

# 核反应堆数字化设计全面集成模型研究

张亮

(核工业计算机应用研究所 北京 100048)

**摘要** 采用企业架构(EA)方法建立核反应堆数字化设计与科研试验的业务架构,进一步规划IT系统架构。在解决传统“信息孤岛”问题基础上,着眼于实现核反应堆设计过程中信息、资源的共享与集成,将孤立的管理、设计、验证等过程整合成一个有机的整体。提出数字化设计整体集成层次结构图,从而构建核反应堆数字化设计全面集成模型,并在某型号反应堆自主设计条件保障项目中得到了应用。

**关键词** 核反应堆 数字化设计 全面集成模型 企业架构

**中图分类号** TP3 TM7 F275.3 **文献标识码** A **DOI**:10.3969/j.issn.1000-386x.2019.08.020

## COMPREHENSIVE INTEGRATED MODEL FOR DIGITAL DESIGN OF NUCLEAR REACTOR

Zhang Liang

(Computer Application Institute of Nuclear Industry, Beijing 100048, China)

**Abstract** The enterprise architecture (EA) method was used to establish the business architecture of digital design and scientific research test for nuclear reactors, and IT system architecture was further planned. On the basis of solving the traditional “information island” problem, I focused on the sharing and integration of information and resources in the design of nuclear reactors. Isolated management, design, verification and other processes were integrated into an organic whole. The integrated structure of digital design was presented. A comprehensive integrated model for nuclear reactor digital design was constructed. It has been applied to a certain type of reactor’s independent design condition guarantee project.

**Keywords** Nuclear reactor Digital design Comprehensive integration model Enterprise architecture

## 0 引言

核反应堆结构复杂,设计过程需要多学科、多系统的设计人员共同参与,设计开发一个新的核反应堆通常是一个漫长、耗费巨大的过程。在设计过程中综合使用计算机工具、信息化技术(简称“数字化设计”)成为提高核反应堆设计效率、缩短研发周期不可或缺的手段。随着计算机软硬件技术的快速发展,三维设计技术、集成开发技术、高性能数值计算技术、虚拟验证技术、仿真分析技术等相继在反应堆设计阶段得到应用<sup>[1]</sup>。将先进的数字化技术与IT基础设施、软硬件系统以及反应堆设计业务流程整合,构建面向反应堆设计全过程的全面集成的设计工作环境是一个新的挑战。

## 1 核反应堆设计业务分析

### 1.1 业务分析方法

EA方法是一种能够将组织战略目标映射到信息技术(IT)建设目标的蓝图规划设计方法,有利于实现IT建设与企业业务战略的紧密结合<sup>[2]</sup>。由于核反应堆设计的业务复杂,采用EA方法能够使数字化设计业务架构得到系统的分析与梳理,进一步结合数字化设计对信息化需求的定义,推导出核反应堆数字化设计的IT层次结构。需要特别说明的是,EA的本质是企业的价值架构,在能够创造价值的地方遵从利益相关者的要求,引入能够实现此领域利益的信息,并合并某些信息。如果全面集成的工作投入太多,将抵消集

成带来的价值。

在核反应堆数字化设计过程中,各专业、各学科领域主体通常是不一致的,导致各领域利益相关者和利益关注点的不一致,需要从整体战略层面协调各领域的利益相关者,在反应堆设计全过程中实现整体利益的一致和最大化。

## 1.2 数字化设计业务架构

业务架构的分析与建立是全面集成模型的核心与源头,借鉴 EA 方法,如图 1 所示,从整体上分析反应堆设计业务过程,将反应堆数字化设计业务领域分为项目管理层、型号开发层以及基础研究层。

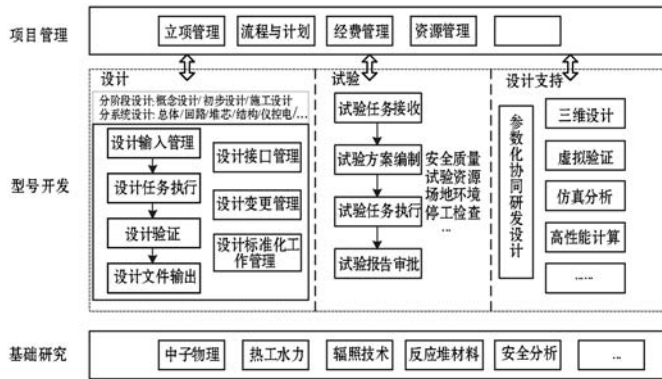


图 1 核反应堆数字化设计业务架构

(1) 项目管理层: 项目管理层完成项目定义(包括项目组合/项目立项和项目开发团队组成)、流程与计划分解,并监控项目的执行过程,管理项目执行过程中产生的文档数据。

(2) 型号开发层: 型号开发层主要包括设计、试验以及设计支撑三个领域,其中设计领域按照设计阶段划分概念设计、初步设计以及施工图设计,按照系统设计划分为总体设计、回路设计、堆芯设计以及仪控电设计等。从工作流程上看,设计过程依次为设计输入管理、设计任务执行、设计验证、设计文件输出等环节,同时伴随着设计接口管理、设计变更管理、设计标准化管理等内容。

反应堆设计研究过程中会进行大量的设备、系统方案试验论证,通过建立实验台架和试验设施,开展试验验证,对试验过程中涉及的试验流程、试验数据、相关资源等内容进行全面细致和有效的管理。从工作流程上看,试验过程包括了试验任务接收、试验方案编制、试验任务执行、试验报告审批等环节,同时伴随着安全质量管理、试验资源、场地环境、停工检查等内容。

设计支持领域包括了参数化研发设计、三维设计、虚拟验证、仿真分析、高性能计算等先进数字化技术的应用。参数化研发设计将各种专业方法和工具封装为知识组件,并通过流程驱动,实现反应堆各专业内部及

专业之间的协同设计。三维设计支持管道、设备、结构、电气、暖通、支吊架等多专业协同设计,支持实时碰撞检查和自动出图。利用虚拟现实技术开展多专业协同设计验证和交互式操作、成果展示、技术评审、设计人员培训、技术交流等工作。仿真分析包括了专业理论仿真(力学、流体、结构及疲劳等)和数字化系统仿真(工艺系统验证、运行工况和方式验证等)。

(3) 基础研究层: 基础研究层是反应堆设计的基础,包括了中子物理研究、热工水力研究、辐照技术研究、反应堆材料研究、安全分析等专业,通常在基础研究方面要开展大量的材料和燃料研究、热工流体和物理试验<sup>[3]</sup>。

## 2 数字化设计全面集成模型

### 2.1 数字化设计 IT 系统规划

反应堆设计业务架构分析之后,对数字化设计进一步“架构规划”,包括应用架构、数据架构和 IT 技术架构,形成 IT 系统架构,如图 2 所示。

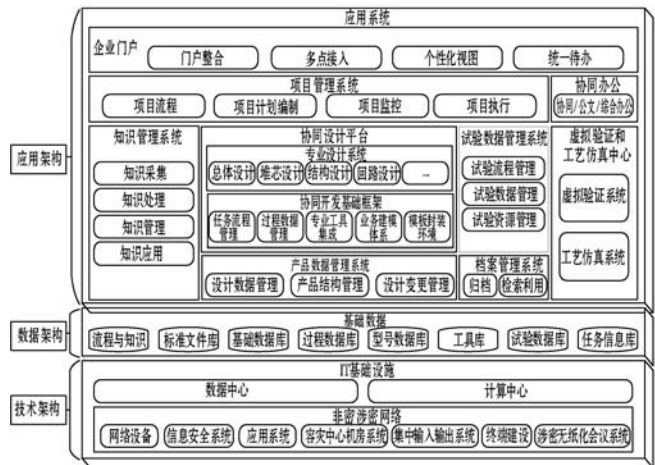


图 2 数字化设计 IT 系统架构

对数字化设计 IT 系统架构说明如下:

(1) 应用架构以业务架构中业务分析、信息系统支撑需求为出发点,根据专业领域和用户范围,参考国内外核工业同行设计院所的信息系统分布,以及主流商业软件产品、套装软件、解决方案的特点和功能,定义数字化设计应用架构图。应用架构本质上是业务架构的映射,数字化设计过程中的主要应用系统有企业门户、项目管理系统、协同办公系统、协同设计平台(包括专业设计软件、参数化协同设计等)、产品数据管理系统、试验数据管理系统、知识管理系统、档案管理系统、虚拟验证和工艺仿真系统等。

(2) 数据架构以数据为中心,重点在于管理支撑关键业务功能的关键数据,并保证这些数据能够通过

应用系统进行访问、共享、更新以及修改,同时也规范了数据管理、安全以及共享的策略。数字化设计过程中的关键数据概括为与知识工程相关的知识与流程、标准文件库,与产品数据归集管理相关的基础数据库、型号数据库,与协同设计平台相关的过程数据库、工具库,与试验数据管理相关的试验数据库,以及与项目管理相关的任务信息库。

(3) 技术架构确定了技术参考模型,主要涵盖 IT 基础设施、信息安全等方面的内容。网络设施中的网络设备、信息安全系统、应用系统、容灾中心机房系统、集中输入输出系统、终端建设、涉密无纸化会议系统等都属于技术架构的范畴。

### 2.2 数字化设计整体集成层次结构

数字化 IT 系统架构明确后,既要考虑业务流程和业务实践的完整性,又要尊重各软硬件系统的专业性,信息系统之间存在必然的联系。整体集成通常是指在集成技术规范的指导下,从不同层次上实现门户集成、端到端流程集成、应用系统/设计工具集成、设计数据集成、安全集成和支撑环境集成。在核反应堆设计信息化发展的具体阶段,根据不同的需求,实现整体集成的不同层次和深度。

参考通用企业整体集成方法<sup>[5]</sup>,在解决传统“信息孤岛”问题基础上,着眼于实现核反应堆设计过程中信息、资源的共享与集成,提出如图 3 所示的数字化设计整体集成层次结构图。其中 ESB 企业服务总线是企业应用系统集成的核心中间件,数据总线和工程中间件用来集成专业的设计工具软件,数值反应堆集成平台整合了堆芯、热工水力、结构力学等专业设计软件。借鉴 MBD 思想,将三维设计数据统一集成在 PDM 系统中,建立基于 PDM 数字化集成平台的 MBD 三维数模数据管理体系。

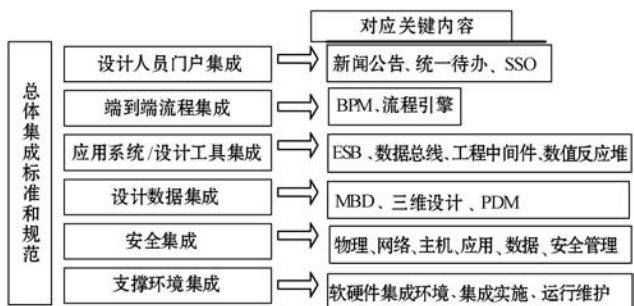


图 3 数字化设计整体集成层次结构图

### 2.3 数字化设计全面集成模型

以 IT 系统架构为依据,通过对业务架构中集成关系和数据交互的梳理,结合数字化设计整体集成层次

方法,给出核反应堆数字化设计全面集成模型,如图 4 所示。

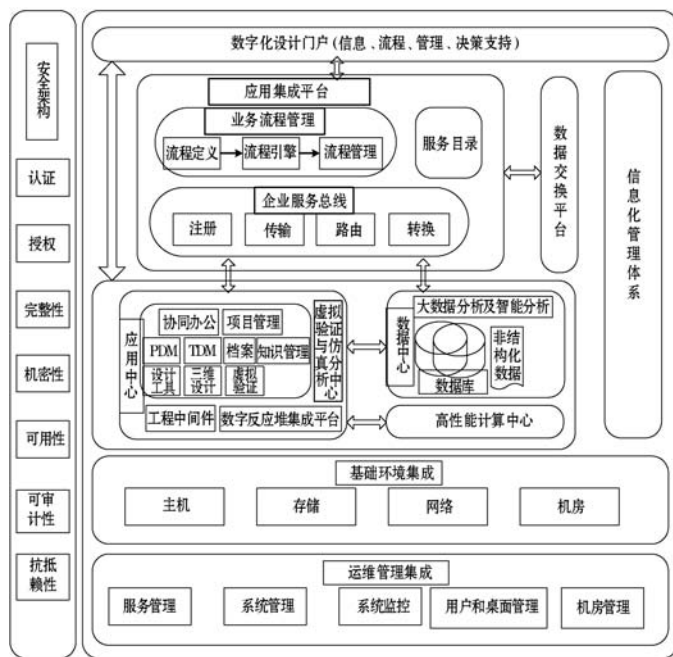


图 4 数字化设计全面集成模型

业务流程的展示界面可以集成到数字化设计门户;数字化设计门户可直接调用应用集成平台上的服务。数据中心的共享数据服务注册到集成平台,供其他系统使用。数据交换平台的服务注册到应用集成平台,供其他系统使用。应用集成平台为应用中心提供基础接入通道,同时为应用中心提供服务共享平台和流程协作平台。

在应用中心,通过工程中间件集成设计工具、数据、流程和规范<sup>[4]</sup>;通过项目管理系统,产品数据系统以及档案系统的集成,打通“项目管理-任务发放-交付物审签-数据归档”的反应堆研发设计管理全流程;通过知识管理系统的实施,采集来自各应用系统的知识,建立反应堆研发设计统一知识库;通过数值反应堆集成平台整合堆芯、热工水力、结构力学等专业设计软件。

在高性能计算中心,建设高性能设计一体化平台,打通从 PDM 到 CAD 建模,再到后续前处理-高性能计算-后处理,迭代回到 CAD 建模的整个数字化设计流程,整合三维设计和高性能计算这两大专业。

对于涉及国家秘密的核反应堆型号设计,依据国家对涉密信息系统的建设要求,不断优化信息安全措施,达到既保证安全、又方便工作的目标。基础环境集成位于全面集成模型的底层,运维集成则实现对信息系统及基础运行环境的可视、可控、可管理。

### 3 全面集成模型应用研究

某型号核反应堆设计在无直接参考堆型,自主研发的大背景下,开展了工程科研和设计条件保障建设工作,需要实现核反应堆研发设计的硬件基础条件集成和应用系统集成。参考数字化设计全面集成模型,规划了如图5所示的集成架构,目前集成实施进展顺利。

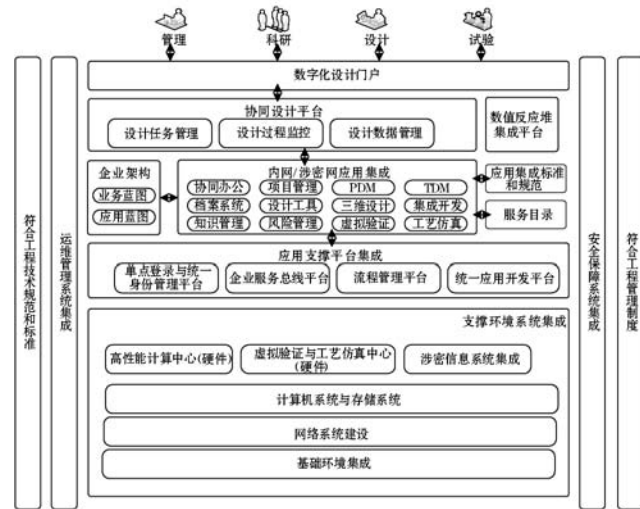


图5 某型号核反应堆集成架构设计

对基础环境、网络系统、计算机系统和存储系统、高性能计算中心、涉密信息系统进行支撑环境系统集成。应用支撑平台包括了单点登录与统一身份管理平台,企业服务总线平台,流程管理平台以及统一应用开发平台。在企业架构(EA)框架下,保证业务系统应用建设的“合规性”,依据集成标准和规范,实现业务系统应用集成,梳理服务目录。最终展现给管理、科研、设计、试验人员一个统一的数字化设计门户,设计人员在由各应用系统组成的协同设计平台上开展设计工作。

全面集成要满足工程技术规范和标准以及工程项目管理制度,通过多种集成方式的实施,满足核反应堆自主设计条件保障项目的业务目标和建设目标。

进一步从全面集成角度分析该型号核反应堆数字化设计着眼点如下:

(1) 建立面向数字化设计的完整知识分类体系,全面集成来自各业务系统的知识资源,积累各专业学科、业务领域的显性知识和隐形经验。基于统一的知识工程平台,形成向导式知识服务环境,将知识推送至各业务活动中,提升核反应堆设计的创新能力。

(2) 在目前三维设计的基础上,集成已有的PDM系统,建立统一的三维设计环境,在设计过程中,基于三维数字化样机进行产品设计、模型标注、模型检查、

模型审签及下发,通过试点开展可视化协同设计。

(3) 依托国家科技立项,建设核能数值反应堆设计软件集成平台,开发统一的集成环境和架构,形成标准的接口,实现多尺度、多物理专业软件的集成。

(4) 搭建以ESB为核心的应用集成平台,促进应用集成标准规范的实施,实现研发、设计业务线应用系统集成,对待建系统提出集成规范要求。

(5) 梳理数字化设计的综合管理类、生产业务类流程,搭建流程集成平台,实现跨业务系统“端到端”流程的贯通,实现科研生产人员、行政管理人员工作协同水平,提高整体工作效率,为管理人员提供统一的流程处理平台。

### 4 结 语

数字化设计全面集成模型以核反应堆研发设计业务为驱动,全面整合先进数字化技术、IT系统以及硬件基础条件,将孤立的管理、设计、验证等过程整合成一个有机的整体,助力反应堆型号研发工作安全、高效开展。全面集成模型的落地应尊重软硬件系统的专业性,充分发挥各系统的卓越优势,同时关注效率、成本与风险,通过有效集成,达成对数字化设计业务生产和管理支持的目标。

### 参 考 文 献

- [1] 廖炜,于洋,刘东. 开发数字化反应堆提升反应堆设计与研发能力[J]. 中国核工业,2015(7):44-47.
- [2] 张亮,高明. 信息化环境下数字化核电厂三维结构模型及其解决方案[J]. 电器工业,2017(2):11-15.
- [3] 伍吉泽. 数字核电功能规划与架构设计[J]. 中国核电,2017,10(3):348-354.
- [4] 王静. 中国原子能院成功开发出数字微堆[EB/OL]. 2016. [http://energy. people. com. cn/n1/2016/0729/c71661-28595312.html](http://energy.people.com.cn/n1/2016/0729/c71661-28595312.html).
- [5] 丁光亮,王文婷,宋仕钊. 参数化协同研发设计系统[J]. 中国原子能科学研究院年报,2016:142-143.
- [6] 李存斌,董福贵,陈永权,等. 电力市场信息系统结构与应用整合平台[J]. 电力系统自动化,2004,28(20):63-66.
- [7] 苑畅,李涌,叶志强. 面向多领域业务协同的核电生产准备信息集成平台[J]. 核动力工程,2011,32(3):139-143.
- [8] 王尉. 快速原型法在PLM系统二次开发项目中的应用[J]. 软件导刊,2017,16(7):122-124.
- [9] 曾红霞,朱泉. 军工企业移动办公安全接入研究与应用[J]. 网络空间安全,2016,7(8):42-45,49.
- [10] 张新国. TOGAF标准9.1版[M]. 中英对照版. 北京:机械工业出版社,2017.