

白山水力发电厂培训仿真系统的研究与实现

杨叶平¹, 王德宽¹, 吴迪², 罗斌²

(¹ 北京中水科水电科技开发有限公司 北京市 100038; ² 白山水力发电厂吉林省桦甸市 100038)

摘要: 在不影响发电生产的前提下, 水电站培训仿真系统可以使新老员工能有更多的实际操作机会, 提高培训效率, 降低培训成本。白山水力发电厂培训仿真系统基于仿真软件平台 OTS2000, 实现了水电站常见的正常操作和事故模拟仿真。自主研发的 Simulog 语言是 OTS2000 的核心技术, 它的成功研发和应用解决了阻碍培训仿真系统发展和应用的关键技术瓶颈, 具有一定的先进性。

关键词: OTS2000, Simulog, 白山水力发电厂, 培训仿真系统

0 引言

白山发电厂位于吉林省东南部, 松花江上游, 是一厂两坝三站的特大型水力发电厂, 总装机容量为 1700MW, 在东北电网中担任调峰、调频和事故备用。白山发电厂生活基地建在吉林省桦甸市, 白山电站位于红石电站上游距桦甸市 73 公里, 红石电站距桦甸市 35 公里。

研究开发水电站培训仿真系统, 可以在不影响发电生产的前提下, 使新老员工能有更多的实际操作机会, 提高培训效率, 降低培训成本。

对于一个正常运行的电站来说, 设备发生严重故障的概率比较小, 但一旦发生, 后果不堪设想。一方面, 电站运行维护人员应该尽量避免此类事故的发生, 另一方面, 运行维护人员需要在日常工作中培养判断、处理突发故障的能力。运行维护人员在实际工作中很少能有机会处理突发事故的机会, 而通过培训仿真系统来进行这方面的培训, 是一个经济而高效的方式。

北京中水科水电科技开发有限公司(中国水利水电科学研究院自动化所)承担了白山水力发电厂培训仿真系统(后简称白山仿真系统)的建设。在白山电厂和中水科技技术人员通力合作下, 克服困难, 以成熟的水电站监控系统 H9000V 4.0 为基础, 完成了水电站培训仿真系统平台 OTS2000 的研制开发。

目前白山仿真系统经过了电厂运行、维护人员的严格测试, 已经正式投入了试运行。

1 仿真系统的主要用途

水电站培训仿真系统既可以用于运行维护人员培训, 也可以用于实验研究。

(1) 培训运行操作人员

培训仿真系统对水力发电过程给予全面仿真。可用于水电机组正常工况的操作运行训练, 如机组启停、正常运行、调整负荷等操作训练。可进行各种异常工况下的操作训练, 如各种故障状态下的现象判断和事故处理的操作训练。

(2) 重要设备操作模拟、操作票验证

运行人员进行倒闸、并网解列等重要操作时,如果出现操作失误可能带来巨大的损失。在进行上述实际操作前,先通过仿真系统进行模拟操作,并检查正确性,确保运行操作票的正确性,杜绝误操作,可以大大提高操作的安全性、可靠性。

(3) 控制系统研究和设计

依靠仿真系统建模工具、模型运行软件和模型算法库,用户技术人员可以在仿真系统上进行控制系统的各种研究和设计工作。例如:控制系统的仿真研究、组态分析、控制系统的参数寻优等。

(4) 最优化运行方式实验研究

仿真系统作为一个实验平台,可用来进行不同方式的机组启停等操作实验,在仿真机上可以监视各种过程运行参数和运行指标,可以进行大型流域水库群联合优化调度控制仿真研究,寻求优化的运行方式,也可以进行厂站内 AGC、AVC 的仿真实验。

2 仿真系统的典型配置

OTS2000 仿真系统可以为纯数字仿真,也可以为数字物理混合仿真,其硬件结构分别如图 1、图 2 所示。

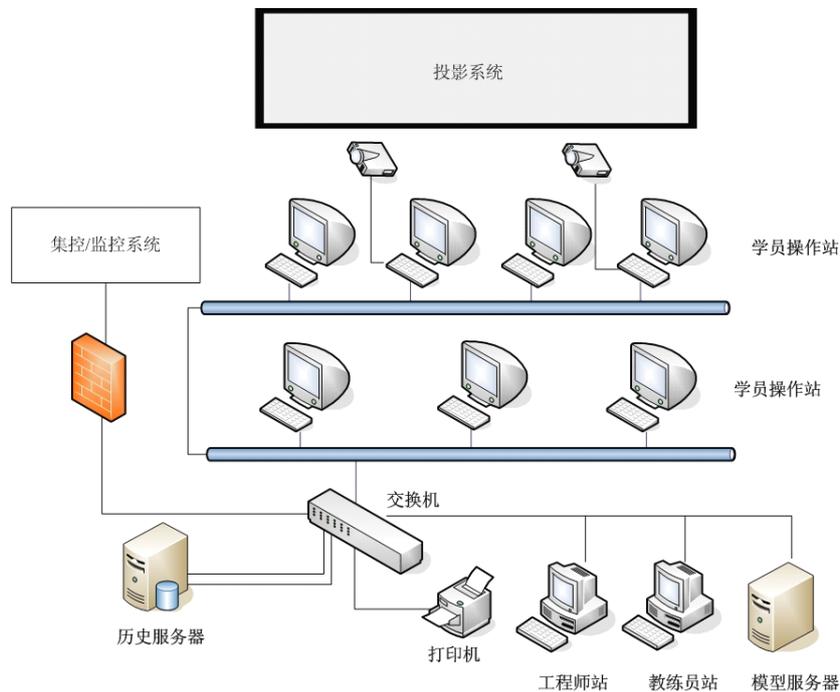


图 1 纯数字仿真模式硬件结构图

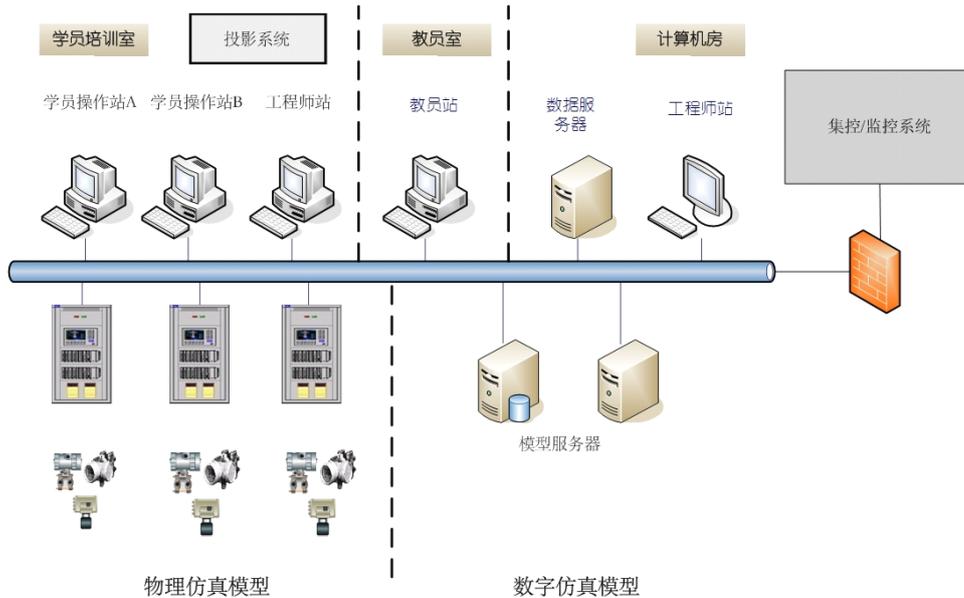


图 2 数字物理混合仿真模型硬件结构图

目前白山仿真系统采用纯数字仿真。

3 白山培训仿真系统的实现

白山仿真系统实现了了白山一号机组开机流程，工况初始化，停机流程，有无功调节，异常操作设置，事故模拟的仿真功能。具体介绍如下：

(1) 正常操作调节与仿真

由于OTS2000系统以H9000系统为基础，因此监控系统的正常操作均可在仿真系统实现，如开、停机操作，断路器，隔离开关，有功、无功调节，各种设备的投、切等，并通过仿真系统进行信号反馈。该功能是正常的监控系统与仿真系统的组合。

白山培训仿真系统已实现的正常操作调节功能包括：

- a) 机组开机流程仿真；
- b) 机组有功功率调节仿真；
- c) 机组无功功率调节仿真；
- d) 2201 开关分、合仿真；
- e) 2251 开关分、合仿真；
- f) 机组 FMK 开关分、合仿真；
- g) 机组停机流程仿真等。

(2) 异常运行工况仿真与处理

为了培训学员正确应对各种异常情况，仿真系统可生成各种异常情况，如水机或电气的

事故或故障、量测系统异常、闸门系统故障等。

目前，白山仿真系统已经实现了主要事故模拟，如机械事故：事故低油压、机组 140% 过速、调速器失灵、机组温度过高等；电气事故如：机组电气事故、变压器电气事故、励磁事故等。

(3) 无操作闭锁的操作模式

正常运行的监控系统具有完善的防误操作功能，可对进入计算机系统的各项操作指令自动进行条件判断，满足条件则执行，不满足条件则闭锁，并向运行培训人员提示闭锁原因。因为监控系统的操作闭锁功能，运行人员在操作时不再需要一一仔细检查有关设备的运行工况，且很少误操作，实现了所谓的“傻瓜机”功能。正是由于功能简化，导致许多运行人员操作时“只知其然，而不知其所以然”，概念并不是十分清楚。

为培训学员，还可解除防误操作闭锁功能，由学员亲自检查该操作的条件，可更好地检验学员对该操作条件的理解，并进行考核。

(4) 场景库与案例库

在仿真软件运行时需要初始信息，即场景。场景的取得可以有多种方式。(a)可取自监控系统；(b)特别设置的典型场景。

仿真系统可将一些典型的运行方式场景或典型的历史场景保存下来，作为场景历史数据库。场景库可以是系统全局性的，也可以是仅涉及某一待操作设备有关的局部场景。教员或学员可根据培训内容，选择恰当的场景库。

培训案例库是培训仿真系统的重要核心技术。丰富的案例，可以仿真各种运行工况，也是培训仿真系统的价值所在。如某机组事故跳机、开机受阻、机组温升异常、机组溜负荷，等等。

(5) 仿真进度控制

仿真系统运行时，可对慢过程进行快进，对快速变化的过程可慢镜头播放，必要的时候可冻结(frozen)，待有关现场分析后继续前进。

发生事故时，系统可记录触发事件发生前后全部时间断面数据，形成事故追忆。拍照记录时间长短可定义。用户可定义不同的事故追忆内容。事故追忆记录的数据包括预定义的模拟量、状态量等数据。触发方式包括扰动触发、人工触发等。事件过程记录数据可分步浏览和回放，并可以单线图、表格等方式重现，方便进行事故分析。

(6) 工况再现

工况再现是学员可以通过仿真系统提供的人机接口(OIX)，在某一场景画面上(比如“开机流程画面”)，回放过去某一段时间内实时监控系统的运行变化过程。该功能类似于将运行人员监视的实时系统画面完整地拍照录像，然后在事后进行回放，只是更为灵活、丰富，数据量小得多。

学员可以对回放画面、回放起止时间进行设置。因为所有需要的数据信息都进行了存储，所以画面的选择是任意的，这大大加强了该功能的灵活性。在回放过程中，学员可以对回放过程进行停止、暂停、继续、加速、减速操作。

该功能也能进行对正常的运行过程进行回放。

(7) 学员考核

系统可记录受训人员的各种操作和特定参数，客观评价受训人员的操作水平。

(8) 语音报警

学员进行操作时，系统将自动通过语音提示学员当前进行的操作，并将报警信息通过语音播报。

4 白山培训仿真系统关键技术

基于设备运行机理建立的水电站完整数字模型及其描述解析方法是建立培训仿真系统的基础和核心，也是一直阻碍培训仿真系统发展和应用的关键技术瓶颈。

国内水电站培训仿真系统的应用开发起步较晚，与电网、火电、核电仿真系统的技术水平差距较大。目前国内外有部分监控系统厂家和高等院校在进行水电站培训仿真系统研究开发，但往往流于表面形式，仅仅是实现简单的培训功能，而对仿真所必须的核心技术则没有进行更深入的研究。

在 OTS2000 的研制开发过程中，模型的建立以仿真对象的生产工艺流程、系统结构设计、设计计算和运行数据资料为依据，以实际物理运行机理为基础，符合控制理论原理、电路电工原理、电力系统原理、水力学原理、电机学原理。同时要充分利用国内外本领域已有的研究成果，消化吸收水电领域丰富的数学方程、公式。模型的静态特性和动态特性与仿真对象相同或相似。

Simulog 是中水科技自主创新的面向水电站仿真的过程模型描述语言，经过多年的研发，该语言已经可以实现控制流程的计算机描述和解析运行及水电站数学模型的计算机描述和解析运行等功能。

Simulog 语言定义了丰富的语法规则，可以对连续/离散系统、线性/非线性系统、简单/复杂系统、进行建模，模型的解析运行具有较好的精度。

Simlog 语言可以实现 IEC61131-3 国际标准 PLC 编程语言（梯形图、结构化文本 ST）的主要功能，可以对复杂的控制流程进行建模。

5 结束语及建议

白山仿真系统基于仿真软件平台 OTS2000，实现了水电站常见的正常操作（开机、停机、有功调节、无功调节等）的仿真，也实现了常见的机械事故、电气事故的仿真。目前该系统经过了电厂运行、维护人员的严格测试，已经正式投入了试运行。自主研发的 Simulog 语言是 OTS2000 的核心技术，它的成功研发和应用解决了阻碍培训仿真系统发展和应用的关键技

术瓶颈，具有一定的先进性。

参考文献

- [1] 王德宽等：“水电厂计算机培训仿真技术的设想与初步研究”，《水电厂自动化》，2000年，第3期。
- [2] 王德宽：“培训仿真系统的 SimuLog 语言及模型”，《水电自动化与大坝监测》，第1期，2003年3月。
- [3] 王德宽：“OTS2000 系统的设计思想及功能实现”，《水电自动化与大坝监测》，第2期，2003年4月。
- [4] 王德宽等：“H9000 V4.0 计算机监控系统技术特点概要”，《水电自动化与大坝监测》，2007年6月，第3期。
- [5] 张毅 王德宽等：“面向巨型机组特大型水电站监控系统的研制与开发”，《水电自动化与大坝监测》，2008年1月，第1期。
- [6] 王德宽 杨叶平等：“H9000V4.0 环境下的水电厂培训仿真系统”，《水电站机电技术》，2008年6月，第3期。

作者简介：

杨叶平，男，博士研究生，研究方向为水电站仿真。

王德宽，男，中国水利水电科学研究院自动化所所长，北京中水科水电科技开发有限公司总经理，法国洛林理工学院博士，教授级高级工程师，长期从事水利水电自动化及计算机监控技术研究与管理。