

湖南省大学生研究性学习和创新性实验计划

项 目 结 题 报 告 书

项目名称：基于仿真实验平台的数字化主控室操纵员软
控制操作可靠性研究

项目编号：湘教通【2016】283

学生姓名：费银亮、钟勰、洪康祯、刘准生、张伟

所在学校和院系：湖南工学院 安全与环境工程学院

项目实施时间：2016年5月至2018年5月

指导教师：邹衍华

联系电话：13974701136

填表日期：2019年4月

湖南省教育厅
2019 年 制

一、基本情况

项目名称	基于仿真实验平台的数字化主控室操纵员软控制操作可靠性研究					
立项时间	2016年5月		完成时间	2018年5月		
项目主要研究人员	序号	姓名	学号	专业班级	所在院(系)	项目中的分工
	1	费银亮	1350540236	工业工程	安工学院	资料收集 论文合作
	2	钟颢	1350540144	工业工程	安工学院	实验设计
	3	洪康祯	1350540120	工业工程	安工学院	实验数据采集
	4	刘准生	1250540227	工业工程	安工学院	数据分析
	5	张伟	1350540122	工业工程	安工学院	数据分析

二、研究成果简介

项目研究的目的、意义；研究成果的主要内容、重要观点或对策建议；成果的创新特色、实践意义和社会影响；研究成果和研究方法的特色。限定在 2000 字以内。

1. 研究目的及其意义

就世界范围而言，采用数字化控制系统(Digital Control System, DCS)将是未来核电发展的大趋势。2010 年岭澳二期核电厂顺利商运标志着国内首个自主化设计的数字化主控室的成功，与此同时部分传统核电厂也开始了数字化改造。核电厂主控室采用基于计算机技术(Computer-based Technologies)的人-系统界面(Human-System Interface, HSI)后，操纵员的认知环境和工作方式发生了很大的改变，如数字化显示(Digital Display)、计算机化规程(Computerized Procedures)的使用和软控制(Soft Control)操作等。这些人机交互方式的改变给主控室操纵员的作业行为可靠性分析带来了新的挑战。与基于模拟控制技术的传统主控室相比，在数字化主控室中操纵员需要执行大量的软控制操作来完成相应的任务（如页面配置和导航、参数阈值的调节、阀门的开关等），其软控制操作的可靠性是否能达到核电厂的安全性和经济性要求已成为亟待解决的重要课题。数字化技术的采用在大幅增强

系统功能和提升自动化水平的同时也给系统操纵员的任务执行带来了新的风险,如何有效识别并预防操纵员可能存在的软控制操作的风险对核电厂的安全运行起着至关重要的作用。因此,本项目基于指导老师所在研究团队自主开发的模拟核电厂特定场景中(如冷却剂丧失事故(LOCA)、蒸汽发生器传热管断裂(SGTR)、主蒸汽管断(MSLB)等)数字化人-系统界面对操纵员作业行为可靠性影响的仿真实验平台,选取不同教育层次、培训水平和年龄阶段的被试开展实验测量,采集用以分析和评价操纵员软控制操作可靠性的实验数据。项目的研究结果将为核电厂数字化主控室操纵员作业行为可靠性分析提供数据支持。

2. 研究成果的主要内容、重要观点或对策建议

2.1 研究成果的主要内容

(1) 采集因软控制操作失误而导致界面管理任务(如页面的导航与配置等)执行失败的频次数据;

(2) 采集因软控制操作失误而导致执行型失误(如参数阈值的调节、阀门的开关等)的频次数据;

(3) 分析识别数字化主控室中操纵员在执行软控制任务时的人误模式,并建立一种用于评价这类失误的分析框架;

(4) 建立基于贝叶斯网络模型的可靠性分析框架。

2.2 重要观点或对策建议

软控制操作是数字化主控室操纵员在人-系统交互过程中的主要作业方式,但由于大量的界面管理任务的执行使得操纵员在使用鼠标等软控制设备时容易出现人因失误。实验统计数据表明,约有15%左右的失误与软控制操作有关。

因此,有必要针对这一现象设置一些针对性的防人因失误屏障。

3. 成果的创新特色、实践意义和社会影响

3.1 成果的创新特色

(1) 用于实验的仿真平台为自主开发,可用于模拟核电厂主控室数字化人-系统界面;

(2) 解决数字化控制系统中操纵员作业行为可靠性分析数据不足的问题;

(3) 分析识别数字化主控室中操纵员在执行软控制任务时的人误模式, 并对各类人误进行重新分类。

3.2 实践意义

由于数字化技术还刚刚在核电厂采用, 许多针对数字化控制系统中操纵员作业行为可靠性的研究仍然使用的是基于模拟控制系统的相关可靠性数据, 这样的研究结果势必会存在不同程度的误差且分析精度不足。此外, 单纯依靠核电厂的模拟机实验来采集用于数字化主控室人因可靠性分析的实验数据已大大不能满足科学研究的需求。因此, 本项目基于自开发的仿真实验平台, 采集用于分析操纵员软控制操作可靠性的实验数据, 为操纵员作业行为可靠性分析提供更为可靠、有效的数据支持, 从而进一步提高人因可靠性分析的精度和质量。

4. 研究成果和研究方法的特色

4.1 研究方法的特色

对数字化核电厂主控室操纵员软控制操作的作业绩效进行了统计分析, 并识别了潜在的各种失误类型, 制定了防止操纵员在执行软控制操作过程中出现人因失误的预防措施。

4.2 研究成果

开发了数字化主控室操纵员软控制操作中的防人因失误程序, 并基于项目实验过程中所采集的数据, 发表 SCI 期刊论文 4 篇。

三、项目研究总结报告

预定计划执行情况，项目研究和实践情况，研究工作中取得的主要成绩和收获，研究工作有哪些不足，有哪些问题尚需深入研究，研究工作中的困难、问题和建议。（字数不限，可加页面）

1. 预定计划执行情况

按照预定计划完成了各项工作任务。

2. 项目研究和实践情况

2016年6月-2017年5月期间，主要工作为查阅文献资料，确定实验方案，设计实验场景，选择被试；

2017年6月-2018年5月期间，开展实验并采集实验数据，获得用于核电厂数字化主控室操纵员软控制操作行为可靠性分析的实验数据。

3. 主要成绩和收获

项目所采集的实验数据和部分研究成果作为指导老师的研究课题内容发表在4篇SCI期刊论文上（项目负责人也是合作作者）：

- **Zou Y**, Wang W, Zio E, Zhang L, Jiang J, **Fei Y**, Cepin M. An integrated framework for analysing operational events in China nuclear power plants [J]. *Annals of Nuclear Energy*, 2019, 130: 192-199.
- **Zou Y**, Zhang L, Dai L, et al. Human Reliability Analysis for Digitized Nuclear Power Plants: Case Study on the LingAo II Nuclear Power Plant [J]. *Nuclear Engineering and Technology*, 2017, 49(2): 335-341.
- Zhang L, Wang C, Zio E, et al. An improved probabilistic method for screening safety-related human actions in nuclear power plants [J]. *Nuclear Engineering and Design*, 2018, 340: 415-420.
- Zou Y, Xiao Z, Zhang L, et al. A data mining framework within the Chinese NPPs operating experience feedback system for identifying intrinsic correlations among human factors [J]. *Annals of Nuclear Energy*, 2018, 116: 163-170.

4. 存在的主要困难、问题和不足

在实验设计的方法上尚存在不足，以至于实验数据的精度及可靠性存在一定的缺陷。

5. 下一步研究工作建议

进一步完善实验设计的构架，以获得更好的人因失误预防效果。

四、经费使用情况

经费合计 16000 元。

经费支出情况：13280 元

一般业务费（含调研差旅、通信、打印复印费等）：6320 元

小型仪器设备、材料、图书资料、教学软件等购置费：1860 元

公开发表项目成果所需的审编费、版面费、项目成果鉴定、报奖、申请专利所需费用：4500 元

项目管理费：600 元

五、指导教师及学院（系）审核意见

项目指导教师对结题的意见，包括对项目研究工作和研究成果的评价等。

该项目研究工作达到预定目标，研究成果具有一定的学术意义和工程推广价值，同意结题。

负责人签章：
年 月 日

项目主持人所在学院（系）对结题的意见，包括对项目研究工作和研究成果的评价等

该项目按照研究计划完成了各项实验分析及研究，所取得的研究成果有望用于核电厂主控室防人因失误，具有较好的实践意义。同意结题。

负责人签章：
年 月 日

六、学校结题审核意见

学校对项目研究的任务、目标、方法和研究成果水平等进行评价，是否结题。

年 月 日