

文章编号:1672-2477(2004)02-0041-04

# 聚变工程研究中的统一建模与信息集成

汪太平<sup>1,2</sup>, 吴宜灿<sup>2</sup>, 刘晓平<sup>2,3</sup>, 王立涛<sup>1</sup>

(1. 安徽工程科技学院, 安徽 芜湖 241000;

2. 中国科学院等离子体物理研究所, 安徽 合肥 230031; 3. 合肥工业大学, 安徽 合肥 230009)

**摘要:**针对聚变堆系统设计的复杂性,结合聚变工程研究的现状及面向研究建模与面向工程建模的特点,提出了聚变堆系统的统一建模与信息集成的处理思路,给出了从面向研究到面向工程的全过程统一建模原理及其建模分析模式,并通过包层信息模型建模的实例,说明了这一思路的可行性和必要性.

**关键词:**聚变;统一建模;信息模型;信息集成

**中图分类号:**TP391.9

**文献标识码:**A

## 1 聚变工程的研究现状

实现聚变的途径和实验装置较多(见图1),目前都处于研究和探索中,其中 Tokamak(磁约束环流器装置)是实现聚变的主要途径,有望建设成为商用聚变反应堆,但 Tokamak 途径实现聚变的研究和实验所遇到的一系列难题严重制约着建堆的进程.例如提高等离子体比压  $\beta$  值、提高能量约束时间  $\tau_E$ 、稳态运行、核能自加热等<sup>[1-3]</sup>.因此,为了早日实现聚变能发电,经专家论证,建造聚变裂变混合堆是切实可行的,因而成为我国聚变研究近期的主要目标<sup>[4]</sup>.

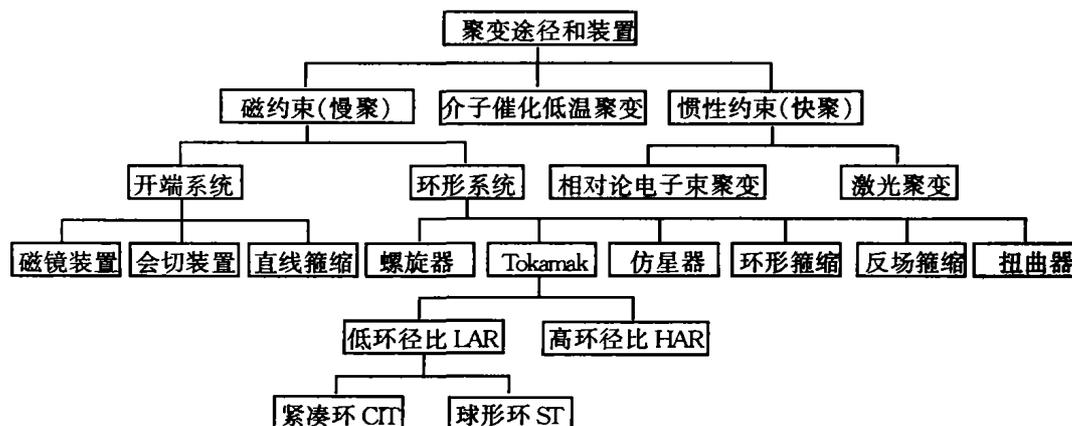


图1 实现聚变的途径和实验装置

聚变堆系统结构非常复杂,设计工作浩繁,其复杂程度及 R&D 规模从下面的 ITER 简介<sup>[5]</sup>中便可略见一斑.国际热核反应堆 ITER(见图2)合作始于20世纪80年代后期,在国际原子能机构 IAEA 主持下,苏联、美国、日本和欧洲建立了合作关系,组织几百位科学家及工程师,从1988年到1990年进行了 ITER 概念设计,1992年开始进行工程设计直到2001年才完成,历时近10年,R&D耗资约\$9.2亿.目前,参加

收稿日期:2003-11-17

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60273044);中国科学院“百人计划”和知识创新工程项目;安徽省自然科学基金资助项目(01042201);安徽省教育厅自然科学基金资助项目(2003kj031)

作者简介:汪太平(1962—),男,安徽桐城人,工程师,硕士.

ITER的成员有中国、欧盟、日本、俄罗斯联邦、南韩和美国,他们正就 ITER 选址、建造、开发利用和退役等问题进行磋商。预期在 2004 年开始建造 ITER,建造期预计 8 年,研发利用期将持续约 20 年。

中国的聚变-裂变实验混合堆 FEB 详细概念设计已于 1996 年完成<sup>[6,7]</sup>,但限于当时的计算机技术水平,其 R&D 水平至今还没有达到可以进行工程设计的程度,可以说现在还处于概念设计阶段。

在聚变堆概念设计过程中,随研究工作的进展,要求各种参数及其相应结构不断改进,并要求即时地建立起系统及其各子系统的模型,每做一次变动都要对模型进行大量的科学计算,且对同一模型进行多学科的验算或工程分析,以便进行多方案的分析比较,进而确定系统的设计方案。

目前的研究状况是各个学科独立建模独立验算分析,模型不统一,没有继承性,数据不规范,转换困难。一方面,从面向研究到面向工程的进化过程中,由于以前的模型不能被修改,从而没有被重用,造成工作重复、效率低、进展慢;另一方面,各学科模型不统一,不能显示综合效果,而且其验算分析的结论和评价不是针对同一模型和边界条件,也就不能对多方案进行准确比较。

多学科的验算分析应对同一模型来进行,并且随研究工作的进展,应对同一模型的进化模型即同一模型的高级版本再次进行多学科的验算分析,这就要求为聚变堆系统建立一个从面向研究到面向工程的全过程统一的数据模型,而信息模型建模是其基础。

众所周知,无论多么复杂的系统,其设计都是从建模开始的,聚变堆系统也不例外。个人对复杂系统的认识具有局限性,难以对整个系统获得全面认识,而统一的全局模型则可以使研究人员从全局上把握系统及其内部联系,从而把注意力集中于自己所关心的局部模块。研究工作中数据资料的继承性、一致性非常重要,尤其是在利用计算机辅助设计系统进行聚变堆概念设计时,涉及到很多领域和学科,需要有一个统一的设计环境,即计算机辅助并行协同设计系统所支持的设计环境。因此本文提出聚变堆系统统一建模与信息集成问题,并说明营造基于统一模型的并行协同设计环境的必要性和可行性。

## 2 从面向研究到面向工程的统一建模技术

聚变堆系统整体的集成信息模型建模是一复杂的系统工程,其成功建模取决于对磁约束聚变原理的深刻理解和对未来发展的有效预测以及对系统各个组成模块的恰当划分。利用功能、原理、结构的映射原则,在对聚变堆系统进行功能分析的基础上,并按功能独立性和结构完整性原则进行结构分析,从而实现聚变堆系统组成分析,一般认为聚变堆系统由五大子系统组成:磁体系统、真空系统与包层、加料加热与驱动系统、排灰系统和辅助系统(见图 2)。根据聚变堆系统组成分析的结果,采用先进的特征化参数化 CAD 系统和自顶向下的分析设计方法,先建立起粗略的全局模型,再逐步分解、精化,对各子系统分别建立信息模型,然后,反过来,采用自底向上的方法,用精化模型逐步替代粗略模型。这样建立起来的模型可以随时根据需要全相关地自动修改,这为统一建模与信息集成提供了切实可行的途径,由此形成了从面向研究到面向工程的全过程统一建模 UM-R&E 思想,其具体内容体现在以下三个方面。

### 2.1 UM-R&E 使研究工作走向成熟

研究工作从一开始就需要建立各种模型,如概念模型、数学模型、几何模型、物理模型和信息模型等,再对模型进行各种分析,进而按分析结果确定系统的设计方案,最终为工程设计提供设计原则、理论依据和必要参数。这一过程的终结标志着研究工作走向成熟,但这一过程并不是一次就能终结的,而要经历:建模—分析—评价—再建模—再分析—再评价(称之为简单建模分析模式)多次循环直至达到所希望的目标。若只是简单的这样循环,则势必形成目前的研究状况中所提到的局面,也就是面向研究的建模特点。

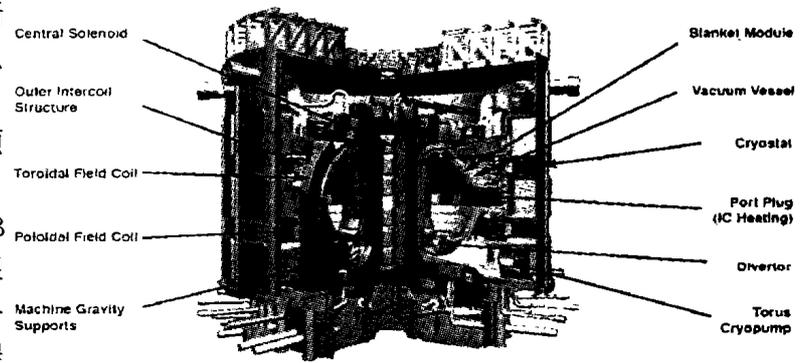


图 2 ITER 剖面图

面向研究的建模基本上采用简单建模分析模式,因为面向研究的建模为概念设计服务,研究人员从各自的学科角度出发快速地建立简化模型,忽略细节以便抽象思维和快速运算,所建模型具有抽象性、简易性、各学科独立性的特点.因而所建模型带有其固有的缺陷:信息含量少、不易修改、不具重用性;信息的继承性和关联性差、形成不同程度的孤岛;数据不具有规范性和一致性.

虽然面向研究的建模在初始阶段发挥了不可替代的作用,但随研究工作的深入,各学科的相关性要求及研究工作的连续性和继承性要求显得越来越突出,更深入细致的研究工作变得愈来愈重要,也就是说,研究工作在不断逼近工程设计,从而最终变成面向工程的研究,这时必然要求我们进行面向工程的建模.

## 2.2 UM-R&E 是研究工作发展的必然趋势

面向工程的建模为工程设计服务,应该考虑大量的工程问题,细节考虑得越多越好,所建模型必然具体化、复杂化、多学科关联性强,因而信息含量多.要建立这样一个面向工程的复杂模型,必然要有一个从简单到复杂的进化过程,也就是从面向研究的简单模型渐增地进化到面向工程的复杂模型.进化建模,其信息的集成随研究工作的需要逐步完善,可采用基于特征的信息集成方法,首先将信息按特征进行分类,建立特征的层次结构,进而按功能原理设计系统模型的总体结构框架,再根据发展情况不断精化、充实.强调进化建模及其过程性的目的,就意味着在开始时可以简单,但要作长远地预测,留有发展的空间,同时考虑研究工作的延续性.例如,包层信息模型暂不集成精度信息、CAPP/CAM 信息,但以后必然要集成这些信息.

随着计算机科学的发展,现代 CAD 技术支持上述渐增式的进化建模,三维参数化特征建模技术日益成熟,能随时根据需要全相关地自动修改模型,使模型重用成为可能.

## 2.3 信息建模技术为 UM-R&E 提供了充分条件

现代建模技术与 CAD 技术同步发展,可以说建模是人们从想象出发到完成对现实物体的计算机内部表示的活动过程,是信息化建模.按描述方法、存储内容和存储结构的不同,信息建模技术发展经历了三个过程:几何建模、特征建模和参数化建模.正因为信息建模技术成果支持渐增式的进化建模,从而改变了面向研究的简单建模分析模式,使其成为 UM-R&E 建模分析模式:建模—分析—评价—修改模型—再分析—再评价.“修改模型”环节包括对模型的增、删、改和在高层次上重建,体现了进化、体现了继承,而这样的循环过程实现了模型的重用和统一.一方面,通过 UM-R&E 建模可以解决在面向研究到面向工程的进化过程中模型不统一的问题;另一方面,通过信息集成可以解决各学科模型不统一的问题.聚变堆包层集成信息模型建模采用 UM-R&E 建模分析模式,其模型可以随研究工作的进展由开始时的粗略逐步添加特征,不断精化直至达到工程设计的程度,就是一个例证.

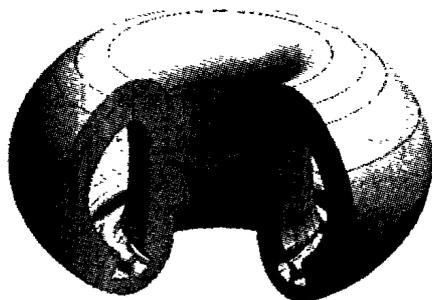


图 3 包层粗略模型

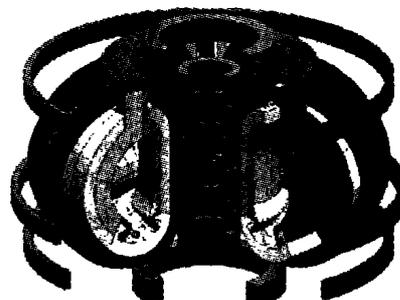


图 4 包层精化模型

## 3 基于 UM-R&E 原理的统一建模实例

聚变堆包层信息模型建模采用了 UM-R&E 原理,其模型可以随研究工作的进展由开始时的粗略(见图 3)逐步添加特征精化(见图 4)直至达到工程设计的程度;其分析模式采用 UM-R&E 建模分析模式.包层信息模型包含的信息分几何信息、通用非几何信息和包层 CAE 专用非几何信息.包层几何模型是包层集成信息模型 BIIM 的核心,其模型的创建是通过选用高端 CAD 软件 Unigraphics NX 作为平台,结合二次开发的专用功能,实现了堆芯系统 11 大区域一体化全相关设计,使堆芯所有部件修改关联,为堆芯

并行工程和协同设计奠定了基础;通用非几何信息由通用 CAD 软件 UG 在几何模型造型过程中产生,可从其内部数据库中直接提取;包层 CAE 专用非几何信息由 BIIMS 系统通过数据库管理系统从工程数据库中提取、转换和重组,按包层 CAE 分析进程的需要被约束附加在几何模型上<sup>[8]</sup>。

#### 4 结束语

从面向研究到面向工程的“全过程”概念与产品“全寿命周期”概念不同,前者属概念设计范畴,指概念设计从早期的简化、抽象到接近工程时的成熟期的精化、具体的过程中,研究工作演变的动态进化过程;后者属生产经营范畴,指产品从设计制造到使用、维护和服务的整个过程。本文强调“全过程”的目的是强调在这一过程中所建立模型的统一性及其数据的继承性;基于 UM-R&E 原理的统一建模技术,一方面有利于数据的规范化、一致性和模型的重复使用,将来还可以在现有模型的基础上继续进行工程设计;另一方面也有利于并行工程和协同设计,更便于分工与合作,发挥群体优势,从而将研究工作做精做深,避免因“概念设计”的不明确性而导致研究工作不求甚解。总之,UM-R&E 是科学技术发展的必然趋势,必将成为科学研究工作中严格遵循的客观规律。

#### 参考文献:

- [1] 石秉仁. 磁约束聚变原理与实践[M]. 北京:原子能出版社,1999.
- [2] 朱士尧. 核聚变原理[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,1992.
- [3] 杜世刚. 等离子体物理[M]. 北京:原子能出版社,1998.
- [4] 邱励俭. 核聚变研究 50 年[J]. 核科学与工程,2001,21(1):29-38.
- [5] ITER 18th World Energy Congress Buenos Aires[EB/OL]. <http://www.iter.org>,2001-10-21/2001-10-25.
- [6] 聚变裂变实验混合堆设计[R]. 合肥:中国科学院等离子体物理所,1990.
- [7] 中国实验混合堆详细概念设计[R]. 合肥:中国科学院等离子体物理所和中国科学院西南物理研究所,1996.
- [8] 汪太平. 聚变反应堆包层信息模型建模初探[A]. 全国第 15 届计算机科学与技术应用学术会议[C],合肥:中国科学技术大学出版社,2003.

## Unified modeling and information integration in fusion engineering research

WANG Tai-ping<sup>1,2</sup>, WU Yi-can<sup>2</sup>, LIU Xiao-ping<sup>2,3</sup>, WANG Li-tao<sup>1</sup>

(1. Anhui University of Technology and Science, Wuhu 241000, China;

2. Institute of Plasma Physics, the Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China;

3. Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

**Abstract:** The paper introduces a unified modeling and information integration for fusion reactor, based on the analysis of fusion engineering practice, in view of complexity of modeling fusion reactor. Characteristics of research-oriented modeling and engineering-oriented modeling are analyzed and compared. A principle of unified modeling in the whole procedure from research-oriented to engineering-oriented is advanced with its modeling-analyzing schema. As an example, blanket information model has been created by applying this principle and schema.

**Key words:** fusion; unified modeling; information model; information integration