

数字化控制系统人机交互的复杂性对人因失误的影响研究

邹萍萍,张力^①,蒋建军^②

(南华大学 经济管理学院,湖南 衡阳 421001)

[摘要] 根据现场调研和视频观察,对数字化控制系统与传统的模拟控制系统进行了对比分析,发现数字化控制系统人机交互具有操纵员角色转变、认知负荷大、硬控制向软控制转变、人机界面交互更加丰富的特征。通过人机交互复杂性的关键因子,即操纵员因素、任务因素、界面管理因素以及操作因素,分析了它们对人因失误的影响,以期降低人机交互的复杂性提供理论支持。

[关键词] 数字化; 人机交互; 界面管理; 复杂性; 人因失误

[中图分类号] TB18 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-0755(2013)05-0078-04

在数字化技术的推动下,数字化控制系统的功能变得越来越强大,它是由人通过计算机来控制的,计算机本身就是机器,因此机器系统的双重结构导致数字化控制系统变得越来越复杂,给系统的可靠性以及安全带来一定的影响^[1]。

人机交互是操纵员获取信息、对信息进行决策及执行相关动作的过程。简单来说,操纵员在主控室执行一切行为活动都是通过人机交互这个过程来实现的。相关研究发现,WANO人因失误中仅操作失误就占了64.4%^[2],可想而知,人机交互理所当然的在人因失误中起着主导作用。1995年在美国所做的统计中,大约70%-90%事件与人机交互过程中所产生的人因事件有关,在我国核事故中大约有70%与之相关。

目前对人机交互复杂性的直接研究还比较少。1996年,张力等^[3]开始尝试描述了复杂人一机系统的特征,探讨了该系统中人因失误的定义、分类、数据采集和事故模型。黄曙东等^[4]构建了反映复杂人机系统动态与潜在失误的人误分析基本框架,从组织、操纵员、设备与机器三个部分出发分析人误的形成及其相互关系。他们提出了包含原因分析和因素分析两大模块的人误分析模型,在原因分析中着重分析组织失误的基本分类,通过对复杂系统中

可能导致风险的潜在内部与外部人员行为形成因子研究,给出了动态条件下的人误风险指数计算方法,综合反映在特定条件下不同重要度的行为形成因子对系统风险的影响。

而数字化控制系统中,由于计算机的使用使得人机交互变得不确定,并具有前所未有的复杂性特征。因此,人机交互的复杂性对人因失误的影响研究是非常必要并且亟待解决的。本文根据现场调研和视频观察,对数字化控制系统与传统的模拟控制系统进行比分析,总结出数字化控制系统人机交互的特征,并识别出人机交互的复杂性影响因素。

一 数字化控制系统中人机交互的复杂性

(一) 人机交互的特征

人机交互是指操纵员从系统中获取信息、对信息进行决策及执行相关动作的过程。数字化控制系统与传统模拟控制系统的区别主要体现在:(1)在发生事故情况下,数字化控制系统中事故规程均一步一步呈现在各显示屏上,操作人员能快速、准确、方便地执行规程,而传统的控制系统则没有这一功能,要通过翻阅大量纸质规程来实现;(2)数字化控制系统具有很高的控制精确性和很强大的逻辑运算处理、计算能力,能显著提高仪控系统的综合性能,

[收稿日期] 2013-09-22

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目“复杂工业系统数字化对人因可靠性影响的研究”资助(编号:70873040);国家自然科学基金项目“大规模数字化控制系统中人的认知行为研究”资助(编号:71071051);岭东核电有限公司科研项目资助(编号:KR70543);湖南省战略性新兴产业产学研结合创新平台创新能力建设项目“数字化工业系统人误分析与作业绩效改善技术开发及应用”资助(编号:2012GK4101)

[作者简介] 邹萍萍(1986-),女,安徽亳州人,南华大学经济管理学院硕士研究生。

①湖南工学院教授,博士生导师。②南华大学人因研究所讲师,博士。

完成以往的模拟仪控系统所无法实现的复杂逻辑运算处理和计算功能;(3)数字化控制系统需要进行大量的界面管理,如配置、导航、画面调整、查询、快捷方式等,而传统的系统画面显示空间固定连续可见,只需要较少的界面管理。

基于数字化技术的应用和发展,人机交互也更加方便和有效,总体上提高了系统的可靠性和人员绩效。但是,也会产生一定的不利影响。根据访谈、视频分析、文献阅读,从人机系统方面分析了数字化控制系统人机交互的特征,具体主要表现在:

1、操纵员角色的转变。模拟控制系统中,人机交互界面主要是显示仪表和操作盘台,大部分工作要通过不断地操作来完成,操纵员担任的主要职能是“监视+操作”,扮演的是操作者角色;而数字化控制系统中,主要采用计算机呈现信息和控制系统,操纵员的主要职能工作是“监视+判断+决策+操作”,扮演的是监督者^[5]。

2、认知负荷大。数字化控制系统中操纵员不仅要执行第一类任务(直接监控系统运行的任务),要获取更多信息还要执行第二类任务(界面管理任务)^[6],如,信息导航、数据搜索、页面配置与管理等。由于注意力资源是一定的,在紧急情况下,大量的信息显示、繁重的工作以及操纵员需要同时执行多个程序,占用了较多的注意力资源,剥夺了第一类任务的资源,分散了操纵员的注意力,可能会误读所有获取的信息,从而增加了操纵员的认知负担。

3、硬控制向软控制转变。传统的模拟控制系统以控制面板为主要的操作中心,以按钮、旋钮、仪表、操纵杆等为硬件设备。数字化控制系统中主要以计算机为操作中心,鼠标、显示屏是主要的输入输出设备,由于信息在计算机显示屏上的空间范围有限,为了防止操纵员的操作失误,软控制一般需要二次确认。计算机具有很强的自检功能和容错技术,可以很大程度上提高系统的可用性和可靠性,同时,数字化控制系统使用计算机控制代替控制盘台节省了大量的操作空间,也为操纵员工作增加了舒适度。

4、人机交互界面更加丰富(信息显示、报警系统、颜色、菜单的使用)。在交互软件中,人机交互界面已成为其主要部分。(1)信息显示:计算机工作站能提供和处理大量的信息,并且随时可以在显示屏上调取所需要的信息,但同时也面临着巨量信息有限显示的困境,显示屏上不能出现连续可见的画面;(2)报警系统:传统模拟系统采用的报警装置主要有仪表、指示灯,而数字化还包括图符、画面、图标等,表达形式趋于丰富;(3)颜色:凸显了不同种

类的信息,识别起来也更加方便,但是颜色如果太多,色彩不够明显,反而会增加操纵员识别的困难;(4)菜单:数字化控制系统中,通过菜单来调用画面信息,但是繁杂的步骤也会增加操纵员的认知负荷,而模拟控制系统可以直接查看指示灯或仪表,这样获取信息更加快捷。

(二)人机交互的复杂性影响因素

复杂性概念至今没有统一的定义,但是对复杂性的研究却一直在进行着^[7]。数字化控制系统中对复杂性的理解至关重要,尤其是要保障系统运行中的安全。人机交互的复杂性是指操纵员从数字化控制系统中获取信息、判断及执行相关动作难易程度的属性。根据人因对复杂性进行分析有助于数字化控制系统中控制室的设计和评估,理解复杂性带来的影响,从而能够减少对人员绩效的不利影响。影响数字化控制系统人机交互复杂性的因素有很多,本文从人机系统方面来研究人机交互对复杂性的影响,操纵员的因素、任务自身的因素、人机界面因素以及操作等因素都有可能增加人机交互的复杂性,而这些因素又会受操纵员的知识、经验以及软件、设备等条件的影响,可以通过图1来反映复杂性的影响机制。因此我们确定了以下四个关键的人机交互复杂性的影响因素:

1、操纵员的因素。操纵员的知识经验、能力和心理素质都将影响到人机交互的绩效,在紧急状态下尤其突出。数字化控制系统出现异常之后,操纵员知识水平越高、经验越丰富就越可能在人机交互过程中降低其复杂性,具有高的绩效水平。若操纵员的经验和知识积累不丰富,对于人机交互复杂性的评估很容易出现偏差或进入盲区,影响操纵员在有效时间内做出正确的判断。在面对压力的时候,心理素质好的操纵员能有条不紊地处理异常状况,降低人机交互复杂性,从而减少其发生人因失误的概率。

2、任务因素。任务的复杂性一方面是由于任务本身的特征来决定的,当任务本身包含多个要素、要素之间的关系较为复杂并且具有不确定性等的时候,任务表现得更加复杂;另一方面是由于人的有限理性和认知水平的局限性,人机交互中当人所具备的知识经验、能力不能充分认识任务的属性或者与该项任务不匹配的时候,将会导致任务变得更加复杂。在数字化控制系统中,操纵员需要完成的任务有监视/检测、状态评估、相应计划、相应执行的一类任务,还有配置、导航、换面调整、查询/质问以及自动化的二类任务。这两类任务如果在数字化控制系

统中越复杂,时间压力也就会越大,从而会大幅降低 人员绩效。

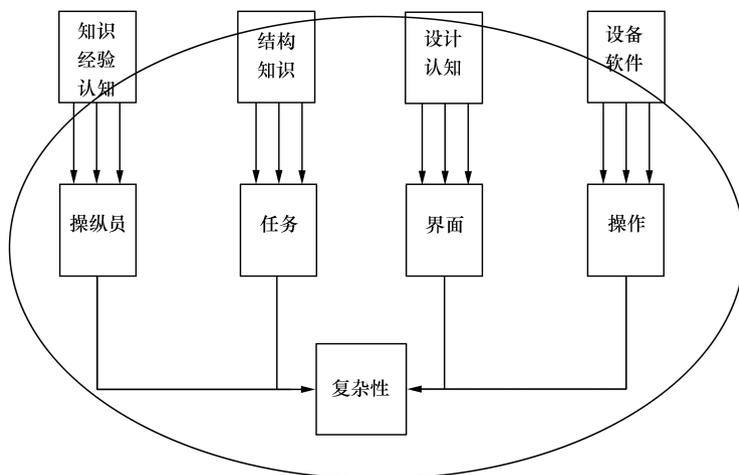


图1 人机交互的复杂性影响机制模型

3、人机界面因素。数字化控制系统中存在着大量的人机界面,其信息系统可能同时包含上千幅的显示画面,信息量特别大,同时在显示和控制上也带来了更多的复杂性,对于构成人机界面的基本元素,他们的显示格式、显示方式、显示页面、数据质量和更新速度等都需要考虑^[8]。以显示方式为例,有图形、字符、文本、表、图标等多种形式,各种显示方式下又有不同的显示种类,如字体的种类、图标种类、颜色种类、报警种类等,控制设备在数量、种类上更加繁多,设备之间以及设备和显示器之间的距离等方面在人机界面设计的时候都要加以考虑。如果人机界面设计得好,会降低操纵员认知疲劳,而如果不能符合人机工程学原则,那么在面对大量信息的情况下,人机界面管理任务就会越大,操纵员的注意力资源消耗就越多,这样就会增加人机交互的复杂性,从而增加了操纵员的认知水平,降低了人员绩效。

4、操作因素。数字化控制系统中有大量的运行画面需要监视、确认与控制,数字化设备和软件的使用需要操纵员增加注意力,确认操作的正确无误。鼠标、键盘的精确定位是操纵员执行操作的关键,如果不能很好地找到定位点,可能会增加操作时间,甚至可能造成误操作,影响绩效水平。应用软件的大量使用,操纵员需要掌握各种软件的使用方法,增加了操纵员的认知疲劳,特别是在应急状态下操作负荷数倍于正常情况,那么操作也就越复杂,对系统的可靠性影响也就越大。

二 数字化控制系统中人机交互的复杂性对人因失误的影响

通过人机交互的复杂性给人因失误带来的影响

分析认为在以下7个方面有很大的影响:

(一)情景意识降低

数字化控制系统中计算机工作站代替了传统的控制盘台,报警信息显示灯、压力读数表等通过人机界面中的符号、数值来表示,不再显得那么直观,操纵员减少了情景压力,再加上操纵员对数字化技术掌握得不够熟练,没有足够的知识和经验来判断和预测将要发生的情景,从而导致操纵员没有充足的情景意识。

(二)交流反馈不及时

数字化后,操纵员之间的交流不仅是面对面的直接交流,而更多的是通过电话通信从其他操纵员那儿获取所需要了解的信息,特别是在紧急情况下,主控室操纵员需要从其他部门获得信息并加以反馈,这就存在信息延迟的情况,往往操纵员不能及时反馈主控室操纵员所需要的信息。

(三)时间压力增大

数字化后,当操纵员执行任务不确定该怎样达成目标时,可以利用导航搜索所需要的信息或者使用 SOP 规程来完成,但是这也增加了任务本身结构的复杂性,如果没有足够的知识解决这种复杂的任务,就会给操纵员带来时间压力。

(四)界面管理任务重

数字化控制系统中操纵员需要完成的任务分为两大类^[9]:第一类任务,即监控系统运行的任务;第二类任务,即界面管理任务。界面管理任务是为了保证第一类任务更加有效、可靠的完成,人的认知资源是有限的,界面管理需要消耗大量的认知资源,因此加重了界面的管理任务。

(五)巨量信息有限显示^[10]

数字化人机界面信息显示有大屏幕显示全厂概况,还有计算机工作站的小屏幕显示部分画面信息。基于计算机信息显示全面且可靠,但是巨量的信息必须通过下拉滚动条、打开重叠的画面或者导航显示,操纵员就要对大量的信息进行过滤、筛选、重组、整合等,增加了操纵员的认知负荷,可能造成信息的误判断,或者信息缺失。

(六)操作控制

需要打开设备操作窗口、点击操作指令、确认操作指令、执行操作指令、关闭操作窗口等。频繁的操作增加操作人员的认知负荷和时间压力,在紧急情况下操纵员容易产生误操作。另外,鼠标的定位速度和精确度有待提高,在进行软操作时,软控制会覆盖一些重要的信息,影响操作速度^[11]。

(七)规程系统

数字化控制系统的规程基于计算机软件,代替了传统控制系统中的纸质规程,便于计算机快速调用与阅读,但是也会存在许多不足,比如:操作规程使用的是英文,而不是汉语,不便于国内的操纵员阅读;规程在执行过程中可以在计算机上通过打钩来确认规程执行的具体步骤,但是在紧急情况下,容易出现遗漏项。

三 结语

在数字化控制系统中,操纵员执行任何任务都要进行人机交互,而人机交互的复杂性是造成人因失误的一个重要原因,因此研究人机交互的复杂性对人因失误的影响是一个非常必要的课题。本文分析了数字化控制系统与传统模拟控制系统的区别,总结了数字化控制系统下人机交互的特征,发现影

响数字化控制系统人机交互的复杂性因素主要包括操纵员因素、任务因素、界面管理因素、操作因素,并分析了其作用途径和机制。

[参考文献]

- [1] H Yoshikawa. Human-machine interaction in Nuclear power plant[J]. Nuclear Engineering and Technology, 2005, 37(2):151-158.
- [2] 张 力,赵 明. WANO 人因事件统计及分析[J]. 核动力工程,2005,26(3):291-295.
- [3] 张 力,王以群,邓志良. 复杂人一机系统中的人因失误[J]. 中国安全科学学报,1996,6(6):35-38.
- [4] 黄曙东,张 力,戴立操. 复杂人机系统人误分析技术研究[J]. 工业工程与管理,2007(4):70-74.
- [5] Sheridan T B. Telerobotics, Automation, and Human Supervisory Control[M]. Cambridge: The MIT Press, 1992.
- [6] I S Kim. Human reliability analysis in the man-machine interface design review[J]. Annals of Nuclear Energy, 2001(28):1069-1081.
- [7] 刘劲扬. 复杂性是什么—复杂性的词源学考量及其哲学追问[J]. 科学技术与辩证法,2005,22(6):40-44.
- [8] 刘素娟. 先进的核电厂主控室人—机界面评审中需要注意的几个问题[J]. 核安全,2004(3):7-11.
- [9] O'Hara J M, Brown W S, Lewis P M, et al. The Effects of Interface Management Tasks on Crew Performance and Safety in Complex, Computer-based Systems (NUREG/CR-6690): U. S. NRC [R]. 2002.
- [10] 张 力,杨大新,王以群. 数字化控制室信息显示对人因可靠性的影响[J]. 中国安全科学学报,2010,20(9):81-85.
- [11] 李鹏程,张 力,戴立操,等. 核电厂数字化人—机界面特征对人因失误的影响研究[J]. 核动力工程,2011,32(1):48-52.

Effects of Complexity of Human Machine Interaction on Human Error in Digital Control System

ZOU Ping-ping, ZHANG Li, JIANG Jian-jun
(University of South China, Hengyang 421001, China)

Abstract: According to field investigation and video observation, the new characteristics of digital human-machine interaction in digital control system are identified by comparing with the traditional analog control systems, such as the transformation of operator's role, the increases of cognitive load, the transformation from hard control to soft control and the more ample human machine interface. Through the four key influencing factors of the complexity of human machine interaction, named operator, task, interface management and manipulation, the effects on human factor error are analyzed, expecting to provide theoretical support for reducing the complexity of human machine interaction.

Key words: digitalization; human-machine interaction; interface management; complexity; human error