

基于核动力仿真平台的配置管理系统设计与实现

方华建^{1,2}, 刘伟^{1,2}, 张大志^{1,2}, 杨墨^{1,2}, 李敏^{1,2}

¹中核武汉核电运行技术股份有限公司, 湖北 武汉

²中核核工业仿真技术重点实验室, 湖北 武汉

收稿日期: 2022年2月7日; 录用日期: 2022年2月21日; 发布日期: 2022年4月7日

摘要

随着核电技术的不断发展, 核电培训用模拟机的项目数据规模越来越大, 开发流程时间跨度大, 产生的中间版本多, 容易造成整个开发过程中的项目版本混乱、追溯性差, 最终导致产品质量下降。配置管理系统是能应用于模拟机项目完整开发流程及后期维护的系统, 负责管理模拟机开发、运行、维护全生命周期的数据及文档, 能够有效解决开发人员在项目开发过程中遇到的上述问题。从两个主要方面介绍配置管理系统: 1) 从运行流程设计、文件系统设计以及数据库设计等方面对配置管理系统的设计原理进行了分析; 2) 对配置管理系统的主要模块: 配置库管理、数据库管理和集成开发运行环境管理等进行了介绍, 最后总结了配置管理系统的优点以及在实际项目中的应用情况。

关键词

运行数据开发和管理, 仿真平台, 文件仓库, 配置库, 集成开发运行环境

Design and Implementation of Configuration Management System Based on Nuclear Power Simulation Platform

Huajian Fang^{1,2}, Wei Liu^{1,2}, Dazhi Zhang^{1,2}, Mo Yang^{1,2}, Min Li^{1,2}

¹China Nuclear Power Operation Technology Corporation, Ltd., Wuhan Hubei

²CNNC Key Laboratory on Nuclear Industry Simulation, Wuhan Hubei

Received: Feb. 7th, 2022; accepted: Feb. 21st, 2022; published: Apr. 7th, 2022

文章引用: 方华建, 刘伟, 张大志, 杨墨, 李敏. 基于核动力仿真平台的配置管理系统设计与实现[J]. 核科学与技术, 2022, 10(2): 47-57. DOI: 10.12677/nst.2022.102006

Abstract

With the development of nuclear power technology, project data size of simulator used in nuclear power training is bigger and bigger, time span of development process is long, many intermediate versions emerge, it is easy to cause project version confusion and poor traceability of the whole development process, leading to quality degradation. Configuration Management System (CMS) is a system applied in the whole development process of nuclear power simulator projects and later stage maintenance, it can help developers solve above problems effectively during project development process. It is responsible for managing lifecycle data and documents of simulator projects from development, running to maintenance. The paper conducts analysis on CMS in two main aspects: 1) Conduct analysis on design principle of CMS from running process design, file system design and database design. 2) Introduce the main modules of CMS: configuration repository management, database management and integrated development & running environment management. At last, the advantages and the application in practical projects of CMS are summed up.

Keywords

Development & Management of Running Data, Simulation Platform, File Repository, Configuration Repository, Integrated Development & Running Environment

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

配置管理系统是核电培训用模拟机的重要组成部分,在《核电厂操纵人员培训及考试用模拟机》标准的第6章节中对模拟机的配置管理有明确的要求。随着核电技术的不断发展,各种核电仿真技术和系统在核电站的应用广泛且深入[1][2][3],除此之外,各种针对核电仿真领域专门开发的仿真系统和平台也不断出现[4][5][6],由于仿真系统处理的项目数据规模越来越大,工具种类越来越多,如何对大量的核电仿真项目数据以及仿真制作工艺流程进行统一管理成为了一个亟待解决的问题。在此之前,国内还没有类似的解决这一问题的项目集成开发运行平台。核电仿真产品以全范围模拟机最具代表性,兼具了数据量大、工艺流程复杂等特点,属于系统工程。本文描述了基于核动力仿真平台的配置管理系统如何在全范围模拟机开发过程中所起到的关键作用。

配置管理系统是应用于核电仿真领域的运行数据开发和管理系统,为模拟机项目管理和参与人员提供了友好的图形化界面来更好地对项目进行开发过程控制、数据版本控制、统一工作入口、统一的机器环境配置以及日常管理和维护。系统采用C/S模式进行开发,分为服务器端软件和客户端软件,支持Windows和Linux操作系统。在配置管理系统中,服务器端的作用主要是管理文件仓库和配置库文件,允许用户创建、维护多个文件仓库和配置库。客户端软件的作用主要用户是模型开发工程师,他们从服务器端下载配置库和数据库至本地,对本地机器进行相应项目环境的配置,然后就可以在客户端中使用相关工具进行模拟机项目的开发和调试等工作,开发和调试完成后,可以将模型文件上传至服务器。

本文主要对配置管理系统的原理、运行流程、文件系统以及数据库设计等进行了介绍,此外,还对配置管理系统的配置库管理、数据库管理以及集成开发运行环境进行了说明。

2. 原理设计和功能实现

本节主要介绍配置管理系统的软件原理，此外，描述了配置管理系统的运行流程设计、文件系统设计、数据库设计和 CONF 间切换等关键技术。

2.1. 配置管理系统相关术语

配置项：配置管理系统管理的元数据，一般指的是一个文件。

非配置项：配置项的一种补充形式，一般只包括 IC 文件。

CONF：配置库，包含多个配置项和非配置项。

文件仓库：配置管理系统的底层文件存储系统。

写下载：用于修改配置项前的锁定下载，同一时刻，只允许一个用户下载某个配置项，以此避免修改冲突。

暂存区：用来临时存储上传到服务器的配置项的一个区域。

2.2. 系统原理

如图 1 所示，配置管理系统从软件原理上分为三层，其中第一层为用户层，分为用户登录、配置库执行、集成工具显示以及模拟机开发四个部分；

第二层为软件的功能层，主要是为系统的使用提供相应的功能支持，主要有：文件仓库管理模块、配置库管理模块、配置项管理模块、非配置项管理模块、用户登录管理模块等 12 个功能模块；

第三层为支撑层，主要是软件底层依赖的操作系统以及数据库。

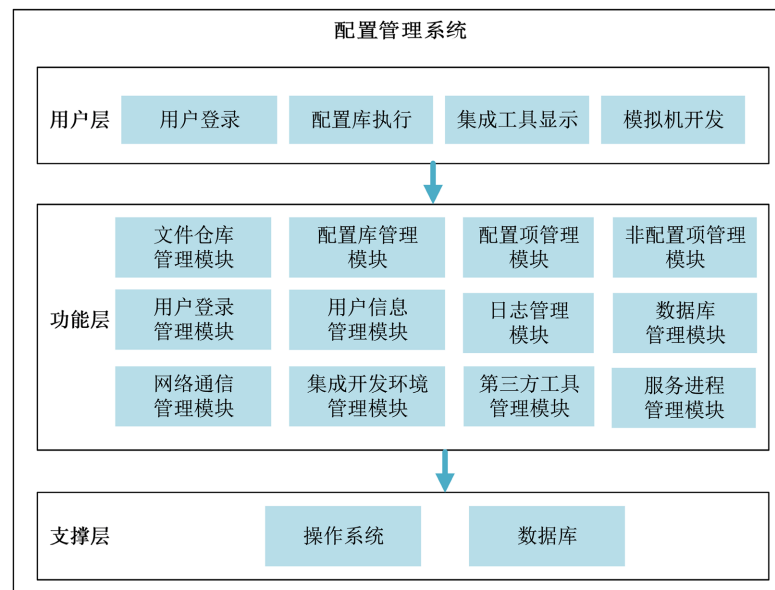


Figure 1. Schematic diagram of CMS

图 1. 配置管理系统原理图

2.3. 运行流程设计

配置管理系统的核心功能是对配置项文件变更的管理。其典型的操作场景为：

1) 工程师使用客户端从服务器端写下载指定的源码文件或者其他配置文件，修改该文件；

2) 完成修改后，上传该文件至服务器的暂存区中；

3) 系统管理员会定期对服务器暂存区中的文件进行审核，如果通过审核，文件会从暂存区转移到文件仓库目录中的相应位置，并升级该配置项版本，如果不通过，会直接将其从暂存区删除，并通知相应的工程师。

典型操作运行流程如图 2 所示。

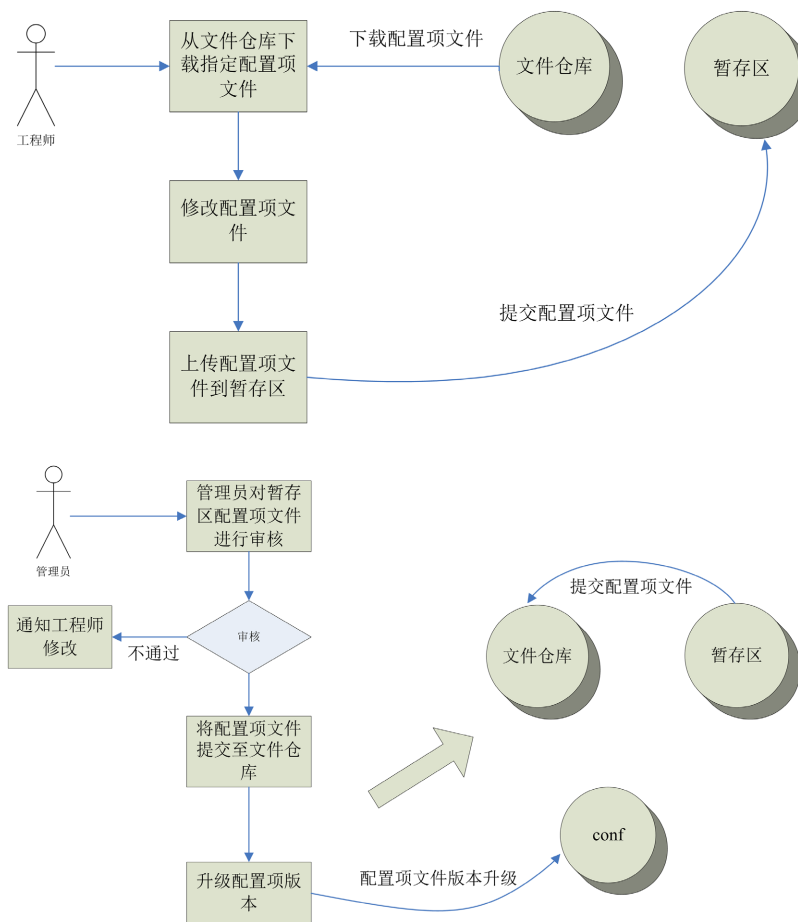


Figure 2. Typical operation running process of CMS

图 2. 配置管理系统的典型操作运行流程

配置项文件在本地工作目录、服务器端的暂存区和文件仓库三个区域中流转。配置项有以下五种状态：

- 正常：该状态下配置项可以被客户端下载，客户端可以锁定配置项以上传更新文件。
- 锁定：配置项已被客户端或管理员锁定，仅允许锁定配置项的客户端上传更新后的配置项，锁定的配置项仍然可以被其他客户端读下载。
- 暂存：客户端要变更的文件已经被上传到服务器端的暂存区中，等待管理员审核。
- 拒绝：上传至暂存区的文件经过配置管理员审核后拒绝提交至文件仓库。
- 完成：暂存区文件经过配置管理员审核后，提交到服务器端的文件仓库中，进入版本库，同时解除对该配置项文件的锁定并删除暂存区中的相应文件。

配置项文件的流转过程和状态变化如图 3、图 4 所示：

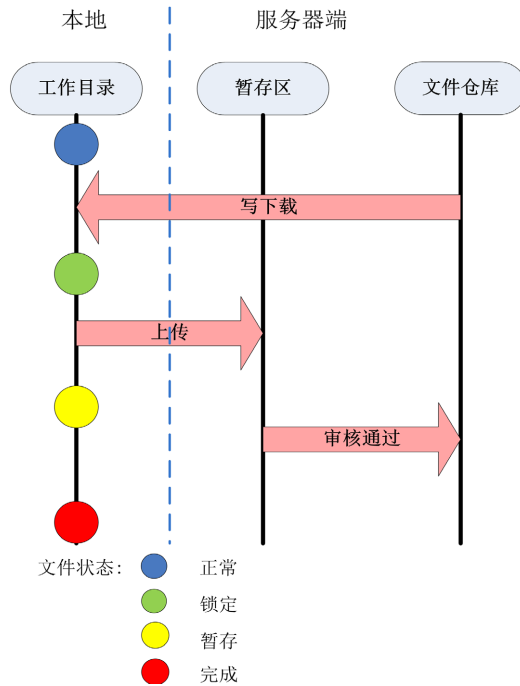


Figure 3. Transfer process scheme of item file
图 3. 配置项文件流转过程示意图

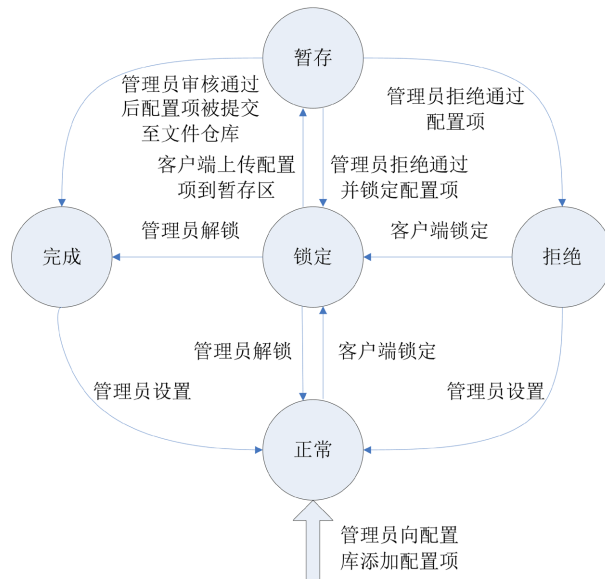


Figure 4. State transition scheme of item
图 4. 配置项状态转换示意图

2.4. 文件系统设计

配置管理系统的文件系统指的是文件仓库、CONF、配置项和非配置项的集合。其中文件仓库中存储的是配置项的所有版本，每个文件版本称为该文件的一个快照。

文件系统中可存储多个文件仓库，一个文件仓库又可包含若干个 CONF，每个 CONF 是若干配置项和非配置项的组合。每个配置项对应文件仓库中同名文件的某个快照，除了配置项之外，每个 CONF 中

还会包含若干个非配置项，当客户端下载 CONF 时，它们会随着一起被下载。配置项、非配置项、CONF 以及文件仓库组成了配置管理系统的文件系统内容。如图 5 所示。

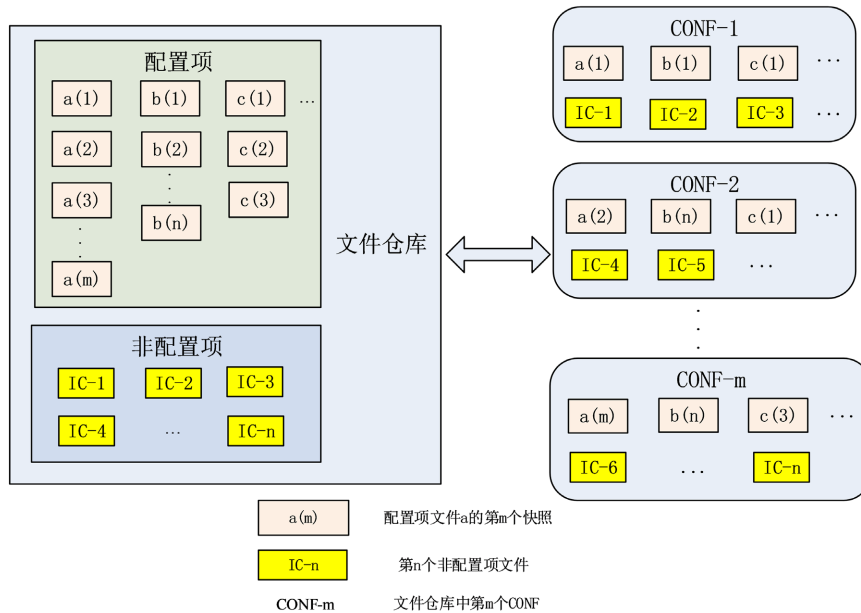


Figure 5. File system scheme
图 5. 文件系统示意图

2.5. 数据库设计和 CONF 间的切换

在模拟机开发中，要求可执行程序文件(工程师站、教练员站等)、建模文件(图形化、非图形化)、配置文件和数据库中数据版本匹配，才能正常运行。此外，由于项目需要，常常在服务器端创建多个 CONF，在构建 CONF 的时候，需要在多个 CONF 之间进行切换。为了保证切换 CONF 后数据的正确性以及稳定性，系统采用了数据库冗余的设计。

如图 6 所示，在服务器端，simcms 是系统中所有 CONF 的公共数据库，主要记录用户信息、文件仓库信息、操作日志信息以及系统参数信息等。每个 CONF 都有专属的数据库。除此之外，配置库中的配置项信息、基线信息、配置项类别信息以及版本信息等都保存在数据库中。在切换 CONF 时，系统首先会识别 CONF 编码，然后连接到该 CONF 对应的数据库。采用这种方案，不仅可以保证 CONF 切换之后数据的正确性，还可以确保每个 CONF 之间的数据保持独立性和完整性。

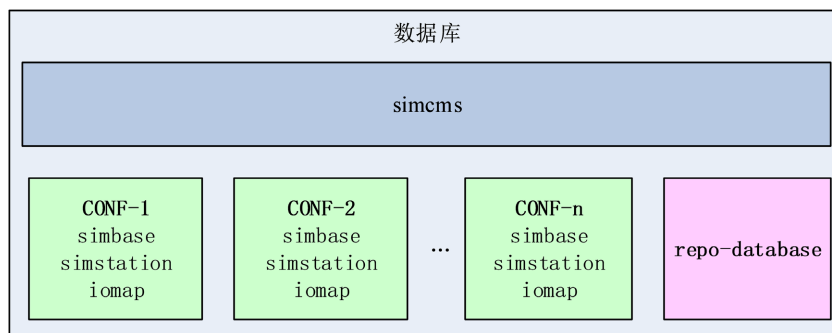


Figure 6. Server database
图 6. 服务器端数据库

3. 软件设计和开发

3.1. 系统基本架构

配置管理系统采用了中心化的 C/S 架构。服务器管理所有用户信息以及项目开发数据并维护所有文件的版本信息。客户端以在线登陆和离线登陆两种方式进入系统。在线登陆模式下，首先需要与服务器通信进行身份验证，通过后才能进行配置项的下载和上传，服务器也可以向客户端推送消息，指导客户端用户进行下载更新以帮助工程师更好地进行项目的开发，如图 7 所示。在离线模式下，客户端也能使用集成开发运行环境管理功能在本地进行项目开发，为异地开发和办公提供了另一种良好的开发模式。配置管理系统主要由人机界面层、功能模块层以及工具集三大部分组成，服务器端和客户端框架如图 8 和图 9 所示：

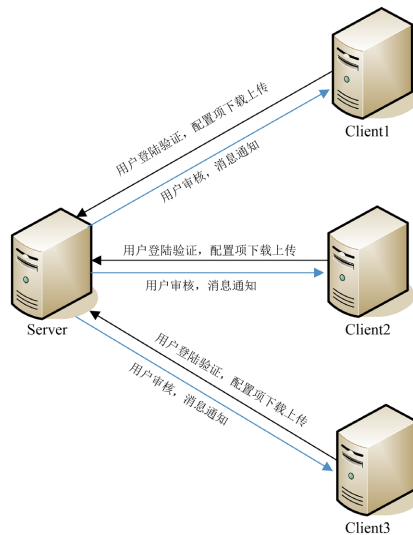


Figure 7. C/S architecture of CMS
图 7. 配置管理系统 C/S 架构

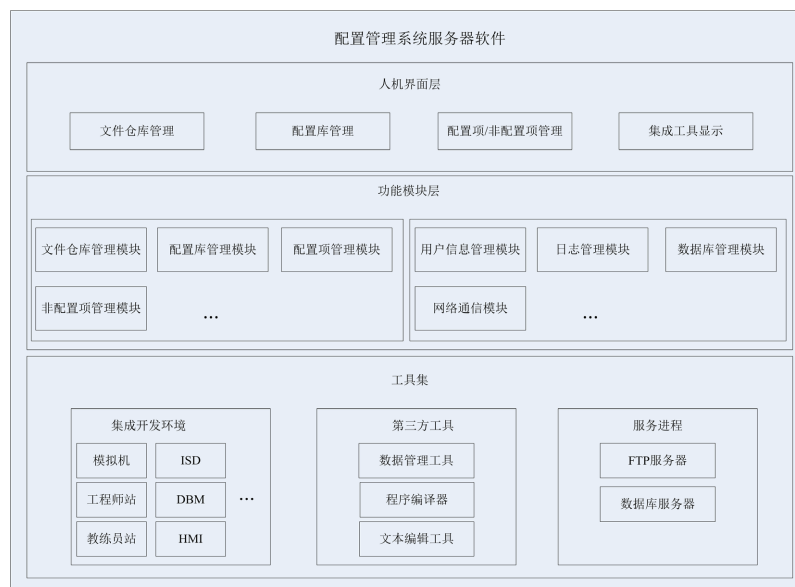


Figure 8. Software architecture of server
图 8. 服务器端软件架构

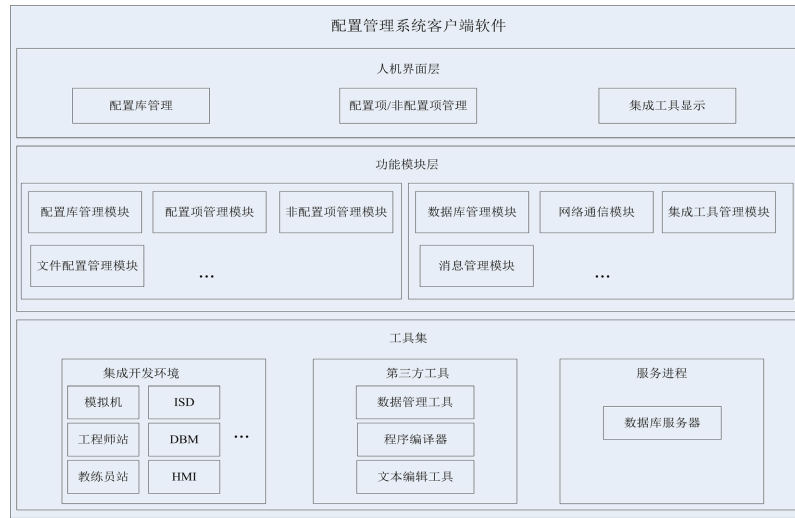


Figure 9. Software architecture of client
图 9. 客户端软件架构

3.2. 模块设计和开发

配置管理系统包含多个功能模块。分别是：文件仓库管理模块、配置库管理模块、配置项管理模块、非配置项管理模块、暂存区管理模块、文件配置管理模块、用户信息管理模块、日志管理模块、数据库管理模块、网络通信模块、集成开发运行环境管理模块、集成工具管理模块以及消息管理模块等，目前系统已经实现了所有的功能模块。下面主要对三个常用模块：配置库管理模块、数据库管理模块以及集成开发运行环境管理模块进行介绍。

3.2.1. 配置库管理

配置库管理模块主要负责 CONF 的新建、删除、复制、切换、下载、查询以及版本管理。

1) 配置库的存储结构

存储结构是配置库在磁盘中保存各个配置项/非配置项的方式，表现为目录和文件之间的层次结构，存储结构用于指导配置项和非配置项文件的新增和更新。根据配置项的分类来建立 CONF 的存储目录结构。

目前配置项按照类别进行划分，如表 1 所示。

Table 1. Classification table of item
表 1. 配置项分类表

类别	
名称	描述
EXE	平台软件的执行程序 and 动态链接库文件
isdata	教练员站相关文件
Figure	工程师站相关文件
icdump	所有工艺系统的 icdump 模板文件
Load	核电仿真系统相关文件

2) 配置库的逻辑结构

逻辑结构描述了可编译的配置项和所属系统的逻辑关系，确定配置项的编译依赖关系和编译规则。

配置项的逻辑结构信息存储在 CONF 对应的配置文件中，不同 CONF 的逻辑结构可能不同，因此每个 CONF 都有各自的逻辑结构配置文件。

3.2.2. 数据库管理

数据库管理模块主要负责数据表的下载和本地导入。对于这些数据库，在服务器端将它们的数据导出成一个 dump 文件，作为 CONF 的一个非配置项，客户端只需要下载它们并使用数据库管理工具在本地导入就可以使用它们。如图 10 所示。

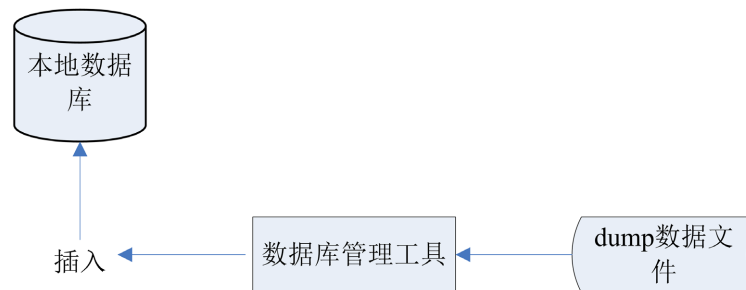


Figure 10. Process procedure of data file
图 10. 数据文件处理流程

3.2.3. 集成开发运行环境管理

集成开发运行环境管理模块负责对平台所有工具以及其运行环境进行统一管理。目前，配置管理系统已经集成了多种模拟机仿真相关工具。比如：模拟机、工程师站、教练员站等。除此之外，集成开发运行环境管理模块还可以根据需要调整每个工具的显示位置以及增减工具的显示数量。其主要功能包括：显示管理、环境变量管理以及启停管理，工具的启动过程如图 11 所示。当多个相关工具同时运行时，配置管理系统便构建了一套集成开发运行环境，可以支持开发者同时利用多个工具进行项目的开发，如图 12 所示。

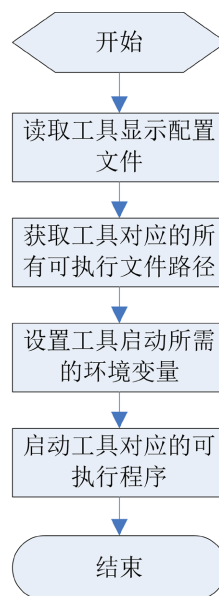


Figure 11. Process of starting a tool
图 11. 工具启动流程

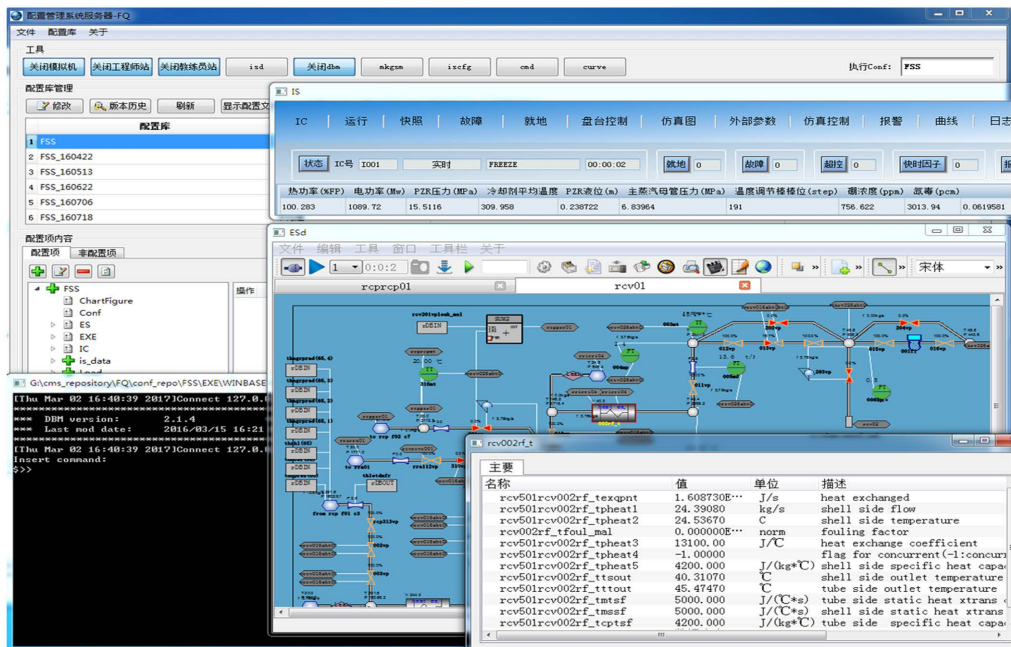


Figure 12. Integrated development & running environment
图 12. 集成开发运行环境

3.3. 系统主要指标参数

目前，配置管理系统的主要指标参数如下：

- 1) 并发访问：配置管理系统服务器最多可支持 200 个用户的并发访问；
- 2) 配置库备份恢复：对于配置库中所有配置项小于 1000 个，总存储空间小于 1GB 的情况，备份和恢复时间小于 20 分钟；
- 3) 配置项查询：单个配置项查询可在 1 秒内返回结果，复杂查询在 10 秒内返回结果；
- 4) 管理的配置库数量：至少支持管理 100 个配置库；
- 5) 管理的用户数：至少支持管理 200 个用户。

4. 结论

与其它核电仿真领域的类似系统相比，配置管理系统主要有以下优点：

- 1) 采用图形化界面进行项目管理，提高了软件的易用性；
- 2) 高度集成的模拟机软件开发调试环境；
- 3) 方便有效的配置项管理模式；
- 4) 可靠的配置项变更冲突解决方案；
- 5) 集成的可扩充编译模式，无需记忆各种软件命令；
- 6) 一键安装和配置部署，快速建立开发和运行环境；
- 7) 服务器和客户端特有的消息通知机制，指导快速更新；
- 8) 工作区的管理使单机多项目开发成为现实。

本文介绍的适用于核电模拟机项目整个开发、维护过程的配置管理系统，不仅可以集成多种核电仿真相关工具，而且可以对核电模拟机项目进行科学、高效的管理。随着基于核动力仿真平台研发项目的不断推进，配置管理系统已开发完成并应用，该系统也会随着核动力仿真平台应用过程中新功能的增加

而进行持续的改进。目前本文介绍的配置管理系统已经应用于华龙一号全范围模拟机研制以及快堆工程验证平台研制等项目中，随着我国核电仿真技术的不断发展，该系统也会随着模拟机项目的开发而不断得到完善。

参考文献

- [1] 曹建亭, 邹沫元, 蔡瑞忠, 章旋, 吴帆. 核电仿真系统关键技术分析及自主化策略[C]//中国电机工程学会. 2009年中国电机工程学会年会论文集. 2009.
- [2] 杨宗伟, 黄铁明, 冯光宇, 栾振华, 林荫, 朱立志. 核电站仿真技术在反应堆控制系统调试中的应用[J]. 核动力工程, 2009, 30(S2): 49-53.
- [3] 段奇志, 平嘉临, 王春冰, 谢红云, 谭珂. 仿真技术在核电数字化仪控系统验证中的应用[J]. 原子能科学技术, 2014, 48(11): 904-908.
- [4] 阎光伟, 王瑞华. 核电站三维动态仿真系统[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(1): 107-111.
- [5] 王黎泽, 林桦, 李树成, 王文忻, 王云伟, 吴炫钢. 非能动安全型核电站仪控系统验证仿真平台设计与开发[J]. 核电子学与探测技术, 2012, 32(10): 1187-1191.
- [6] 李延凯, 林荫, 杨燕华, 刘斌. 核电厂仪控系统验证仿真平台开发[J]. 核动力工程, 2014, 35(5): 148-152.