

基于网络的 10 MW 高温气冷堆仿真系统

罗少杰, 石磊, 朱书堂

(清华大学核能与新能源技术研究院, 北京 100084)

摘要: 仿真系统基于计算机网络环境, 可对 10 MW 高温气冷堆 (HTR-10) 的堆芯、主回路系统和蒸汽发生器等部件进行分析计算, 模拟稳态和瞬态过程, 并以图形界面动态显示仿真过程。同时可对仿真过程进行回放, 对仿真数据结果进行分析并以二维、三维图形显示。该仿真系统不仅对高温气冷堆的工程设计、安全分析和人员培训有重要作用, 且可对 HTR-10 主控室的操作人员进行现场支持及各项研究提供帮助。

关键词: 高温气冷堆; 仿真系统; 网络

中图分类号: TL411

文献标识码: A

文章编号: 1000-6931(2005)01-0066-03

Network-based Simulation System for 10 MW High Temperature Gas-cooled Reactor

LUO Shao-jie, SHI Lei, ZHU Shu-tang

(Institute of Nuclear and New Energy Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The simulation system is based on the network environment. And it is intended to analyze and calculate the physical process of the reactor core, the main loop system and steam generator, etc., as well as to simulate the normal operation and transient accidents. The simulation results are displayed in graphical user interface dynamically. The system can be used as an educational tool to understand the design and operational characteristics of HTR-10, and can also provide online supports for operators in the main control room.

Key words: high temperature gas-cooled reactor; simulation system; network

计算机仿真技术在核电站的设计、运行和人员培训等方面起着重要的作用, 大量新技术, 如并行计算、虚拟现实、高速以太网等均被运用于该领域^[1]。目前, 核电仿真系统的发展呈现如下趋势: 1) 仿真模型, 采用系统分析程序、三维动态多群中子动力学模型且引入了并行算法; 2) 仿真结果表达, 采用全数字化显示或应用虚拟技术, 并与在线智能技术相结合; 3) 仿

真软件开发, 采用“软件车间”和模块化自动程序生成器, 具有高度友好的图形化用户界面; 4) 网络应用, 利用高速以太网计算服务和界面显示分离开等^[1,2]。HTR-10 仿真支持系统包括仿真、可视化控制方案设计和现场支持 3 个子系统。目前开发完成的仿真系统基于计算机网络环境, 系统的各个部分运行于 Microsoft Windows 平台。

收稿日期: 2003-09-01; 修回日期: 2003-11-12

作者简介: 罗少杰(1976—), 男, 浙江杭州人, 硕士研究生, 核能科学与工程专业

1 仿真系统

1.1 仿真模型

仿真系统的模型和公式主要基于改进的球床式高温气冷堆热工分析软件 THERMIX,并对其进行完善。THERMIX 是由西德于利希核研究中心(KFA-Julich)开发,受到国际气冷堆技术协会及美国能源部的支持,被正式批准用于球床堆的分析软件。

THERMIX 主要功能模块分为堆内固相温度和流动计算、中子动力学计算、回路系统及蒸汽发生器水侧和氦侧状态参数计算等^[3]。

1.2 仿真系统总体结构

该系统包括:仿真计算服务器、仿真计算主控端、仿真结果显示端和仿真计算结果后处理 4 部分。各部分通过局域网连接,相互通讯(图 1)。仿真计算服务器负责仿真程序 THERMIX 的计算,将计算结果通过网络传给主控端和各个显示端,同时将仿真结果数据以数据文件形式保存在计算机文件中。仿真计算主控端用于向计算服务器提供模型参数并发出控制命令。同时,主控端也图形化动态显示仿真结果。仿真结果的显示由多台计算机完成,每台计算机均接受计算服务器的计算结果。根据需要,可在相关的计算机上图形化地显示用户感兴趣的数据。仿真计算结果后处理部分对仿真结果的数据文件进行分析,并以数据报表或二维、三维图形显示出来。通过读取该数据文件,仿真系统可对仿真过程进行回放。

1.3 计算服务器的实现

计算服务器由前台服务器程序和后台仿真计算程序两部分组成(图 2)。

后台仿真计算程序可计算包括球床堆芯的

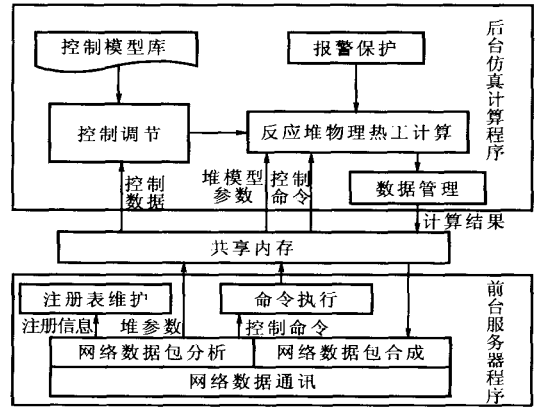


图 2 计算服务器结构图

Fig.2 Schematic diagram of calculation server

反应堆本体、主回路管路、风机及蒸汽发生器等部件在稳态和瞬态情况下的物理热工参数的变化过程,对绝大多数事故工况进行实时仿真。同时后台程序还集成有数据管理模块、控制调节模块和报警保护模块。数据管理模块用来实现仿真计算程序与服务器前台程序之间的数据通讯,并将仿真结果存入数据文件;报警保护模块在仿真过程中根据系统参数是否超过保护限制设定值来发出停堆信号和警告信号,触发相应的保护和调节模块;控制调节模块根据可视化控制设计子系统传来的数据,在仿真过程中实时地改变控制机构的状态,从而影响控制效果。

计算服务器前台程序用于启动后台计算程序及网络数据通讯。其中的网络数据通讯模块运用 TCP 网络协议实现数据包的接收和发送,数据网络通讯准确性和可靠性由系统提供的 TCP 协议实现规范来保证。网络数据包分析模块用于分析接收到的各个数据包的类型,根据数据包不同类型将其投送到不同的执行模块。注册信息投送到注册表维护模块,该模块用于维护各连接到当前服务器的计算机的相关信息,如客户端的程序类型、机器的 IP 地址等。控制命令包括启堆、停堆、暂停等,由命令执行模块解释执行。网络数据包合成模块则根据不同的数据包类型,主要是服务器状态信息和计算结果数据,分类打包。

服务器前台程序和后台仿真计算程序之间通过共享内存进行通讯,数据通讯的准确性和可靠性由操作系统的同步信号量和互斥量来保证。

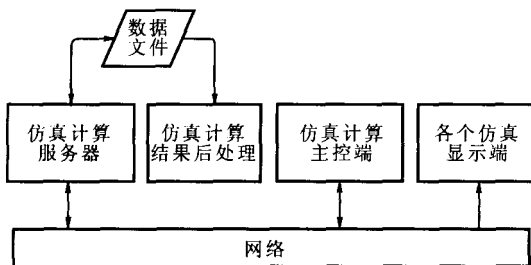


图 1 仿真系统总体结构图

Fig.1 Schematic diagram of simulation system

1.4 仿真显示计算机的实现

仿真显示端根据用户的不同需要提供不同的图形化界面显示。其中的网络数据通讯和网络数据包分析模块与计算服务器中相应的模块功能类似。数据管理模块用于提取需要显示的数据,显示模块则将相应的数据图形化地显示出来。目前,主要设计主系统界面和堆芯参数显示界面。

主系统界面包括:1) 反应堆系统图,包括堆芯、蒸汽发生器、氦风机、主给水泵、汽轮机等一、二回路主要部件;2) 报警指示灯,显示反应堆功率、氦气温度、一回路压力变化率、蒸汽压力变化率等参数状态;3) 关键参数显示,包括核功率、输出功率、氦气温度、主给水流量、蒸汽温度和压力以及运行时间等;4) 趋势曲线,动态显示反应堆功率和新蒸汽温度随时间变化的趋势曲线;5) 控制设备参数,显示控制棒棒位、氦风机转速、给水流量、透平阀门等。

堆芯参数显示界面由堆芯温度场、压力场、参数雷达图和流场4部分组成。堆芯温度场和压力场分二维和三维2种方式显示,每种方式有4种显示模式,还可进行视角变换、曲线平滑。

1.5 仿真计算主控端的实现

主控端(图3)是在主系统界面上增加了运行操纵按钮,包括启动、停止、暂停、紧急停堆、记录和退出等操作按钮。同时用控制调节装置取代控制设备参数显示,控制调节装置由控制棒棒位调节、氦风机转速调节、给水流量调节和透平阀门调节组成。用户可以选择手动或自动调节方式,控制器的位置和调节值显示在相应的面板上。数据包合成模块则将这些命令和调节参数打包,通过网络发送到计算服务器上,从而实现对仿真计算程序的控制。模型编辑模块提供可视化的模块编辑功能,方便操作人员生成堆模型参数文件。主控机同时也接受从计算服务器发送过来的计算数据,在主系统界面上显示。操作人员通过系统界面上的数据对仿真计算程序进行监视。

1.6 仿真计算结果后处理的实现

考虑到整个仿真系统各个显示端大部分数据均用图形化方式显示,这不利于对仿真结果数据进行精确分析,增加了对仿真计算结果数据的后处理。仿真结果由数据分析、报表显示、

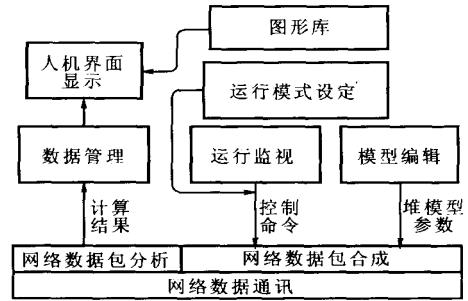


图3 仿真主控端结构图

Fig.3 Schematic diagram of main control

图形化显示及图形库等构成(图4)。数据分析负责读入数据文件中的数据,并转换成易于显示的数据格式;报表显示则以数据报表的形式显示仿真计算数据;图形显示则可对用户感兴趣的数据以二维曲线或三维图形式显示在屏幕上。

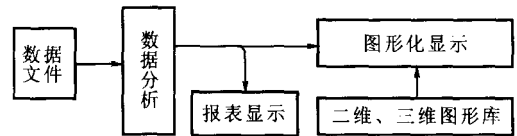


图4 仿真结果后处理结构图

Fig.4 Schematic diagram of data analysis

2 结论

HTR-10 仿真系统是基于计算机网络的先进仿真系统,作为 HTR-10 仿真支持系统中的一部分,已经研制开发完成,仿真结果与 HTR-10 的设计值和安全分析报告的结果相符合。该系统基于网络环境和统一标准的数据包格式的特点,使得定制和开发不同显示界面变得相当快捷方便,在高温气冷堆工程设计、安全分析和人员培训等方面将起到很好的作用。

参考文献:

- [1] 石磊. 10 MW 高温气冷实验堆仿真控制集成系统的研究[D]. 北京:清华大学,2000.
- [2] Yoshikawa H, Nakagawa T. Development of an Analysis Support System for Man-machine System Design Information[J]. Control Eng Practice, 1997, 5(3):417~425.
- [3] 石磊,高祖瑛. 基于微机系统的高温气冷堆工程仿真机[J]. 核动力工程, 2001, 22(3): 280~284.