

防城港3&4机组ACP后备盘仿真技术的研究与首次应用

Research and Application of ACP Backup Panel Simulation Technology in a Nuclear Power Plant

★北京广利核系统工程有限公司 田博川, 刘卿, 高连国, 孙健, 张登超, 方国辉

摘要: 随着控制理论与技术的进步, 某核电站项目首次采用数字化技术的后备盘(以下简称: ACP), 使其具有更高的集成度和可靠性, 为机组安全稳定运行提供更有力的支撑。其网关采用了虚拟实物模拟, Level 2层采用实物模拟的方式, 并去除参考机组冗余的硬件设备和网络架构, 具备仿真精度高、通讯集成度高、设备占用空间小、节约采购成本等优点。ACP仿真技术的首次应用不仅可以提高操作员的培训质量, 更能在日常的课程培训中将一些隐性问题发掘并反馈实体机组。

关键词: 核电站; 后备盘; ACP

Abstract: With the process of control theory and technology, the backup panel of digital technology (hereinafter referred to as ACP) is adopted for the first time in a nuclear power plant project, which makes it have higher integration and reliability and provides more effective support for the safe and stable operation of the unit. The ACP gateway adopts emulation, and Level 2 adopts stimulation, and eliminates the redundant equipment and network architecture of the reference unit. It has the advantages of high simulation accuracy, high communication integration, small equipment footprint, and saving procurement costs. The application of ACP simulation system can not only improve the training quality of operators, but also discover some hidden problems in daily course training and feedback the actual unit.

Key words: Nuclear power plant; BUP; ACP

1 前言

核电站全范围模拟机(以下简称: 模拟机)使用计算机仿真技术对参考核电站的设备、系统、运行状态进行1:1的逼真模拟, 真实地呈现参考核电站在各种工作状态下的特性, 用于训练操作员对机组操纵的技能。目前, 模拟机已作为操作员初始培训、再培训与考试的重要设施。

我国现役运行机组的核电站模拟机, 虚拟DCS大多采用虚拟实物模拟和实物模拟相结合的方式, 即Level 1采用虚拟实物模拟的方式, 例如安全级仪控系统、非安全级仪控系统的各控制站; Level 2采用实物模拟的方式, 例如位于主控室、备控室的操作员站和后备盘等。

后备盘作为核电站信息与控制系统(以下简称: KIC)的后备手段, 其主要功能是在KIC系统不可用期间(包括计划不可用、非计划不可用), 将机组带入并维持在安全状态^[1]。模拟机作为操作员培训、考试及取证的必要抓手, 其仿真度、可靠性和准确性直接关乎操作员的培训质量; 后备盘作为机组运行的必要保障, 其模拟机规程培训也是操作员考试的核心内容之一。

目前国内核电站后备盘仿真是基于参考机组采用模拟后备盘, 防城港3&4机组模拟机采用数字化技术后备盘, 在国内核电仿真领域属首次应用, 其后备盘的仿真实现方式应与参考机组保持高度一致, 达到1:1仿真。

本文介绍了使用广利核SpeedySim平台的数字化后备盘, 并与参考机组的系统结构、通讯方式进行对比, 对其仿真实现方式进行研究。

2 参考机组ACP系统介绍

本节将从系统结构和网关通讯两方面展开介绍ACP系统的工作原理。

2.1 系统结构

某核电站参考机组的ACP系统由广利核公司自主

研发的SpeedyHold平台软件实现，其网络结构与服务器均采用冗余配置，系统结构只包含Level 2，其结构简图如图1所示。

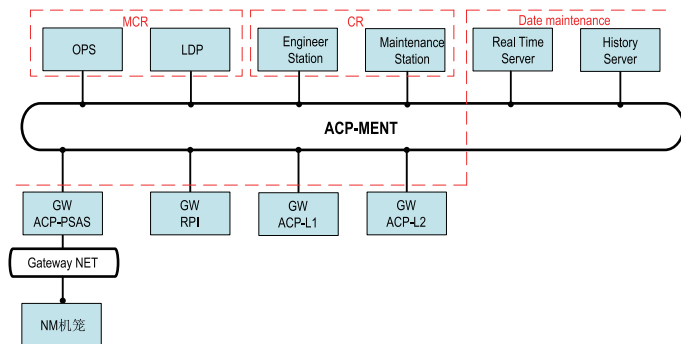


图1 参考机组ACP系统结构简图

ACP系统分为三部分：

- (1) 数据处理与服务子系统；
- (2) 主控室子系统（MCR）；
- (3) 维护子系统（CR）。

2.2 网关通讯

2.2.1 GW ACP-L1/2通讯网关

GW ACP-L1/2通讯设置两对冗余网关，网关传输的数据如表1所示。

表1 GW ACP-L1/2通讯网关传输数据

网关	数据方向	传输数据
GW ACP-L2	ACP系统→F-SC1 DCS	SCID调屏信号点项、P/T信号点项；实现分组调屏、实现1调4屏。
	F-SC1 DCS→ACP系统	F-SC1 DCS网络通讯状态点项。
GW ACP-L1	F-SC1 DCS→ACP系统	过程监视信号点项，操作日志，设备故障信息。

2.2.2 GW ACP-PSAS通讯网关

GW ACP-PSAS通讯设置一对冗余网关，网关传输的数据如表2所示。

表2 GW ACP-PSAS通讯网关传输数据

网关	数据方向	传输数据
GW ACP-PSAS	ACP系统→F-SC3 DCS	F-SC3 DCS设备控制指令点项；ACP系统设备状态点项。
	F-SC3 DCS→ACP系统	F-SC3 DCS设备状态反馈点项。

2.2.3 GW (RPI) 通讯网关

RPI通讯设置一对冗余网关，网关传输的数据如表3所示。

表3 GW (RPI) 通讯网关传输数据

网关	数据方向	传输数据
GW (RPI)	RPI→ACP系统	RPI反馈信号

3 ACP的仿真实现

根据《NB/T 20015-2010 核电厂操纵人员培训及考试用模拟机》3.3.1.1节的规定：模拟机应包括主控室和辅助控制室的各种盘台、控制台和操作站，以便提供进行正常运行操作和故障处理所必须的控制、仪表、报警和其他人机界面。为满足国标实体逼真度和人因的要求，也为尽可能地还原参考机组，模拟机Level 2层需采用实物模拟的方式，即系统结构、设备类型与参考机组保持一致。

如2.2节所示，参考机组的三类通讯网关分别与安全级（F-SC1）、非安全级（F-SC3）、RPI系统进行数据交互，在模拟机的系统结构中，F-SC1由FirmSim平台实现、F-SC3由MACS平台实现、RPI由仿真模型实现。如何将3类不同平台的信息与ACP仿真系统进行数据通信，同时确保信号传输的稳定性、实时性、同步性，是本次ACP系统模拟的重点；其次，如何确保模拟机指令的下发，以及如何反馈ACP系统的运行状态，亦是本次模拟的重要部分。某核电站ACP网关的模拟采用了虚拟实物模拟的方式，探究了ACP系统仿真的一种方法，本节将从系统结构仿真、通讯方式仿真两方面分别展开介绍。

3.1 系统结构的仿真

模拟机ACP的Level 2层仿真方式为实物模拟，如图2所示。所谓实物模拟，即在模拟机中使用参考机组的系统或子系统的真实硬件和软件来复现参考机组的相应系统或子系统^[2]，模拟机MCR房间的VDU、OPS、LDP，CR房间的硬件设备以及ACP-MNET采用实物模拟的方式。

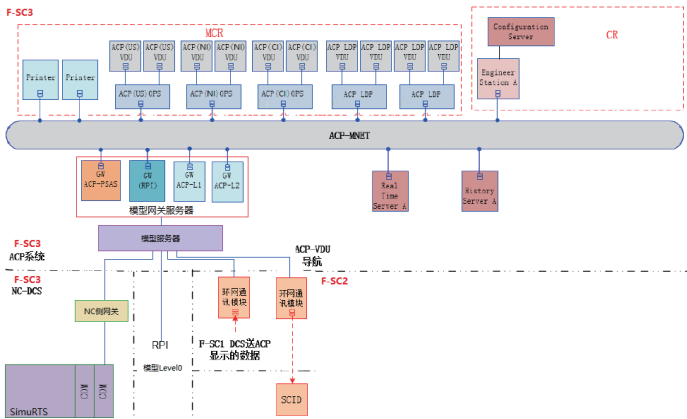


图2 模拟机ACP系统结构图

模拟机ACP系统使用广利核的SpeedySim平台，相对于参考机组，取消网络结构与服务器的冗余配置，增加模型网关服务器，将参考机组的所有网关功能整合在一个网关程序上，网关数据通过模型服务器进行转发。

3.2 模拟机通讯方式的仿真

所谓虚拟实物模拟，即指通过将参考机组的系统或子系统的软件移植到模拟机运行环境下工作，模拟机ACP系统采用模型网关服务器实现参考机组的网关功能。模拟机与参考机组的通讯方式不同，模型服务器作为数据的传输中转站，接收和转发来自其他系统的指令以及机组运行数据。模拟机的Non-Safety DCS、Safety DCS、Instructor等系统均通过模型服务器转发，ACP作为模拟机的一部分，在设计通讯方式时，也通过模型服务器进行数据转发，如图3所示。

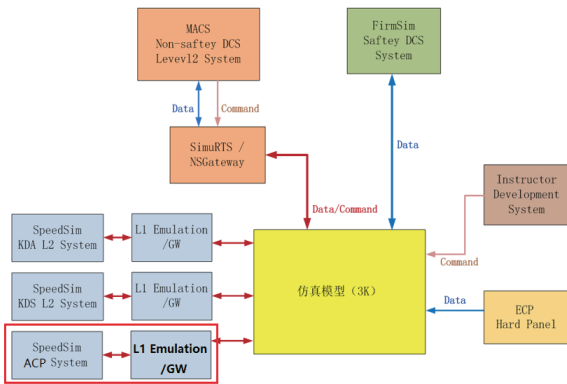


图3 模拟机DCS各系统接口示意图

3.2.1 数据包的构成

模拟机SpeedSim平台建立ACP的网关程序，与模型服务器进行通讯，两者之间需要传输3个数据包：

(1) 仿真命令和仿真命令的响应（Command）

模型服务器发送仿真命令数据到SpeedSim，例如：启动命令、冻结命令、运行命令、储存快照等。SpeedSim在处理命令后立即向模型服务器发送响应数据包。为保证SpeedySim的系统本地时间与模型的本地时间一致，命令数据包中包含了模型服务器的时间标识。

(2) 模型服务器发出的数据（Data）

在每个通信周期（100ms），模型服务器发送所有来自F-SC1 DCS、F-SC3 DCS、RPI的变量。

(3) SpeedSim网关程序发出的数据（Data）

SpeedSim网关程序在接收到模型服务器的数据后，将F-SC1 DCS、F-SC3 DCS的数据发送到模型服务器，并完成一个循环算法。

3.2.2 ACP模型网关的构成

ACP的网关应用程序安装在模型网关服务器中，应用程序由GW ACP-L1/2通讯网关、GW ACP-PSAS通讯网关及GW（RPI）通讯网关三部分组成。GW ACP L1/2通讯网关的数据（参数4、参数5）与其他一、二层网关数据（参数2、参数3）、硬接线数据（参数1）通过模型服务器“打包”进行数据传输，如图4所示。

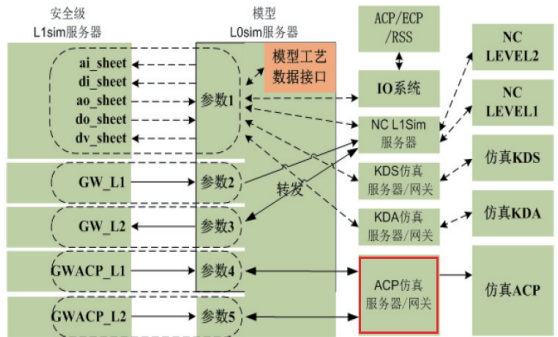


图4 模拟机DCS各系统接口示意图

4 仿真方式的优点

4.1 节约空间与成本

模拟机将参考电站的网关整合在一台服务器上，

由4对通讯网关改为1台网关服务器，不仅节约模拟机室机柜的数量和空间，高度集成化也利于模拟机的维护与移植。

4.2 指令/时钟同步

由于模拟机系统较多，各服务器均需要接收与发送数据至模型服务器，如何确保模型服务器指令发出后，各仪控仿真系统的指令/时钟同步，成为本次仿真的难点。本方案将模型服务器作为数据传输的中转站，将仿真命令（Command）、数据（Data）、时钟等打包发送至各服务器，此通讯方式简单、可靠地实现了各服务器指令与时间的同步。

指令同步，消除了模拟机ACP指令延迟的壁垒，在模型服务器指令下发后，ACP网关服务器能够在第一时间接收到模型命令，有利于ACP系统与其它仪控系统保持动作的一致性、同步性；时间同步，保证了ACP系统在正常、事故运行等工况下，机组的运行状态、实时历史数据等时间戳与各系统对齐，有利于操纵员由KIC切至ACP时做出正确的判断和操作。

5 结论

采用数字化技术的后备盘作为锚点首次应用于某核电站项目受到了业内人士的高度关注。集成度更高的数字化后备盘满足操作员更高的运行需求，在日常培训中应用了ACP仿真技术的模拟机平台可以更有效地将培训内容透传给在训学员。本文着重介绍了ACP仿真技术的系统架构及通讯原理，对ACP仿真技术的实现方法与策略进行剖析，同步培训需求与仿真技术实现，为业内后续仿真项目提供底层逻辑和方法论。AP

作者简介：

田博川（1990-），男，河北保定人，工程师，学士，现就职于北京广利核系统工程有限公司，研究方向为核电仪控仿真。

刘 卿（1995-），男，辽宁大连人，工程师，学士，现就职于北京广利核系统工程有限公司，研究方向为核电仪控网络通讯。

参考文献：

- [1] 曾刚, 张伟, 范辉先. 核电站后备盘的现状与发展趋势分析[J]. 水利水电, 2016, 43: 218 - 219.
- [2] NB/T 20015—2010, 核电厂操纵人员培训及考试用模拟机[S].