

Introduction to the Application of NPP Multi-Function Simulator in Talents Training

Yifei Feng¹, Jie Lou²

¹Technical Service Dept. of China Nuclear Energy Association, CNEA, Beijing

²Training Center of China Nuclear Power Operations Co., Ltd, CGN, Shenzhen Guangdong

Email: fengyf0822@163.com, 594295229@qq.com

Received: May 29th, 2017; accepted: Jun. 19th, 2017; published: Jun. 22nd, 2017

Abstract

This paper summarizes a large number of demands of talents cultivation in nuclear power under the current domestic development circumstances of nuclear power, and illustrates the importance of simulators in strengthening the talent team construction of nuclear power industry. Through taking an investigation about the development status of the NPP simulators, the paper contrasts the various types of simulators, and presents to make the advantages of multi-function simulator. Finally, the paper puts forward to the feasibility of expanding the application of multi-function simulator, and proposes some suggestions.

Keywords

Nuclear Energy, Talent Training, Multi-Function, Simulator

浅谈核电站多功能模拟机在人才培养中的应用

冯一斐¹, 楼捷²

¹中国核能行业协会, 北京

²中广核核电运营有限公司, 广东 深圳

Email: fengyf0822@163.com, 594295229@qq.com

收稿日期: 2017年5月29日; 录用日期: 2017年6月19日; 发布日期: 2017年6月22日

摘要

概述了当前国内核电发展形势下大量的核电人才培养需求, 说明了模拟机在加强核电行业人才队伍建设方面的重要性, 调研了核电站模拟机的发展现状, 对比各种类型的模拟机, 并结合实践, 提出充分发挥

多功能模拟机的各项优势, 拓展其应用前景的可行性, 并提出了思考和建议。

关键词

核电, 人才培养, 多功能, 模拟机

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

近年来在国家安全高效发展核电的积极政策引领和支持下, 我国在世界核电发展大潮中已经走在了前列, 正在从核电大国向核电强国迈进, 核电设计、设备制造领域均获得了很大突破, 核电自主化技术频频取得可喜成绩, 在核电机组安全运行业绩良好, 为我国核电事业的积极健康可持续发展奠定了坚实的基础, 核能也成为我国未来实现能源可持续发展的必然选择。

核电发展, 人才先行。在知识经济时代, 一个行业的发展竞争归根结底是人才的竞争。企业要想健康可持续发展, 必须要搞好人才队伍建设, 根本就是要做好人才的培养培训工作。目前, 核电正处于蓬勃发展期, 从电站设计、设备制造、建造、调试、运行以及退役等核电行业发展的各个环节, 都迫切需要大量的人才。各核电业主从高校招聘新大学生, 并组织开展为期 3~6 个月的核电专项知识培训, 涉及核电站所有工作领域的理论知识。但据某核电站培训管理人员表示, 这种填鸭式的培训与大学生在校教育并无太大差异, 收效甚微。这些员工进入核电站后, 还需要较长的培训周期才能正式进入岗位。

目前, 核电站的人员培训体系是我国核能行业最完善的, 在建设期间就逐步开发覆盖所有岗位的培训大纲, 配备齐全的培训设施。核电站运行人员因其岗位工作的复杂性、高技术难度性以及承担重大核安全风险的特点, 必须经过严格筛选、培训, 具备一定的资格和能力后才能上岗, 培养周期一般达 4~7 年, 培训费用也十分高昂, 早期有“黄金人”之称, 在操纵员培训过程中, 核电站仿真机是必不可少的培训设施, 我国核安全法规 HAF103 也规定核电站操纵员必须通过核电站全范围仿真机的学习、培训和考试才能取得相应执照。

由此可见, 仿真机是提高运行人员专业水平和能力的非常行之有效的培训工具。但值得一提的是, 核电站除运行人员外, 还有诸多重要岗位如调试、运行、维修、技术支持等, 这些员工在运行核电站中也承担着重要的核安全责任。2016 年 10 月, 国家核安全局通报了 16 起核电厂人员行为导致的典型运行事件(国核安函[2016]122 号), 其中有 4 起是因运行人员操作不当引起的运行事件, 而其余 12 起则是由维修人员、调试人员、检修人员等误操作引起的, 可见在核电站运行期间, 不仅是运行人员, 其他岗位人员的技能水平也是非常重要的, 应该引起重视。从我国每年度运行核电厂事件经验反馈年报的分析结果来看, 近年来, 无论是按照事件属性还是事件发生的直接或根本原因来区分, 人因事件占比一直居于前 2 位, 其中非运行人员居多。

因此, 本文在调研核电站仿真机发展现状的基础上, 梳理不同类型的核电站仿真机, 结合多功能仿真机的应用实践, 浅谈其在核电人才培养体系中大力推广的可行性, 并提出作者的观点。

2. 核电站仿真机的发展现状

核电站仿真机也称核电站模拟机, 是基于核动力仿真技术的发展应运而生的。核动力仿真技术自 20 世纪 60 年代在美国开始迅速发展, 并随着核电事业和科学技术的发展逐步完善, 我国的核动力仿真技术

自 1991 年起步，由中国核动力运行研究所为秦山核电厂研制出第一台原理性培训仿真机。目前，仿真技术在核动力系统的设计、建造、调试、运行、培训、核安全分析和规程验证等方面发挥着重要作用，其对世界核能事业的贡献得到业内广泛认可。

核电站仿真机经过几十年的发展，不仅开发出了成熟的全范围模拟机，一些具有特定用途的仿真机也不断被研制成功并投入应用，如按照仿真机模拟范围和深度来分类，有工程验证模拟机、原理性模拟机以及严重事故模拟机等。

全范围仿真机：参照实际电站主控室 1:1 建造，模拟范围和深度覆盖面最广，仿真实时性最高，适用于主控室操纵员的电厂操作培训和取照考试，主要是使操纵员对电厂原理和操作进行深入研究，加强其分析、判断和处理电厂故障和事故的能力。

工程验证仿真机：也称工程与电厂分析仿真机，具有模型精度高、仿真实时性高、人机界面友好、动态显示彩色图像以及输出打印、绘图、文件拷贝等功能，是一种先进的核电安全分析工具，其目的在于提高已有安全审评分析系统的工作效能。

原理性仿真机：能够充分反映核电站运行，演示核电站经常发生的各种运行工况和重要事故工况，进行系统和设备的基本操作培训。

严重事故仿真机：实时仿真核电厂各类严重事故，展示堆芯熔化、压力容器失效、安全壳失效、乏燃料熔化及放射性产物环境释放等完整的严重事故进程和现象，可为核电站的高级运行人员、应急支持和指挥人员提供严重事故培训，并可用于严重事故应急演习、规程与导则验证及缓解措施研究等。

多功能仿真机：是核电站全范围模拟机的补充培训工具，针对核电站新操纵员、管理人员以及其他运行技术支持人员，既可用于核电站物理、热工、控制和电气方面的原理培训，又可以通过电站系统的图形操作界面，实现运行操作的初级培训。

其他类型仿真机：除上述仿真机外，核电站培训部门一般也配置了其他的专用仿真培训设备，比如培训电厂换料过程的装卸料模拟机、设备操作、装配及检修仿真机等[1]。

目前，核电站仿真机的开发和应用随着核电事业的发展越来越广泛，越来越多的单位加入了核电站仿真机的研制、开发和建造领域。国际上主要的核电站仿真机承包商有美国的 GSE 公司、美国 L-3 公司、法国 CORYS 公司等，其核电仿真产品占据了欧洲、美洲以及亚洲的大部分市场，而国内核电仿真技术虽然发展较晚，但是也取得了骄人的成绩，现在主要开展核电仿真系统开发的单位有中国核动力运行研究所、中广核仿真技术有限公司、广东亚仿科技股份有限公司、保定华仿科技有限公司、清华大学、紫光仿真科技等。

3. 核电站多功能模拟机的优势

据了解，核电站全范围模拟机是核电站正常运营和培训的必要设施，建设费用通常需要 800~1000 万美元，开发周期一般为 3 年，高昂的一次投入成本和设备运行维护费用要求必须核电站合理配置资源、有效控制使用成本，目前核电站全范围模拟机主要用于操纵员的培训培养工作。原理性模拟机虽然建设成本较低，但功能单一的特点决定了其无法得到广泛的应用。综合比较上述各类核电仿真机，作者认为多功能仿真机在建造成本、功能性、应用范围等方面均有明显的优势：

(1) 依靠现代科学技术的快速发展，实现在微型计算机或工作站上完成全部仿真计算和人机界面功能的条件十分成熟，因为微处理器速度的提高使得仿真机的计算速度限制不复存在，微型计算机的内存容量也已经大大提高且可以扩充，同时微型计算机具有方便的人机接口，可实现友好的人机界面，并可以装载很多功能强大的软硬件辅助工具，使得以微型计算机为主要设备的多功能模拟机使用更加方便灵活。

(2) 相比全范围模拟机，多功能模拟机的建造价格大大降低，只有其 20% 左右，在占地规模、软硬

件设备购置费、维护维修费用等方面均有巨大的价格优势。多功能模拟机使用普通微型计算机作为平台，每台配置相应的仿真软件系统，可根据学员数量购置一定数量的微型计算机，使用投影系统来进行培训演示。在场景布置方面，单台模拟机可以进行功能范围内的仿真模拟，也可以参照全范围模拟机一拖 x 的方式，多台模拟机联合运行机组进行操作，这是多功能模拟机的特色之处。

(3) 多功能模拟机能够模拟的系统范围和深度根据用户需求可以非常接近全范围模拟机，不仅能用于核电站运行基本操作的培训演示和实际操作，而且可以较逼真的模拟绝大多数事故工况并进行工程验证和分析，解决电厂的具体技术问题。由此可以看出，多功能模拟机集中了培训、教学和工程验证等多种用途，能很好的服务于核电行业。

基于以上这些特点，核电站多功能模拟机将在今后的核电人才培养、技术问题分析和方案解决等方面得到更广泛的应用和推广。

4. 某培训基地核电站多功能模拟机的应用实践

国内某核电培训基地为满足核能行业人才尤其是核电站人才队伍日益增长的培养需求，研制开发了一套第三代核电站多功能模拟机，从人才培养角度来讲，多功能模拟机极大的丰富了培训方式，增强了培训效果。

4.1. 功能定位

该多功能模拟机主要针对预备操纵员、电厂技术类新员工、电厂管理类员工三类人才，在其学习展核电基础理论时或岗位培训过程中，通过模拟机培训加深对理论知识的理解和掌握程度。多功能模拟机教学中心教学容量根据培训需求量设计，具体功能定位如下。

4.1.1. 预备操纵员

预备操纵员可借助多功能模拟机进行比较详细的、几乎接近全范围模拟机的核电厂三类运行工况以及部分的四类工况模拟操作，教练员可对其操作的正确性做出判断，从而可以帮助预备操纵员掌握参考电站的运行规律、故障判定和处理、事故识别和处理，并可作为筛选操纵员的参考考核指标。

4.1.2. 技术(仪控、维修、技术支持等)人员

技术人员可根据需求进行针对性的系统各种运行特性的模拟操作，从而熟悉参考电站典型系统和设备的运行操作规律、故障判定和处理、事故识别和处理。

4.1.3. 管理人员

管理人员可通过模拟机教员对核电厂运行工况的演示操作，来了解参考电站的运行原理。

4.1.4. 其它人员(如研究人员和运行技术支持人员)

可通过对参考电站正常与异常运行工况的模拟研究，来分析和解决核电厂的一些技术问题。

4.2. 软硬件配置

模拟机配置 32 台计算机，其中 31 台为同等配置普通微型计算机，每台配置两台显示器，另一台为移动式笔记本，安装相同的操作系统和仿真软件系统，可进行移动式教学。模拟机同时配置有服务器、投影系统、交换机、视频矩阵切换器、分频器和打印机等相关的培训教学配套硬件设备。

通过硬件系统的配置可建立多功能模拟机局域网，在教练员站计算机设计一个应用程序，教员可根据教学需要选择在单机模式和联合运行模式之间切换，单机模式即学员独立操作自己的模拟机，联合运行模式时，若干台学员站计算机联合运行教练员站的模型主机，模拟演示主控室 2 名 RO、1 名 SRO 共

同控制一台机组执行运行任务的场景。并且, 教员可通过视频矩阵切换器和分频器等相关硬件设备监控其中几台学员站, 并将其显示屏内容投影到投影幕布上。

除此之外, 多功能模拟机教学中心还配置了保证模拟机正常运行的辅助设备, 包括供电系统、通风系统、照明系统和温湿度检测仪等。

模拟机为每台微型计算机主机安装两套系统, 一套是计算机系统, 一套是仿真软件, 仿真软件即单机版第三代核电站模拟机系统, 并在教练员站上安装模拟机维护工具, 可用于人机界面开发工作。仿真支撑软件包括: 参考电站模型软件(含过程模型和仪控模型)、教控制台软件、操纵员站软件和监视参数曲线软件等。模拟机维护工具包括: 控制模型组态软件、人机界面组态工具软件、调试工具等。

4.3. 仿真范围

该多功能模拟机能模拟电厂核岛主要系统功能、常规岛主要热力循环系统及发电机系统, 相比较参考电站的一百多个系统, 该模拟机能基本满足设计功能需要。

模拟机模拟了参考电站主控制室和就地控制的主要内容, 能进行电厂正常启停和升降功率的主要操作, 能够逼真的模拟参考电站各种正常、异常和主要的事故(包括设计基准事故)工况, 包括 I 类、II 类、III 类工况, 以及部分的 IV 类工况, 比如电厂甩负荷、反应堆脱扣、反应失去冷却剂、蒸汽发生器传热管破裂、主蒸汽管道破裂、主给水管道破裂、控制棒卡棒或落棒等。安装有模拟机维护工具的核电站多功能模拟机 还可用于控制系统和工艺系统研究和辅助设计仿真实验。

模拟机采用数字化仪控系统, 包括电厂过程控制层 Level1 和人机界面层 Level2 部分, 主要通过纯模拟的方式实现仿真, 参照不同系统的功能特性, 采用全仿、部分仿和逻辑或功能仿相结合的方式共仿真了 79 个系统。

4.3.1. 全部模拟

全仿系统共 46 个, 要求系统的部件在数量上和细节上应达到全范围模拟的要求。一般采用正常和异常运行的电厂规程时, 在控制室需要观察的设备都进行全部模拟。

4.3.2. 部分模拟

部分仿系统共 25 个, 允许减少模拟设备的数量和/或在功能/运行上进行适当简化, 集中模拟。

4.3.3. 逻辑模拟

功能仿系统共 8 个, 工艺系统不采用它们的物理和数学模型来模拟, 逻辑上的替代足够来产生要求的结果。

模拟机初步设置了 21 类故障, 通用故障主要包括阀门、泵、风机、交换器等的故障, 特殊故障共 67 个, 主要是电厂在运行过程中常见的故障类别, 不同的故障模拟通过教练员站插入模拟机, 可插入单一故障, 或进行故障组合后插入, 以模拟更复杂的干扰和故障状态。模拟机还可以进行一般的就地操作, 模拟对电厂仿真功能非常重要的阀门、电机和开关仪表的初始、最终状态以及中间过渡过程, 设定一些外部参数以及可供教练员执行的部分特殊功能。

模拟机盘台模拟通过软操来实现, 可在教练员站中打开主、次安全盘台和 DAS 盘台等盘台, 以软操或者超控的方式, 模拟对主、次安全盘台和 DAS 盘台等盘台的操作。

4.4. 性能要求

教练员模拟机具有初始条件存储和设置、故障插入和取消、就地操作以及冻结、运行、快照、回溯、设定外部参数、实时、快时、慢时以及参数监视等功能[2], 教练员可通过这些功能来改变电站某个特定

系统的状态,来达到针对性教学和培训的目的,教练员还可通过将学员模拟机显示屏画面投放到投影幕布上,讲解学员操作过程中的问题,从来把控整个培训过程。因教练员站安装有模拟机维护工具,所以具备模型开发、模型维护以及模型运行等全部功能,是用户维护仿真模型的唯一手段。

操纵员站主要供学员学习、操作,包含报警管理功能、操作员流程图功能、点信息查看功能、趋势功能、计算机化规程等,具有良好的人机界面,保护和安全监控系统的操作画面集成在操作员站的流程图模块中。

目前,该培训基地多功能模拟机已应用于各类核电管理类、技术类和新员工核电专项培训中,并且正在进一步与核电站、研究院以及工程公司等研究利用模拟机解决工程技术问题的可能性,将会大大的拓展模拟机应用。

5. 多功能模拟机的应用思考

(1) 寻求多功能模拟机的功能最大化,明确培训目标,根据培训对象的分级培训需求开发模拟机教程和教材,根据模拟范围和深度的简化情况编制规程,可直接作为操作指导用书,更加逼真的贴近于全范围模拟机。

(2) 注意开展与参考电站的经验反馈工作,参考电站开展的运行数据、文件变更等应定期对多功能模拟机进行更新升级,模拟机使用过程中的重大不符合项也应积极与参考电站沟开展交流讨论,解决发现的问题。

(3) 模拟机教员是模拟机培训成功与否的关键角色,每台多功能模拟机应至少配备两名教员,教员应经过严格筛选,具备同参考电站全范围模拟机教员同等的专业知识、工作经验和教学、管理技能水平,并定期参与参考电站组织的模拟机复训及其他教学能力培训,保证教员的知识、技能和水平不与实际脱节并不断得到改进和提高。

(4) 如前所述,核电站非运行技术岗位人员同样承担着重要的核安全责任,其知识、技能培训同样应引起足够的重视,而模拟机在理论知识和实际操作能力培养方面有着很大的优势,另一方面,除核电站外,核电设计研究院、工程公司等技术岗位,核电集团、前期项目等管理岗位都可以针对性设计模拟机培训课程。还可以考虑将多功能模拟机培训与非运行技术岗位、管理岗位的岗位能力挂钩,进行培训效果评估和认证。

(5) 相比较高昂的全范围模拟机建造和应用成本以及紧凑的教学安排,多功能模拟机可大大缓解全范围模拟机使用压力,预备操纵员可以通过多功能模拟机的培训,提前参与各项模拟机培训,提高考照通过率。但存在的问题是,相对于全范围模拟机,该模拟机存在着较大的实体逼真度和人因方面的差异,所以在使用过程中,尤其是预备操纵员培训过程中可能会导致其养成不良的操作习惯,可能会导致其在当值期间的误操作,这一点需要引起足够的重视。

6. 结束语

随着国内核电蓬勃发展之势,核电行业的人才培训需求也将越来越旺盛,多功能模拟机的应用具有强大的竞争力和优势,未来也将具有更广泛的应用市场,为我国核电人才培养起到强有力的支撑作用。

参考文献 (References)

- [1] 陈森. 核电站仿真系统开发项目管理研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2006.
- [2] 陈春丽. 数字化核电厂全范围模拟机研制方案概述[J]. 核电子学与探测技术, 2014(2): 127-130.

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：nst@hanspub.org