

# 黑龙江省 500kV 仿真 变电站及应用

李洪波 宋丽群 (黑龙江省电力公司齐齐哈尔培训中心 161006)

**摘要:** 阐述黑龙江省 500kV 仿真变电站的仿真对象、范围及程度, 仿真系统软件、硬件配置, 装置功能及应用情况。

**关键词:** 电力系统 变电站 仿真培训 应用

## 1 前言

黑龙江省近年来电力工业发展迅速。随着电网容量的不断扩大, 电网的电压等级也在不断提高, 基本上已形成了以 500 kV 输电线路为主干的网架结构。到目前为止, 已投入运行的 500 kV 变电所有 4 座, 还有 2 座正在建设当中, 因此 500 kV 变电站已在系统中处于极其重要的地位。另外, 由于我省 500 kV 变电站都是新型进口设备, 自动化水平高, 如果运行人员不能完全掌握它们, 将严重影响变电站的安全稳定运行。为此, 建设一座能完全满足 500 kV 变电站运行要求, 符合我省实际情况的仿真培训装置是完全必要的。

仿真机用于培训在世界上已有相当长的历史, 无论是物理模拟还是计算机仿真, 成功的经验告诉我们: 仿真装置是进行心智技能培训的必要而有效的手段。近年来由于计算机业的发展以及数学模型的改进完善, 建设开发功能完备、逼真度高的变电仿真装置已成为可能。

从技术经济对比来看, 研制开发 500 kV 仿真变电站符合客观实际。资料统计表明: 每年 1/3—1/4 的事故是人为造成的; 美国联邦能源管理局 1975 年 3 月的一项调查报告指出: 20%—30% 的可依靠性是靠先进技术和运行维护, 70%—80% 靠运行人员素质及技术水平。可见研制开发一座能有效提高运行人员运行水平的培训设施以避免重大事故发生的仿真装置, 其意义是重大的, 其经济效益是不可估量的。

黑龙江省电力公司非常重视人员素质的提高, 在技能培训上远见卓识。公司于 1998 年初投资 270 万元, 由齐齐哈尔电力培训中心与清华大学共同研制开发了 500 kV 仿真变电站装置, 并于 1999 年 6 月份投入使用, 取得了良好的培训效果。

## 2 仿真对象及规划

### 2.1 仿真对象

黑龙江省电力系统培训变电运行人员的实际需求出发, 选择了省网中具有代表性的大庆变电站作为仿真参考对象, 其主接线型式为主变两台自耦变压器, 中压侧有载调压, 容量为  $2 \times 800\text{MVA}$ , 电压比为  $500\text{ kV}/230 \pm 8 \times 1.5\% \text{ kV}/35\text{ kV}$ 。500 kV 侧采用 3/2 接线, 3 组完整串, 2 组双回出线, 其中 1 组本侧装有高抗。220 kV 侧为双母线带旁路接线, 1 组母联兼旁路, 1 组专用旁路, 3 组双回出线。35 kV 侧为单母线接线, 并接有 2 组无功补偿低抗和电容器。其主接线图如图 1 所示。

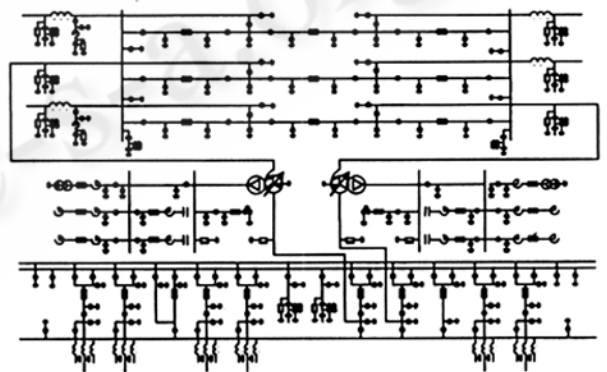


图 1 500kV 仿真变主接线图

### 2.2 电网规划

由于变电站是电网中的一个纽带环节, 不是独立存在的。要使仿真变电站逼真, 必须做好电网仿真规划。在开发中对电网规划遵循下列原则:

- (1) 以本变电站为仿真核心, 保留本所内所有一、二次设备。
- (2) 线路只延伸到本线末端出口, 对侧为电源的简化

为等效电源，对侧为负荷的用等值负荷代替。

按上述原则规划的等值系统，大大简化了计算量，提高了计算速度，完全满足仿真的需要，给开发带来了极大的方便，简化电网系统如图2所示，规划后潮流分配如表1所示。

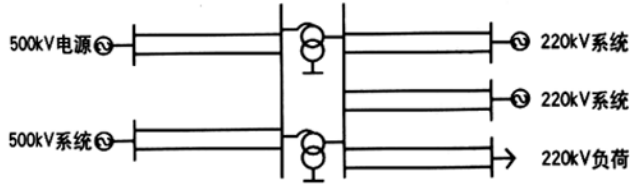


图2 简化电网系统图

表1

线路	中哈线	中齐线	中北线	中春线	中火线
工况1	-200MW	+800MW	-200MW	-250MW	-150MW
工况2	+200MW	+800MW	-350MW	450MW	-200MW
工况3	+400MW	+200MW	-200MW	-250MW	-150MW
工况4	+400MW	-150MW	-80MW	-120MW	-50MW

### 2.3 仿真范围

总的原则是控制屏及保护屏(软盘台)上所有电器设备做全面仿真,变电站开关场实际设备的操作和巡视在多媒体上实现,主要仿真的设备有主变压器系统、输配电装置系统、同期并列系统、继电保护及自动装置、中央信号系统、直流系统、站用交流系统、照明系统等。

主变压器系统包括本体、调压装置、冷却系统及所属的二次控制、保护、信号、测量回路。输配电装置系统包括断路器、隔离开关(接地刀闸)、互感器、熔断器、避雷器阻波器、电容器、电抗器、线路等设备及其连接,以及所属的二次控制、保护、信号、测量回路。

站用交流系统包括所用变、母线等设备及其连接,以及所属的二次控制、保护、信号、测量回路。

站用直流系统包括蓄电池直流母线充电装置设备及其连接,以及所属的二次控制、保护、信号、测量回路。

继电保护包括变压器保护、线路保护、电抗器保护、电容器保护、母线保护等,装置型式有微机保护、集成电路保护、电磁型保护等。自动装置有重合闸和备用电源投入等。中央信号包括灯光信号和音响信号,同期系统包括同期装置、仪表和同期把手,照明系统仿真正常照明和事故照明。

### 2.4 继自装置配置

黑龙江省500kV仿真变电站保护完全按着现有运行变电站保护配置进行仿真,配置的保护有:

(1) 主变压器: 差动保护、瓦斯保护、(高、中)阻抗保护、(500kV、220kV)零序方向保护、(主变公共线圈零序、35kV)过流保护、35kV接地保护、有载调压瓦斯保护、压力释放阀保护、过动磁保护、温度过高保护、油位保护、主变强油保护等。

(2) 500kV线路: 分相差动保护、高频闭锁距离保护、高频保护、距离保护、零序方向保护、失灵保护、短引线保护、非全相保护、综重。

(3) 高压电抗器: 差速断保护、差动保护、瓦斯保护、过电流保护、偏移功率方向保护、压力释放阀保护、温度保护、油位保护、小电抗器过负荷保护。

(4) 500kV/220kV母线: 母差保护。

(5) 220kV线路: 高频保护(光纤差动保护), 零序电流保护、距离保护、失灵保护、非全相保护、综重。

(6) 低压电抗器: 速断保护、过流保护。

(7) 电容器: 速断保护、过流保护、过压保护、低压保护、断相保护。

(8) 所用变: 瓦斯保护、速断保护、过流保护、零序电流保护。

## 3 仿真系统配置

### 3.1 硬件配置

500kV仿真变电站硬件配置主要由三大部分组成: 主要包括: ①计算机系统和网络部分; ②输入/输出(I/O)接口部分; ③盘台部分。其结构如图3所示。

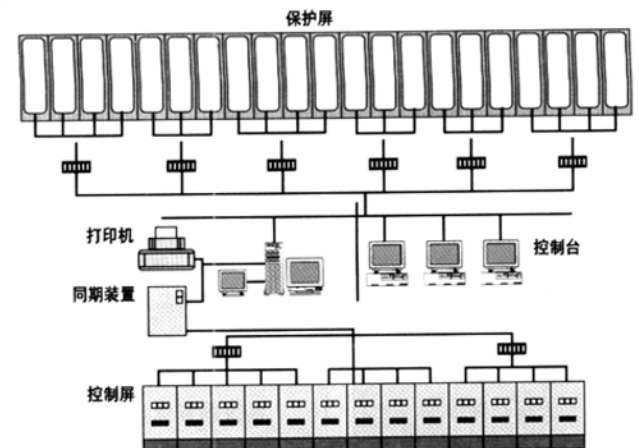


图3 硬件系统结构图

计算机系统是由一台(AU433)工作站和三台(PII)微机组成,用双绞线通过网络集线器连网,它们分别作为教控台、学员台和多媒体台。该系统还配有2台终端服务器,1台中西文工程师终端和2台打印机作为监控打印。

输入/输出接口部分是由9台分布式智能型下位机组成,选用STD5000系列工控机型,与主机通过RS-232串行异步实现通信,串行异步通信口由终端服务器提供。每台下位机的CPU板上的EPROM都有下位机程序,实现信息转换。其中,模出通道点量188个,开出通道点量2600个,数出通道点量216个,开入通道点量2750个,模入通道点量9个,总计5775个通道点量。

盘台包括13块控制屏、18块保护屏、3块所用交直流屏,共计34块。盘台上安装有仿真变电站分所有操作部件(开关、按钮、压板、切换片、电流端子、电位器等)和显示部件(仪表、指示灯、光字牌、数码管等)。同期装置、调光装置、液晶显示装置等部分也装在其上,形成一整体。

### 3.2 软件配置

仿真系统软件包括系统软件、仿真机支持软件和仿真机应用软件等部分组成。

主机系统采用汉化OVMS操作系统,DECWindow、MOTIF(汉化)系统软件,网络协议TCP/IP,以及FORTRAN、C、C++等高级语言。微机随机软件有系统软件Windows95、操作系统LINUX和VB语言。

仿真机开发支持软件有实时数据库管理系统软件、图形调试支持软件、点量数据管理软件,图形编辑软件以及应用程序管理软件。

仿真机应用软件包括仿真对象模型软件、教控台软件、学员台软件、多媒体台软件、图形软件、输入/输出通信软件。应用软件系统结构图如图4所示。

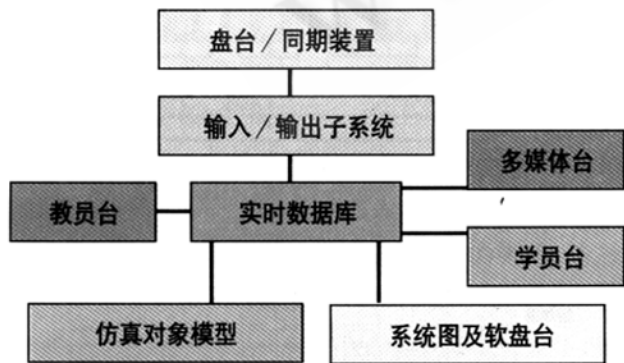


图4 应用软件系统结构图

## 4 仿真机功能

### 4.1 仿真培训功能

(1) 监视功能:用于监视一、二次设备正常及异常,包括仪表、监视灯、光字牌、警报等。

(2) 巡视功能:在多媒体系统上可进行规程规定的各种项目的设备巡视,配有图象和声音,并附有必要的文字说明。还可在实际设备视景图象上识别设备的正常或异常状态。

(3) 操作功能:可在学员台、教控台或多媒体台的图形(图象)上进行一、二次设备的各种正常操作和误操作,也可在控制屏和保护屏上进行一、二次设备的相关操作,操作结果与实际现场完全相同。

(4) 故障仿真:包括主变故障、开关故障、刀闸故障、互感器故障、线路故障、中央信号故障、继自装置故障、所用交直流故障等影响设备正常运行的各种情况。

(5) 事故仿真:事故仿真分为误操作事故和人为设置事故两类。误操作事故包括带负荷拉/合刀闸,带地线合刀闸、带负荷合地刀等。设置事故很多,主要考虑事故种类、事故性质,事故地点、保护及开关状态等因素,在设置时这些因素可综合考虑。

### 4.2 支持功能

(1) 教控台的功能:教控台主要有运行控制、运行管理、培训管理及下位机诊断四项功能。

控制功能主要有运行/冻结/复位/停止、快速/慢速、工况调入/开关检查、倒回/重放、事故记录/打印、快照/删除、故障设置/删除/一览表等。

运行管理包括参数显示/曲线显示/图象显示/记录显示、图形操作控制/对侧电源控制等。

培训管理由成绩评定、教案生成、操作票生成、教学帮助等部分组成。

下位机诊断有自动查盘、循环查盘和选择查盘三种查盘形式。

此外还有一台工程师终端,除具备教员台所有功能之外,还具有对仿真模型的开发、修改、调试及维护的功能。

(2) 学员台的功能:参数显示/曲线显示/图象显示/记录显示/状态显示、图形操作等功能。

(3) 就地台功能:通过多媒体实现,它包括设备巡视、设备操作,设备动作显示、事故过程演示、操作票打印等功能。

## 5 仿真机性能

本仿真机总体设计是遵循实用性、先进性的原则,达到仿真范围广、功能齐全、技术先进、性能稳定、实用真实、人机界面友好。其技术特点是:

### 5.1 建立了完整准确的数学模型

数学模型是基于电力系统理论建立的机理数学模型,它全面反应了电力系统机电暂态和稳态全过程,使仿真机可以逼真、全面地描述电网的运行状态和过程。

### 5.2 采用实时故障计算,实现了变电站系统的复杂故障仿真

本仿真机除可仿真误操作外,还可以仿真类型繁多、数目可观的自然故障和事故。它们的设置是按故障类型、地点、性质、保护状态、开关状态、控制电源状态等因素组合而成的。仿真事故可多达5000个以上。

### 5.3 与采用逻辑启动的继电保护仿真不同

本仿真的保护基本上都是采用所计算出的故障电量启动的。对微机保护的液晶输出进行了仿真,这在同类产品中是独有的。此外,还实现了微机保护输出信息的随机打印。

### 5.4 生动逼真的多媒体影像仿真

在设备操作、事故工况下,多媒体显示现场图像。所显示的操作过程真实,事故场面形象逼真,可以增强培训效果。

### 5.5 仿真机逼真度高

由于采用了暂态计算模型,可以仿真变电站局部网的稳态、动态工况。并达到实时。快过程模型运算周期为0.04S,慢过程模型运算周期为0.1S,所以对受扰动后的动态过程中的电量变化、仪表摆动、信号指示、继电保护动作等行为可达到十分逼真的仿真效果。

经专家鉴定认为该仿真机技术性能达到国内领先水平。

## 6 仿真机应用

### 6.1 仿真机应用范围

本仿真变电站是针对500 kV变电站运行人员及运行管理人员的培训而开发研制的。在本装置上可以进行变电运行设备巡视、变电运行倒闸操作及变电运行事故处理等三方面培训。

其中设备巡视可进行变压器、断路器、隔离开关、互感器、电抗器、电力电容器、避雷器、阻波器、母线、所用交流系统、直流系统、继自装置主要巡视项目的培训。

倒闸操作可进行电压互感器、所用变、电容器、电抗器、线路、专用旁路线送线路,母联兼旁路代送主变、母联开关串代线路、单母线、双母线、变压器及全所停电电等倒闸操作培训。

事故处理可进行所用交流消失、线路跳闸、直流消失、小电流接地系统单相接地、中央信号异常、一次设备接点过热、充油设备油位异常、直流接地、主变瓦斯动作、保护装置异常、电力电容器跳闸、母线电压消失、越级跳闸及全所停电等事故和异常培训。

### 6.2 仿真机应用

教学培训:本仿真变电站可进行各种倒闸操作,演示各种事故现象并进行事故处理。投运以来先后为黑龙江、吉林、河北等省培训各类学员300多人,反馈意见一致认为这是一种效果好、见效快的无可替代的培训手段。

技能鉴定:本仿真变电站具备技能鉴定功能,满足电力部颁发的工人技术等级技能标准,可进行工人技术等鉴定考核。现已为黑龙江、河北等省开展了技师资格考试,一致反应良好。

专业竞赛:本仿真变电站功能齐全,仿真效果好,适合进行变电专业人员技术业务竞赛。先后举办全国、省、市各级变电运行竞赛多次,均获圆满成功。

事故反措:在实际变电站反事故演示和预想中,运行人员只是在纸上空对空的演习,缺乏真实感,收效不明显。利用仿真变电站进行反事故演习,形象逼真,达到事半功倍的效果。

## 7 结束语

黑龙江省500 kV仿真变电站是一座仿真对象典型、仿真范围广、逼真度高、功能齐备的仿真装置。它给黑龙江省电力公司乃至全国电力运行人员提供了一种先进的培训手段,彻底改变了传统的培训模式。它的应用大大提高了培训效率,极大增进了培训效果,并在岗位定级,技术竞赛及反措演习中起到很大作用。相信它的使用必将在提高我省变电运行水平、确保电网安全、提高劳动生产率等方面发挥巨大作用,也一定为我省乃至全国带来不可估量的经济效益和社会效益。■