

基于 DCOSE 的面向对象的图形化建模系统 D-CAM 设计研究

刘树清

北京同方电子科技有限公司, 北京 100085

[摘要] 基于 DCOSE 仿真支撑环境, 设计了一套面向对象的图形化建模系统 D-CAM, 开发了相应的模块库、资源库, 独特的热力系统流体网络算法、电气网络算法、控制逻辑算法, 以及系统管理工具软件。该系统具有高度的开放性、完全面向对象的模式、便捷的实例化方法、强大的调试手段、文档的自动生成发布及查询等功能。该图形建模方案可以广泛地应用于电力、石油、化工等行业的仿真培训系统, 目前已经成功地应用于 50 多个电厂的仿真培训系统。

[关键词] 图形建模; 模块; 仿真; 电厂仿真系统

[中图分类号] TP391.9

[文献标识码] B

[文章编号] 1000-7857(2007)08-0015-04

Research on Object-oriented Graphical Modeling System Based on DCOSE

LIU Shuqing

Beijing Tongfang Electronic Science and Technology Co., Ltd, Beijing 100085, China

Abstract: Based on the DCOSE simulation support environment, an object-oriented graphic modeling software package is designed and developed, including a module database, a resource database, unique network algorithms, electrical network algorithms, control and logical algorithms, and a series of software of management tools. This graphic modeling solution is completely open and object-oriented, which can be easily used to pre-process the module, debug the program, create and broadcast documents, and inquire information automatically. It can be widely used in the development of OTS (Operator Training Simulators) for power, petroleum and chemical plants, and now it has been successfully used in the development of more than 50 OTS for power plants.

Key Words: graphic modeling; module; simulation; power plant simulation system

CLC Number: TP391.9

Document Code: B

Article ID: 1000-7857(2007)08-0015-04

0 引言

随着电厂仿真技术的发展, 高性能的仿真支撑环境和图形化建模工具在国内外相继出现, 如加拿大 CAE 公司开发的 ROSE 系统, 美国 S3 公司开发的 GFlow⁺ 系统、APROS 和 STAR-90 等图形化建模系统。在国内, 北京同方电子科技有限公司在数十年的仿真系统研究开发的基础上, 推出了分布式面向对象的仿真支撑环境 DCOSE (Distributed Component Orient Simulation Environment)。在该支撑环境下, 研发了一套新型图形化建模工具软件 D-CAM (DCOSE Computer Assistant Modeling), 不仅实现了热力系统、流体网络的仿

真建模, 而且可以应用于控制系统、电气系统的仿真建模。

本文主要以热力系统和流体网络的图形建模为例, 具体说明基于 DCOSE 仿真支撑环境, 研发面向对象的图形化建模系统 D-CAM 的设计思路, 并给出了该系统的一些应用实例。

1 DCOSE 仿真支撑环境简介

DCOSE 是一个软件模块集合系统, 常用于大型强耦合和细粒度计算的场合。典型应用是电厂仿真系统。由于 DCOSE 采用了 Microsoft .NET 架构设计, 因此, 与

收稿日期: 2007-03-10

作者简介: 刘树清, 男, 北京市海淀区上地信息路 1 号国际创业园 B 座 3 层北京同方电子科技有限公司, 高级工程师, 研究方向为电站热力系统仿真与建模; E-mail: liusq@tsinghuathec.com

传统的仿真支撑系统相比,更容易与 DCS(Distributed Control System)及其他电厂实时控制系统相链接,并利用仿真机提供的仿真数据对电厂的控制系统进行分析和研究。

DCOSE 系统包括实时数据库服务 (DCOSE SDB Server)、实时计算引擎 (DCOSE RT Engine)、计算机辅助建模、操作员终端的建立及运行 4 大部分。该系统提供了 VDPU (Virtual Distributed Process Unit) 软件包,具备与实际 DPU 通讯的能力;同时大量使用了 DCOM, Office 插件等技术,全方位地实现了电厂仿真培训等需求。该系统建立方便快捷、运行维护成本低。DCOSE 系统组成示意图见图 1。

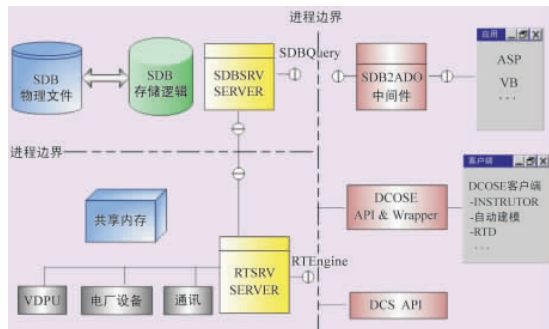


图 1 DCOSE 组成示意图

Fig. 1 Schematic diagram of DCOSE configuration

2 热力系统和流体网络的特点及对策

由于热力系统和流体网络总是同时出现,两者的耦合关系比较强,流体网络呈很强的非线性,所以处理起来比较复杂。在以往的自动建模系统中,一般采用的方法有:①二者完全分离,分别建立各自的数学模型,相互的连接关系通过手工变量匹配进行;②以流体网络为主,按照流道将一个独立的热力设备分成多个部分,使设备失去物理上的独立性;③以热力系统为主,将流体网络节点和支路看作是一种类型的模块(一般称为网络模块)。这种方法的特点是设备的独立性强,但网络模块的引入和随之而来的复杂的模块端口定义也给使用者带来很大的不便,其通用性也存在很大的问题^[1-4]。

本文以实际存在的物理对象为独立模块,建立其仿真模型,通过分析各模块的连接关系,系统自动识别出隐含在热力系统中的网络拓扑结构。由于这种方法取消了通常意义上的节点模块,因此可以广泛地应用于火电、水电、联合循环以及核电等多种介质的热动力系统及流体网络的仿真。此外,本模型所建立的机理型模块算法严格遵循热力系统中的质量、能量、动量守恒关系。

3 D-CAM 的构成与功能设计

3.1 D-CAM 用户界面

在 Windows 2000/XP 环境下,利用 MS Visio 强大的绘图功能,以 Office 插件的形式将 DCOSE 图形组态

工具嵌入 Visio 中,整合出所设计的 D-CAM 软件运行的基本操作环境。用户界面采用 MS Visio 的界面。

3.2 D-CAM 图形组态设计

3.2.1 模块图元

模块的图形元素(简称图元),即是在图形建模组态中所使用的图标,每一个图标代表一个模块。为了满足直观、清晰的需要,本文将 D-CAM 软件中的模块定义为能够代表一个独立的物理设备或实现某种功能的多个物理设备或部件的组合体。因此,每一个模块应有明确的物理意义,容易辨别与区分;它应有统一的边界和接口,易于相互间的连接,以便实现网络拓扑结构的识别及接口参数的传递;应具有数学独立性,模块内部结构与模块之间的联结关系无关。一旦完成模块的设计、调试工作,就不必因调用模块的子系统时网络拓扑结构发生变化而修改模块。

D-CAM 软件中图元信息的定义方法结合 MS Visio 的规定进行。为了使热力系统组态建模的图形与电厂的系统流程图基本保持一致,图元的外观形状与颜色按照电力行业通用的设备表述方式设计,以方便组态文件的阅读与修改。

D-CAM 系统所建立的模块库,按照电厂的设备划分方法,将模块按专业分类,主要分为锅炉、汽机、电气、控制和通用模块 5 大部分。已经开发的模块包括:① 锅炉模块约 120 个,如蒸发、燃烧、过热器等;② 汽机模块约 100 个,如透平、加热器、真空模块等;③ 流体网络公用模块约 80 个,如管道、阀门、泵、风机等;④ 电气模块约 100 个,如发电机、励磁系统、变压器、刀闸等模块;⑤ 控制算法模块约 100 个。

3.2.2 模块接口

对于大多数设备模块来说,可以完全以物理设备或部件之间工质流动的自然界面为模块接口;对于部分模块,除了工质的接口外,还要考虑信息的接口,如转动机械的电气接口、阀门的开关指令等。D-CAM 的模块接口点的类型见表 1,所设计的点均为打包点,每一个点含有 36 个字段,每一个字段代表不同的信息,在数据库中的记录均为点名,而不是字段名。

3.2.3 资源库

D-CAM 建立的资源库必须满足用于支持模块算法的计算标准。例如,它所建立的水和水蒸气函数库符合 IFC97 标准,压力范围是 0~40 MPa,温度范围是 0~800℃,不仅能够计算出诸如焓、密度、熵等物性参数,还能够求出其偏导数等,并且烟气焓温表的温度范围是 0~2 500℃,这些均能满足当前电厂仿真的需要。

3.2.4 流体网络

设计思路是把流体网络的解决方案集成在 DCOSE 平台内,使得能够实现网络的拓扑结构自动分析、节点与支路的区分、模块接口数据的传递、压力与流量的关联求解等功能。该方案规定:① 支路:流体流过的一条通道,进、出口之间应有压力损失;② 节点:两条及两条以上支路的交汇点;③ 边界点:一种特殊的节点,其压

表 1 模块接口点的类型
Table 1 Styles of module joining node

类型	说明
FPA	用于空气介质
FPO	用于油介质
FPW	用于水介质
FPC	用于煤介质
FPS	用于蒸汽介质
EC	与电气的接口

力是流体网络方程组计算的已知条件。所选取的流网边界点应是热力系统中压力和流量的弱耦合点,如压力变化相对缓慢的大容积点、气液两相共存点等。流体网络的求解采用改进型高斯-赛德尔迭代法。

3.2.5 图形编辑环境

图形的编辑借用了 MS Visio 的全部功能,如剪切、复制、旋转、缩放、自动布线等。图 2 是 D-CAM 的图形编辑环境。上部为 Visio 的绘图工具及 D-CAM 开发的用于仿真模型编译、调试、运行、数据库管理等方面的工具。左侧为 D-CAM 开发的模具插件。

3.2.6 图形组态过程

图形组态过程十分简单,只需要从图 2 中左边的模具框内将模具拖出,再将模具的接口用连接线连接即可。模块名称可以使用系统的自动命名规则命名,也可以按开发者的意愿命名。模块的连线可以自动布线,也可以手工调整连线的走向、粗细和颜色。同时,本系统提供了强大的复制功能,可以复制一个系统的局部或全部,包括复制对象的全部信息内容。

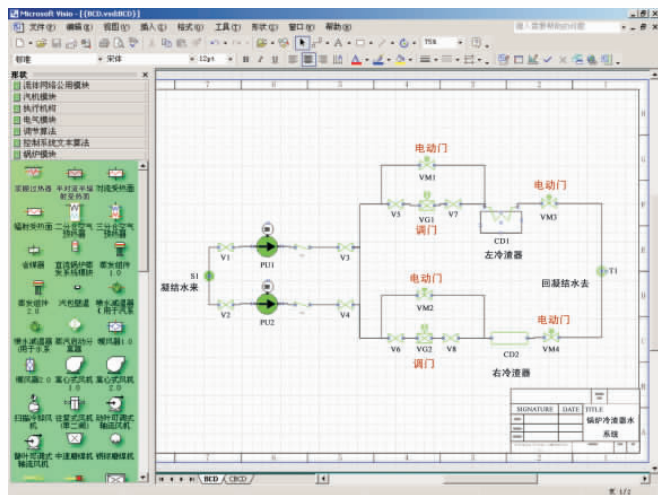


图 2 D-CAM 图形编辑环境

Fig. 2 D-CAM editing environment of graphics

3.3 D-CAM 系统管理工具的设计特点

3.3.1 高度的开放性

D-CAM 图形建模系统的模块库、资源库及算法模

块接口都是完全开放的,用户可以任意增减模块、资源文件以及修改模块的算法。同时,模块接口定义的规范是针对物理对象的,即:如果用户定义一个热力设备模块,每个接口点的字段定义可以由用户指定,如温度、压力和流量等物理量。

3.3.2 完全的面向对象模式

辅助建模系统已内置了大量仿真计算的的经验数据,建模工程师只需具备相应的专业知识即可建立仿真模型,模块中特殊字段的数值或取值范围在模块编写的时候已经给出,如受热面积灰的影响系数、金属的导热系数等。可以直接利用模块建立仿真模型,无需关心模块和系统的计算问题,如流网的稳定性和实时性,也无需关心所搭建系统的流网的拓扑结构。

3.3.3 方便的实例化过程

在实际的建模过程中,需要对所使用的模块进行实例化处理,即将通用的模块转化成特定的仿真对象,将仿真对象的设计数据及模型运算所使用的数据输入到数据库中。D-CAM 提供了方便的预处理功能,对于每个设备和算法模块,在模块的开发阶段可以定义其预处理算法,预处理结果自动进入实时数据库。

3.3.4 强大而便捷的调试功能

在仿真模型的调试过程中,需要对实时数据进行整定和检测,D-CAM 提供了强大的调试功能,可以通过表格、实时曲线在线检测和修改任意模块的任何字段的参数,也可以通过使用 Visual Fortran 对特定的模块进行源码级调试,可以监控程序的所有内部数据。

3.3.5 自动的文档生成与查询功能

D-CAM 可以自动生成维护文档,格式为 HTML,可以方便地根据目录查询、打印和发布到网页上。文档内容包括系统说明、简化假设、故障模拟、设备说明,以及模块接口情况、I/O 接口表等。

4 应用实例

下面是在实际仿真机开发过程中,利用所研发的图形化建模系统 D-CAM 建立的过热蒸汽系统仿真模型。首先按照系统流程图,从模具库中选择相应的模具搭建仿真系统,然后对每一个模具进行实例化。再对模型进行编译、加载运行,即可对该系统进行调试。流体网络的拓扑分析可以由系统自动识别,同时,由于在 D-CAM 的模块中已经内置了大量的特性参数或系数,建模工程师不需要考虑仿真对象的特性及计算的稳定性,只需要考虑其接口变量及其参数就可以方便地进行仿真建模,大大缩短了仿真建模时间。

5 结论

基于 DCOSE 的图形化建模系统,开发了适应图形化建模的模块库、资源库,以及管理工具等组态软件,并利用 MS Visio 软件本身所提供的强大的图形组态功能构建出一套新型图形化的建模软件 D-CAM。该软件模块涵盖了电站锅炉、汽机、电气、控制系统等仿真算

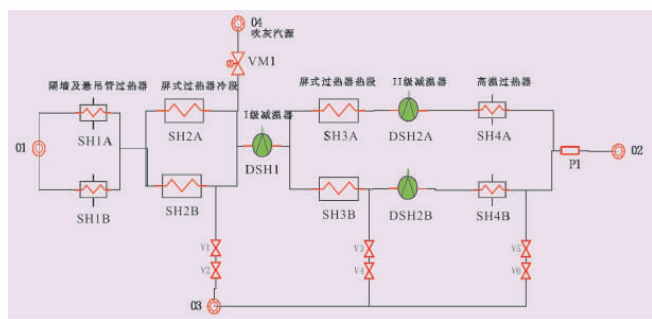


图3 过热蒸汽系统样例

Fig. 3 Sample of a superheat steam system

法,完全能够满足电站仿真的需要。该软件系统具有高度的开放性、完全面向对象的模式、便捷的实例化方法、强大的调试以及文档的自动生成等功能。目前,D-CAM 系统已经成功地应用于 50 多个仿真机项目的开发。

参考文献 (References)

[1] 吕崇德, 任挺进, 姜学智, 等. 大型火电机组系统仿真与建模

[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.

LU Chongde, REN Tingjin, JIANG Xuezhi, *et al.* System simulation and modeling for large scale fossil-fired unit [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002.

[2] 倪维斗, 徐向东, 李政, 等. 热动力系统建模与控制的若干问题[M]. 北京: 科学出版社, 1996.

NI Weidou, XU Xiangdong, LI Zheng, *et al.* Some problem of modeling and control for thermal dynamics system[M]. Beijing: Science Press, 1996.

[3] 蔡瑞忠, 王威, 眭喆, 等. 图形建模中流体网络拓扑结构的定义与识别[J]. 清华大学学报(自然科学版), 1999, 39(6): 63-66.

CAI Ruizhong, WANG Wei, SUI Zhe, *et al.* Flow network topological definition and identification in graphic modeling system [J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 1999, 39(6): 63-66.

[4] 程芳真, 蒋滋康. 面向对象的图形化自动建模系统的研究[J]. 系统仿真学报, 2000, 12(1): 65-69.

CHENG Fangzhen, JIANG Zikang. Research on object-oriented graphical and automatic modeling system [J]. Journal of System Simulation, 2000, 12(1): 65-69.

(责任编辑 赵佳)

·封面文字说明·

法国高速电气机车创造时速新纪录

2007 年 4 月 3 日, 法国一列在行驶试验中的高速列车时速达到 574.8 km, 打破了 1990 年 5 月 18 日由法国高速列车创下的时速 515.3 km 的有轨铁路行驶世界纪录。

这次试验由法国阿尔斯通运输公司、法国国家铁路公司和法国铁路网 3 家机构联合进行, 试验计划被称为“V150”, 意思是实现行驶速度超过 150 m/s, 即时速 540 km 的目标。

“V150”列车于当地时间 3 日 13 时在刚刚竣工的巴黎-斯特拉斯堡东线铁路 264 km 处启动。启动 10 min 后, 列车首先达到时速 515.4 km, 打破了法国高速列车保持了 17 年的世界纪录; 在行驶 73 km 后, 时速达到 574.8 km。

“V150”试验列车由前后 2 辆牵引机车、3 节双层客运车厢和 2 个动轮转向架组成, 全长 106 m, 重 268 t。由于采用了永磁发动机技术, 列车的动力系统比传统高速列车更强劲、能耗更少, 动力可达 19.6 MW。与目前法国高速铁路实际运营的列车相比, 该列车车轮的直径从 920 mm 增加到了 1 092 mm, 以保证每次转动覆盖更长距离。除了列车自身进行改进外, 铁轨也做了专门处理, 以确保和车轮完全接触, 列车电力



输电线的电压也由 25 kV 升至 31 kV。此外, 列车动轮转向架系统也是最新设备, 阿尔斯通公司将用此设备装备未来的第四代高速自动列车。在过去的 14 个月里, 法国高速列车制造商阿尔斯通公司、法国国营铁路公司和法国铁路网三方通力合作, 300 多名工程师和技术人员参与研制, 投入资金总额高达 3 000 万欧元。

此次列车试验也是“法国完美高速计划”的一部分, 该计划不仅要提高法国列车的时速, 而且要研究如何发展铁轨、铁路信

号系统以及高速列车对环境的影响等, 以达到“为未来的铁路作定义”, “让法国在高速列车方面保持世界领先地位”的目的。

事实上, 法国高速列车创下的最新时速纪录, 确实有助于提高阿尔斯通公司在全球高速铁路和列车制造市场上的竞争实力。目前, 世界上参与高速列车和高速铁路全球市场竞争的, 除了 1981 年就开始投入商业运营的法国阿尔斯通公司的 TGV 外, 还有日本川崎重工的新干线高速列车、德国西门子公司的城际快线高速列车、加拿大庞巴迪公司的高速列车, 以及德国的磁悬浮列车。法国阿尔斯通公司在全力进军南美和美国的高速铁路市场的同时, 还在研制、调试第四代自动高速列车, 并计划 2009 年投入商业运营, 2012 年起开始更换法国国营铁路公司于 1981 年就开始使用的第一代高速列车。

在前五次提速的基础上, 我国铁路于 2007 年 4 月 18 日起在京哈、京沪、京广、京九、陇海、浙赣、兰新、广深、胶济等干线展开第六次大提速, 提速后的最高时速将达到 250 km。

本期封面图片为法国高速电气机车在格里尼行驶时的情景, 由新华社提供。

(本刊记者 冯峰)