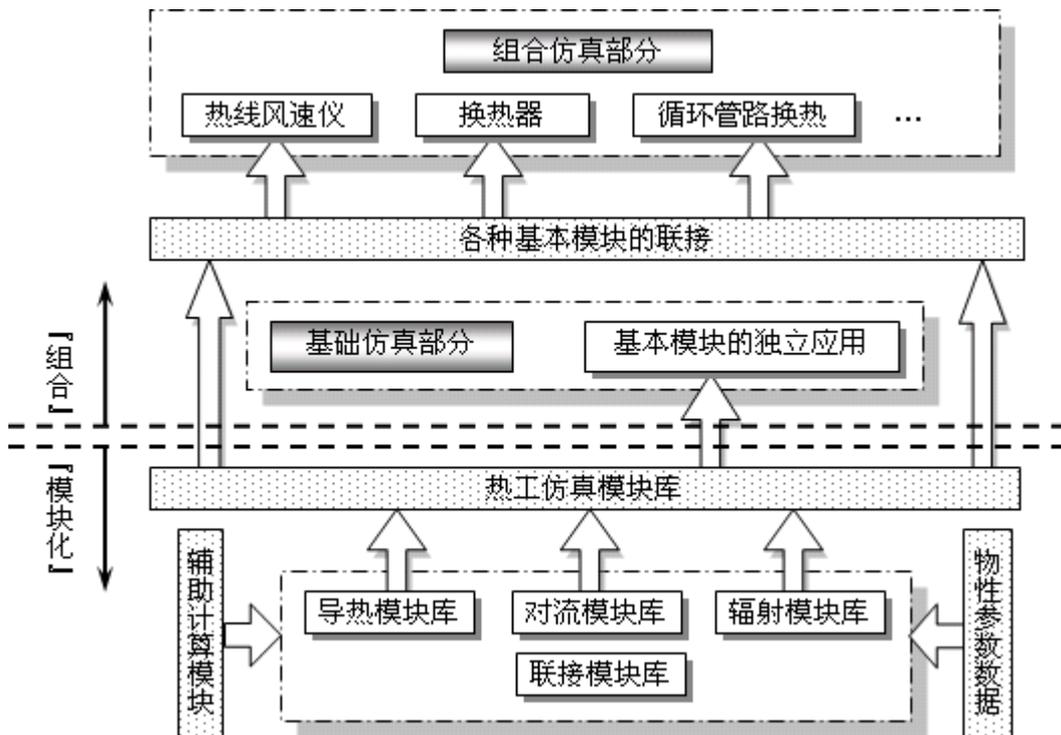


图11 用LabVIEW 开发热工仿真程序系统的结构示意图

## 4. 仿真实例

### 4.1. “凹”字形大平板二维非稳态导热过程仿真

本程序用二维非稳态导热的物体内部温度分布计算模块模拟一个“凹”字形大平板由稳态突然置于一个边界条件复杂的环境中后，其内部温度随时间的变化情况。大平板的各边分别处于不

同的边界条件下。平板的物理属性以及各边所处的边界条件情况如图 12 所示。

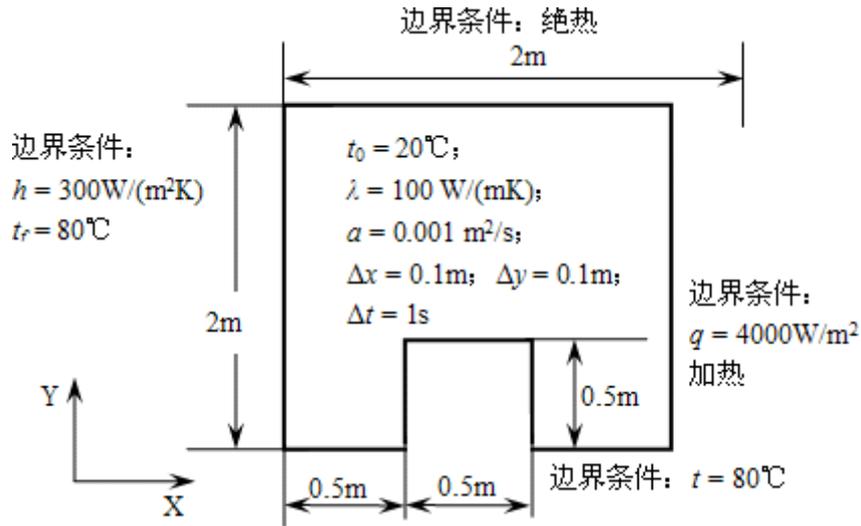


图 12 “凹”字形大平板及边界条件示意图

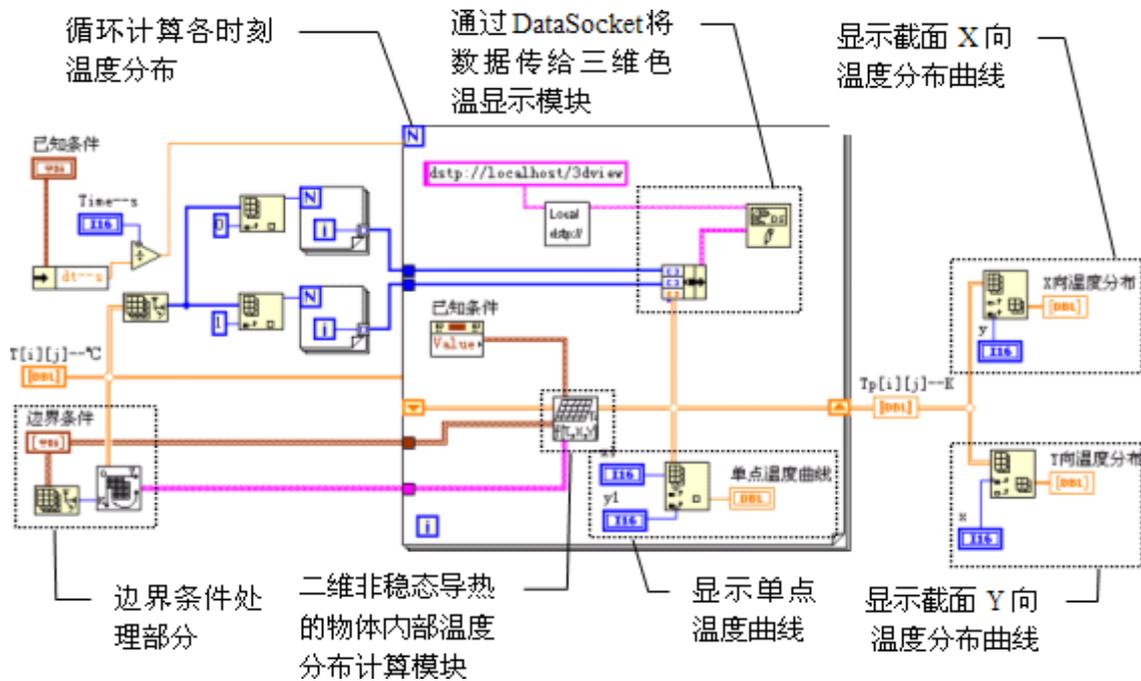


图 13 仿真主程序框图及说明

仿真结果给出了平板内部温度是随时间变化的等温线，图 14 是 100 秒、200 秒、300 秒 3 个时刻的平板温度分布的三维色温图。从图中我们可以非常清楚地看到，随着时间的不断推移，处于第三类边界条件的一条边的温度逐渐趋近于环境温度，受恒热流密度加热的边温度会不断升高，处于绝热边界条件下的边温度变化缓慢。观察等温线的变化，不难看出温度梯度在随着时间增加不断减小，这说明平板内部温度分布趋于平均。

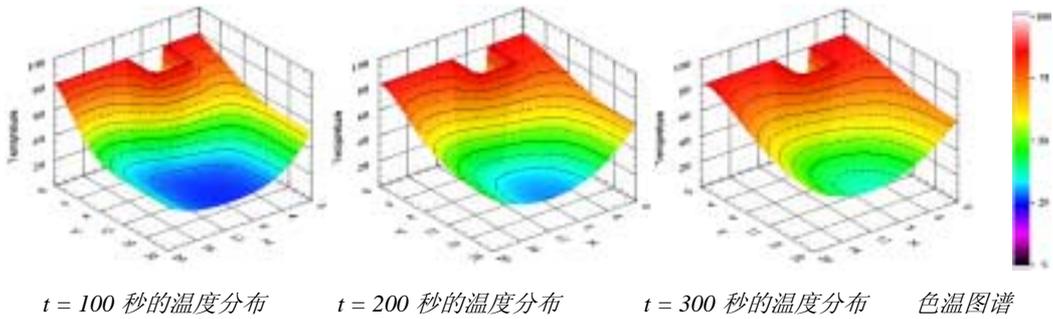


图14 不同时刻的平板温度分布三维色温图

#### 4.2.恒温热线风速仪的仿真实验

本仿真实验主要是演示横掠单管的强迫对流传热计算模块的使用和实验操作，仿真实验前面板如图 15 所示。

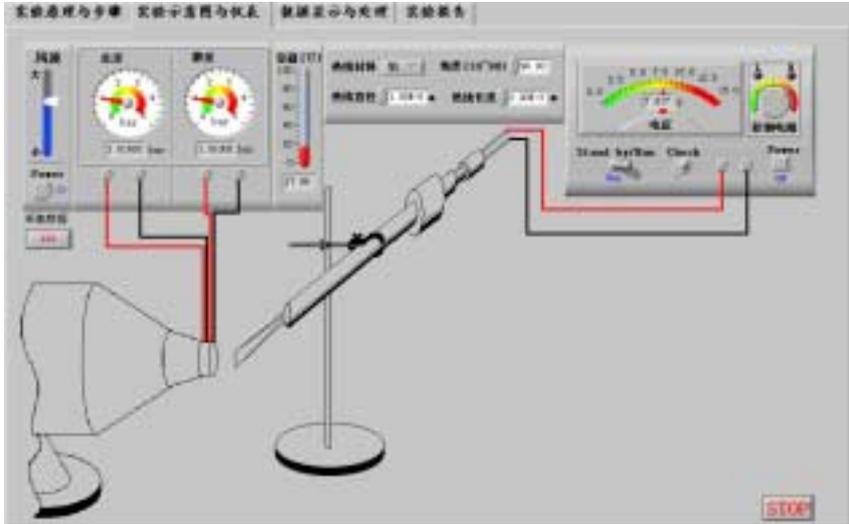


图15 热线风速仪仿真实验操作前面板

#### 结论

本文应用美国 NI 公司的 LabVIEW 和 PXI 等先进的虚拟仪器技术，建成了大学实验室热工水力学测量平台，将虚拟仪器和对等网络技术应用于热工水力学实验热工参数的测量和控制，同时，在平台软—硬件支持下，开发成功了多项先进的热工测量技术和热工仿真技术，进一步丰富了 LabVIEW6.0 的用户软件库，拓宽了热工测控平台的功能，极大地提高了科学实验水平，有力地支持了世界一流大学的建设。