

地下变电站虚拟现实仿真系统的研究

冯岱鹏¹, 胡炎¹, 邵能灵¹, 金红核², 袁成², 林尉², 陈康铭², 崔鹏程²

(1. 上海交通大学电子信息与电气工程学院, 上海 200240; 2. 上海市超高压输电变电公司运行西部, 上海 200063)

摘要: 地下变电站全部采用室内封闭式组合电气设备(GIS), 其电站环境也是封闭式的, 因此需要大量工业辅助设备保证其安全运行, 与常规变电站相比对运行人员提出了更高的要求。利用三维造型软件和虚拟开发平台对复杂的地下变电站运行环境进行虚拟再现, 针对地下变电站的特点对学员进行地下变电站日常巡视、操作和事故处理等仿真培训。经测试, 该培训系统扩展性好、真实感强, 可模拟变电站的扩建和改造, 在虚拟变电站中进行变电设备的在线编辑, 满足地下变电站长期规划下的仿真培训需要。

关键词: 地下变电站; 仿真培训系统; 虚拟现实; 建模; 工业辅助设备; 组态

Research of underground substation simulator based on virtual reality

FENG Dai-peng¹, HU Yan¹, TAI Neng-ling¹, JIN Hong-he², YUAN Cheng², LIN Wei², CHEN Kang-ming², CUI Peng-cheng²

(1. Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China;

2. Shanghai High Voltage Transmission Co., Ltd, Shanghai 200063, China)

Abstract: With the application of gas insulated switchgears(GIS)and closed environment, an underground substation requires a large number of industrial auxiliary equipments to ensure secure operations, which furtherly requires more capable operators than a conventional substation does. The paper introduces the design of a platform for simulating the complicated operating environment of an underground substation by utilizing AutoCAD, 3ds Max, and Virtools. The platform can offer students various trainings including routine inspection, operation and contingency handling according to the unique characteristics of an underground substation. Tests prove that the platform has good expansibility and strong sense of reality. It enables expansion and reformation of the virtual substation and allows on-line editing of the virtual equipment, which meets the operator training needs for an underground substation subject to long-term planning changes.

Key words: underground substation; training simulator; virtual reality; modeling; industrial auxiliary equipment; configuration

中图分类号: TM743 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)11-0090-04

0 引言

虚拟现实技术利用软件技术通过三维影像、三维动画、声音等多媒体表现形式^[1-2], 来对现实世界进行重现。将虚拟现实技术应用到变电站仿真培训系统中, 对变电站场景和电气设备进行三维建模, 并构建虚拟的变电站运行环境。培训人员在虚拟的变电站环境下可以模拟在运行条件下的安全巡视、倒闸操作和事故处理等变电站运行人员的日常工作, 让学员有身临其境的感觉, 从而提高学员的操作技能和事故处理能力^[3-4]。三维虚拟现实仿真培训

系统弥补了二维仿真培训系统不真实、不直观的缺点, 也避免了利用真实电气设备进行培训的高投入和危险性^[5]。

传统变电站三维仿真培训系统一般以室外高型架构的变电站作为原型, 对典型的变电站地理环境和电气设备进行虚拟仿真。随着国家电网改造的进行, 在经济发达的地区, 由于土地资源紧张, 新建变电站一般采用室内全封闭式组合电气设备, 并且出现了220 kV和500 kV电压等级的超高压地下变电站, 这也将成为以后变电站发展的大势所趋。此类新型变电站与传统的室外高型架构变电站相比, 在电气设备的巡视、操作和故障处理方面有着很大的区别。特别对于地下变电站来说, 由于其特殊的建筑结构和安装布局, 需要大量的工业辅助设备来保

基金项目: 新世纪优秀人才支持计划资助; 上海市曙光计划资助项目(07SG11)

障变电站的安全运行。考虑到这些工业辅助设备的重要性, 对其进行操作和巡视的仿真培训也是非常必要的。

1 系统功能介绍

本仿真培训系统主要包括变电站编辑、设备异常设置、变电站巡视、设备操作和技能培训评估五个基本功能。培训教员首先根据变电站的运行现状, 在培训系统的编辑模式下对变电站的三维虚拟场景进行组态, 内容包括: 变电站的场景、变电设备和其它辅助工业设备。接下来, 根据培训需要, 培训教员在教员平台对虚拟变电站中的电气设备进行异常设置。

在整个初始化工作完成后, 进入培训系统的运行模式。这时, 学员就可以在搭建好的虚拟变电站环境下模拟日常的巡视工作, 对变电站的各个巡视点进行巡视。在巡视过程中, 学员可以根据虚拟设备各组件的外观以及声音等信号来判断设备是否发生异常, 并进行记录。同样, 学员也可以模拟日常变电站运行人员的典型操作, 对虚拟的变电站设备进行操作, 例如变压器档位调整、倒闸操作等。在培训完成后, 由培训教练根据学员的巡视以及操作记录, 对学员的各项技能进行评估, 从而完成整个培训过程。

2 方案设计

2.1 系统结构

根据系统功能的需要, 整个培训系统分为教员平台和学员培训平台, 对两个平台设置不同的管理权限, 在教员平台除了具备学员平台的基本功能外还可以进行电气设备的接入、退出、故障设置。

教员平台和学员平台之间通过数据库进行信息传递和数据交互, 以实现培训项目的设置和培训结果的反馈。在具体的硬件实现中, 采用教员机和学员机的配置, 之间通过以太网来实现数据共享和交互。每个平台又分别由二维仿真部分和三维仿真部分组成。其中, 二维仿真监控部分模拟变电站的后台监控系统, 包括对虚拟变电站的遥测、遥信、遥调、遥控的四遥操作以及五防操作闭锁的学习; 三维仿真对变电站的电气设备和运行环境进行虚拟再现, 学员在此平台下对虚拟的电气设备进行日常巡视、操作和故障处理。

2.2 建模分析

变电站仿真培训系统一般以具体的变电站为原型, 当变电站由于容量不足、设备老化等问题需要进行设备的更换或扩容时, 培训系统必须根据变电

站现状同步地进行虚拟设备的更换或扩容, 从而实现变电站运行环境完全真实的再现。传统三维仿真培训系统一般采用对系统进行升级或者维护的方法来解决变电站电气设备的修改或增删, 这大大降低了培训系统的扩展性和适用性。本文提出一种对电气设备完全对象化的建模方法。根据建模对象的外部形状、物理特性和电气特性的不同特点, 对变电站场景和各类电气设备分别进行三维建模和物理、电气行为的设计。根据不同的建模要求, 将虚拟变电站的建模对象进行分类, 如图 1 所示。

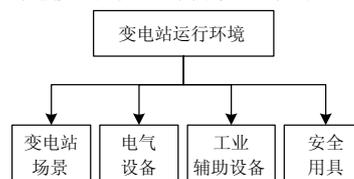


图 1 建模对象分类示意图

Fig.1 Schematic diagram of object modeling classification

由于地下变电站工业辅助设备相对于常规变电站的特殊性和重要性, 重点对其进行建模分析。地下变电站的工业辅助设备由制冷和通风系统、补给水处理系统、循环冷却水系统和排水系统四个工业系统组成, 与其他建模对象相比, 它有以下特点:

(1) 各类工业辅助设备间电气行为和三维模型差异较大, 不能使用统一的建模方法且模型难以复用。

(2) 工业辅助设备多为管状和网状分布, 对于地理位置信息的处理较为困难。

(3) 工业辅助设备的操作和巡视部分多为仪表和阀门, 且各类仪表和阀门可复用。

(4) 辅助设备的主体部分多为建筑结构的一部分, 且设备更换的几率小。

因此, 针对工业辅助设备以上的特点, 采用了一种特殊的方式来对其进行建模。即各类工业辅助设备的仪表和阀门部分采用和电气设备一样的建模方法, 进行电气行为特性的建模并配置数据接口, 而设备的其他部分作为变电站场景的一部分只进行外型、材质、碰撞检测等三维形状和物理特性的建模。

3 场景建模

地下变电站采用地下多层的桶体建筑结构, 与传统的地上变电站相比, 空间更为紧凑, 结构更为复杂。因此, 在三维虚拟变电站的开发过程中, 对地下变电站场景的建模是很重要的一个开发环节。为了使构建的虚拟变电站更加真实, 增加学员培训

过程中的沉浸感。变电站场景的建模以某 500 kV 地下变电站的建筑 CAD 模型为原型，在建筑结构和布局上力求和真实的地下变电站保持一致。事实证明，这种建模方法可以大大缩短系统的开发周期。

由于CAD模型注重模型的几何准确性，采用精确的数学形式来表达模型的几何信息，并且其模型中还包含大量工程设计信息，造成其模型复杂程度远大于3D模型。而对于3D模型的要求是在保证建筑模型的真实性的前提下，尽量减少模型的复杂性，降低计算机的计算量，以满足对于虚拟场景实时交互的要求。因此，采用将CAD模型导入3ds Max编辑环境下的方法，对模型的冗余信息进行过滤。

经3ds Max软件修改过后的3D模型，只保留了模型的空间几何信息。要使得创建的三维模型更加逼真，需要利用3d Max进行材质的渲染，包括模型表面的色彩、纹理、光滑度、透明度、反射率、折射率、发光度等。在具体开发过程中，采用基本材质编辑和表面贴图结合的方法，来再现建模对象真实的材质细节。

这时的变电站场景模型已经具备了真实变电站建筑的外型特征，接下来需要将三维模型由3d Max软件导入到Virtools中。在Virtools的编译环境下，对三维模型赋予物理特性和灯光等外部环境因素，例如对地板和墙体进行碰撞检测的设定，防止在虚拟巡视过程中发生穿越建筑物的情况。

图2表示对建筑结构进行建模的过程。

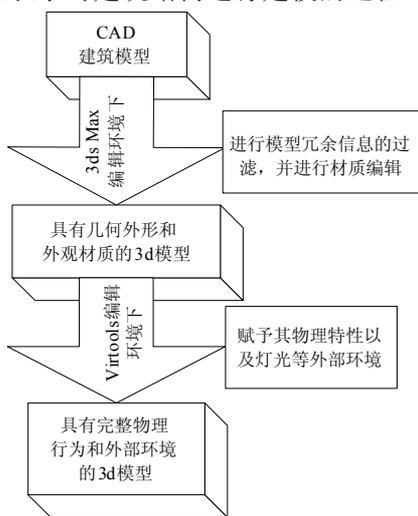


图 2 变电站场景的建模流程图

Fig.2 Flow chart of substation scenes modeling

图3为对某500 kV地下变电站筒体结构其中一层场景建模的俯瞰图。

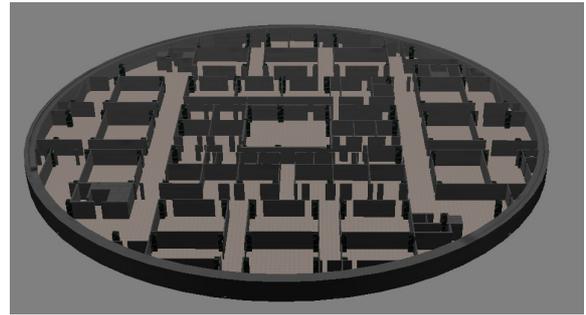


图 3 某 500 kV 地下变电站三维虚拟环境

Fig.3 3D virtual environment of a 500 kV underground substation

4 组态功能的实现

传统的三维虚拟变电站仿真系统一般只由驱动程序来组成^[6]，主要包括场景显示、场景漫游和设备状态变化的功能。如果需要对虚拟变电站的场景或者设备进行修改或者增删的时候，就必须对整个驱动程序进行修改，因此对传统的仿真培训系统进行维护是非常不便的。本文介绍的三维虚拟变电站仿真培训系统增加了系统组态功能的开发，在组态工具下可以实现对虚拟变电站设备的在线编辑。

4.1 虚拟电气设备的封装

首先，将在 3d Max 下编辑好的三维模型以角色(character)的格式导入 Virtools 软件，对其进行物理行为和电气行为的脚本设计，并设计数据接口。以变压器模型为例，其物理行为主要包括碰撞检测和各种异常的表现，例如瓷瓶开裂、冷却风扇停转等行为。

然后，对虚拟变压器配置数据接口，以实现设备与外部的电气联系和数据交互，主要包括设备的基本信息、电气量、物理状态标志以及和虚拟监控系统进行交互的一些数据标志。在 Virtools 中这些信息都是以数组(array)的形式来存储的，表 1 所示为存储变压器操作信息的数组。

表 1 变压器操作信息表

Tab.1 Table of transformer operation information

状态	验电	挂牌	操作标志	就地/远方
运行	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE

最后，将编辑好的三维模型、行为脚本以及数据在 Virtools 下保存为.nmo 格式的文件，这即可以作为一个封装好的虚拟设备。封装好的虚拟电气设备，具备与真实电气设备相同的物理和电气逻辑行为，将其放入设备库中，作为独立的行为对象进行调用。

封装好的虚拟变压器设备如图 4 所示。

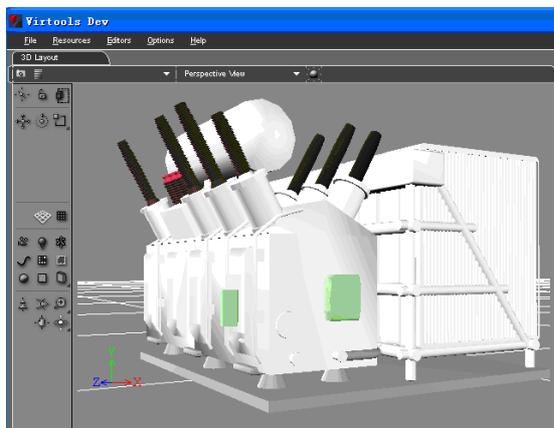


图4 虚拟变压器模型

Fig.4 Virtual transformer model

图5为虚拟变压器中封装的故障表现脚本,以冷却系统故障为例,当Test Cell脚本检测到数据库中表示冷却系统故障的标志位为1时,触发动作脚本,虚拟变压器作出对应的物理行为,即风扇停止转动。

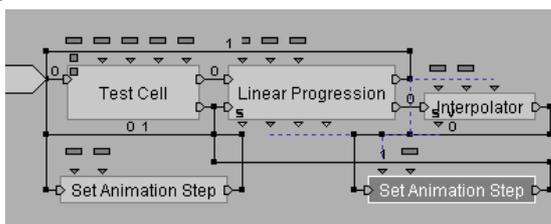


图5 变压器冷却系统故障表现脚本

Fig.5 Script of transformer cooling system fault

4.2 在线编辑功能

本系统在教员机上开发了在线编辑功能,提供虚拟变电站设备的组态工具。将封装好的虚拟电气设备作为元件存放于设备库,在编辑模式下通过读取设备库实现对虚拟设备的调用。

以载入新设备为例,在Virtools下可以通过object load脚本来实现。新载入的设备作为一个独立的角色来进行处理,可以对它的位置和角度进行变换。固定好位置的设备,对其地理坐标信息进行保存,并对设备进行命名,坐标信息和设备名称将通过Server模块存入数据库中。

虚拟变电站的电气设备状况以及具体每个虚拟电气设备的地理位置、电气连接、运行状态和巡检记录等内容,都以表的形式在数据库中进行存储。因此,当对三维虚拟变电站的电气设备进行编辑时,数据中存储电气设备信息的表格也应当进行相应的增删操作。为增加系统的运行效率,本仿真平台只与数据库中的设备总表进行读写操作。具体实现方法是以设备名称作为主键当作设备的唯一标识,通

过外挂程序来实现设备总表与设备故障信息表、巡视信息表等的同步。同时,向二维监控系统发送信息,以激活监控系统中对于此电气设备的各项操作和功能模块。

5 结论

地下变电站封闭的运行环境和GIS电气设备与常规变电站相比在巡视、操作、故障处理等方面都有不同,对运行人员的专业知识和操作技能提出了更高的要求。本文介绍的三维虚拟地下变电站仿真培训系统采用模块化的方法完成系统主要结构的开发,真实、直观地表现了地下变电站的值班环境和工作内容。变电站的组态编辑功能,方便对已构建的虚拟变电站进行修改,提高了培训系统的灵活性。并且,本系统采用完全对象化的方法进行开发,开发周期短,可复用性强,是一种比较理想的三维仿真系统开发方式。

参考文献

- [1] 谢成, 胡炎, 邵能灵, 等. 基于可扩展对象库的变电站三维仿真平台[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(6).
XIE Cheng, HU Yan, TAI Neng-ling, et al. A tridimensional substation simulation platform based on extensible object collection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(6).
- [2] 张炳达, 张瀑. 虚拟现实开发平台在变电站仿真系统中的应用[J]. 高电压技术, 2008, 34(2): 338-341.
ZHANG Bing-da, ZHANG Pu. Application of virtools in substation simulator[J]. High Voltage Engineering, 2008, 34(2): 338-341.
- [3] 陈天翼, 邱家驹, 邱淘西. 电力系统虚拟现实场景开发研究[J]. 电力系统及其自动化学报, 2000, 12(5): 7-10.
CHEN Tian-yi, QIU Jia-ju, QIU Tao-xi. Pc-based VR environment of a power system training system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 12(5): 7-10.
- [4] 杨东. 变电站仿真培训系统一次设备数据平台的研究与开发[D]. 保定: 华北电力大学, 2003.
- [5] 梁旭, 张萍, 胡明亮, 等. 基于实时仿真技术的变电站数字物理混合仿真与培训系统[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(10): 79-81.
LIANG Xu, ZHANG Ping, HU Ming-liang, et al. Hybrid simulating and training system of substation based on real-time simulation technology[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(10): 79-81.
- [6] 张照彦, 段新会, 王兴武, 等. 虚拟现实在变电站仿真中的应用[J]. 计算机仿真, 2008, 25(2).

(下转第 103 页 continued on page 103)

- [2] 杨素佳, 滕乐天. 以计量点为基本户数的供电可靠性评价的实践[J]. 上海电力, 2001(5): 8-10.
YANG Su-jia, TENG Le-tian. The practice of power supply reliability evaluation with measurement point as basic user number[J]. Shanghai Electric Power, 2001(5): 8-10.
- [3] 曾杰峰, 刘超. 论中低压供电可靠性管理系统[J]. 供电技术, 2008(2): 47-50.
ZENG Jie-feng, LIU Chao. Discussion on power supply reliability management system of medium and low voltage[J]. Power Supply Enterprise Management, 2008(2): 47-50.
- [4] 吕春泉, 贾伟. 供电可靠性统计向低压网络扩延的研究及其实现[J]. 电网技术, 2000, 24 (3): 63-65.
Lü Chun-quan, JIA Wei. Extension of power supply reliability statistics through to low voltage networks and its implementation[J]. Power System Technology, 2000, 24 (3): 63-65.
- [5] 周小波, 宗明. 低压用户供电可靠性统计评价系统的功能与实现[J]. 上海电力, 2004(3): 216-219.
ZHOU Xiao-bo, ZONG Ming. The function and its implementation of power supply reliability statistics and evaluation system[J]. Shanghai Electric Power, 2004(3): 216-219.
- [6] 陈禄. 点检定修与状态检修模式的应用推广探讨[J]. 电力安全技术, 2009, 11 (5): 3-4.
CHEN Lu. Discussion on the application and promotion of point test repair and condition-based maintenance model[J]. Electric Safety Technology, 2009, 11 (5): 3-4.
- [7] 宋云亭, 张东霞, 梁才浩, 等. 南方电网“十一五”城市供电可靠性规划[J]. 电网技术, 2009, 33(8): 48-54.
SONG Yun-ting, ZHANG Dong-xia, LIANG Cai-hao, et al. Power supply reliability planning for urban power network of China Southern Power Grid[J]. Power System Technology, 2009, 33 (8): 48-54.
- [8] 谢开贵, 王小波. 计及开关故障的复杂配电系统可靠性评估[J]. 电网技术, 2008, 32 (19): 16-21.
XIE Kai-gui, WANG Xiao-bo. Reliability evaluation of complex distribution system taking switch faults into account[J]. Power System Technology, 2008, 32 (19): 16-21.

收稿日期: 2009-07-12; 修回日期: 2009-08-20

作者简介:

袁德富 (1982-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统可靠性与规划; E-mail: defu.yuan@scut.edu.cn

张勇军 (1973-), 男, 博士, 副教授, 主要从事电力系统优化规划与控制、可靠性和HVDC等研究;

李邦峰 (1968-), 男, 教授级高工, 硕士, 从事电网调度与运行研究。

(上接第 93 页 continued from page 93)

- ZHANG Zhao-yan, DUAN Xin-hui, WANG Xing-wu, et al. Application of visual simulation system in simulation of substation[J]. Computer Simulation, 2008, 25(2).
- [7] 侯俊, 李蔚清, 林昌年. 变电站三维交互场景仿真关键技术研究[J]. 电网技术, 2005, 29 (9): 70-75.
HOU Jun, LI Wei-qing, LIN Chang-nian. Research on key technologies of three dimension interactive scene simulation for substation[J]. Power System Technology, 2005, 29 (9): 70-75.
- [8] 刘明昆. 三维游戏设计师宝典 Virtools 开发工具[M]. 成都: 四川电子音像出版中心, 2005.
- [9] 龚庆武, 姜芳芳, 陈义飞. 基于虚拟现实技术的变电站仿真培训系统[J]. 电网技术, 2005, 29 (24): 74-77.
GONG Qing-wu, JIANG Fang-fang, CHEN Yi-fei. Virtual reality technique based substation training simulation[J]. Power System Technology, 2005, 29(24): 74-77.
- [10] 邹俭, 林俊. 大型地下变电站运行问题分析及对策措施[J]. 华东电力, 2007, 35 (11) .
ZOU Jian, LIN Jun. Operational problems for large underground substations and relevant counter measures[J]. East China Electric power, 2007, 35 (11) .
- [11] 杨春, 李昌国, 张晓林, 等. 基于 3D 和 Virtools 技术的虚拟实验的实验数据分析研究[J]. 计算机工程与设计, 2007, 11 (28): 2589-2591.
YANG Chun, LI Chang-guo, ZHANG Xiao-lin, et al. Research on experimentation data analysis of virtual experiment based on 3D and Virtools technologies[J]. Computer Engineering and Design, 2007, 11 (28): 2589-2591.

收稿日期: 2009-07-01; 修回日期: 2009-09-01

作者简介:

冯岱鹏 (1983-), 男, 硕士, 研究方向是继电保护、电力系统仿真; E-mail: caniggia0710@sjtu.edu.cn

胡炎 (1975-), 男, 博士, 高工, 主要研究方向为电力二次系统安全防护、电力系统和保护仿真、调度自动化技术等;

邵能灵 (1972-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事电力系统继电保护及电力市场的研究工作。