

数字化主控室界面管理任务对操纵员的影响研究

顾玲玲,张 力^①,李鹏程^②

(南华大学 人因研究所,湖南 衡阳 421001)

[摘 要] 数字化主控室主要包含两大认知任务:直接监控系统运行的任务(第一类任务)和界面管理任务。界面管理任务与第一类任务争夺认知资源,导致操纵员执行效率降低。为了减少操纵员的失误,文章在分析两者关系的基础上详细阐述了界面管理任务对操纵员的影响以及可能引发的失误。针对这些影响和失误,从认知心理学角度提出改善措施,从而为核电站安全提供一定的建议。

[关键词] 界面管理任务; 认知任务; 核电站安全

[中图分类号] F273

[文献标识码] A

[文章编号] 1673-0755(2011)01-0055-03

众所周知的三哩岛、切尔诺贝利核电站事故,经论证都是人因失误造成的^[1],而人机界面是成为引发人因失误最重要的关键要素之一。两次重大事故之后,世界各国在主控室设计,特别是人机界面设计方面开始考虑人因工程因素,减少人因失误引发事故,从而提高了核电站的安全性和可运行性^[2]。随着数字化技术在核电厂主控室的应用,操纵员需要执行界面管理任务来获取信息和执行操作等,而界面管理任务是依赖人机界面来完成的,且人机界面设计的合理性也影响着界面管理任务的执行效率。

在传统的和基于计算机的控制室都存在界面管理任务^[3]。传统的控制室一般由庞大的安装有数以千计显示装置的仪表屏板,以及与这些显示装置对应的控制台组成。操作员通过在显示一控制面板前来回走动,巡视工厂信息、执行具体的监视和控制操作。操作员还必须经常搜索显示屏板,发现具体的、所需要的信息。由于这些显示器位置固定,功能单一,提供的信息有限,所以要全面的显示整个电厂的运行状态,需要很多显示器,操纵员要频繁地穿梭于这些显示器之间,无疑加重了操纵员的工作负荷。而在数字化主控室中,基于计算机的人机界面非常灵活:大屏幕系统显示总体状况,数字化系统集成度和自动化程度高,操纵员利用计算机工作站的鼠标或触摸式屏幕对总体状况进行控制,且周围的仪控系统能够提供更多的精确程度较高的数据。

与传统的控制室相比,使用计算机有着无可比拟的优越性,但也正是这种优越性使得界面管理任务的需求增加,并对操纵员可靠性产生一定的影响。

一 界面管理任务

(一) 界面管理任务的含义

在数字化控制系统中运行人员需要完成的任务大致可以划分为两类:第一类任务和第二类任务。前者是指运行人员直接为监控系统运行而需完成的任务,而第二类任务是指不直接监控系统运行的那些任务,也就是界面管理任务。在使用计算机人机界面的前提下界面管理任务主要包括:配置、导航、画面调整、查询/质问、自动化^[4]。

配置——根据人的心理特点构建人机界面,使得人机界面更加人性化。

导航——跟踪一条路径到达期望的目标。当操纵员不确定该怎样达到期望的目标时,可以利用导航功能定位和搜索所需要的信息。

画面调整——将画面调整到最适合操纵员浏览、观察的位置。在任务较多时,操纵员可以调整画面,以得到当前任务的信息,或者减少任务之间的冲突。

查询/质问——涉及到信息的重要性。通过查询可以获得一些有用的信息,通过质问了解信息的重要程度。

自动化——启动捷径,减少操纵员执行界面管理任务的精力,缩短执行任务的时间。

(二) 界面管理任务与第一类任务的关系

在数字化控制室里,第一类任务主要是完成电厂的监控任务(一般包括监视/检测、状态评估、响应计划、响应执行),在应急状态下能够按照 SOP 规程或者根据已有的知识和经验采取适当的操作保证核电厂安全运行。界面管理任务主要是为第一类任务提供更加快捷、方便的方式,保证第一类任务更加顺利的完成。也就是说在数字化技术下,界面管理任务支持和保障完成第一类任务,同时与第一类任务也相互交互。具体的各部分关系如图 1:

[收稿日期] 2010-11-26

[基金项目] 国家自然科学基金项目资助(编号 70873040);岭东核电有限公司科研项目资助(编号:KR70543)

[作者简介] 顾玲玲(1984-),女,山东省德州市人,南华大学人因研究所硕士研究生。

①南华大学人因研究所教授,博士生导师。②华南理工大学博士研究生。

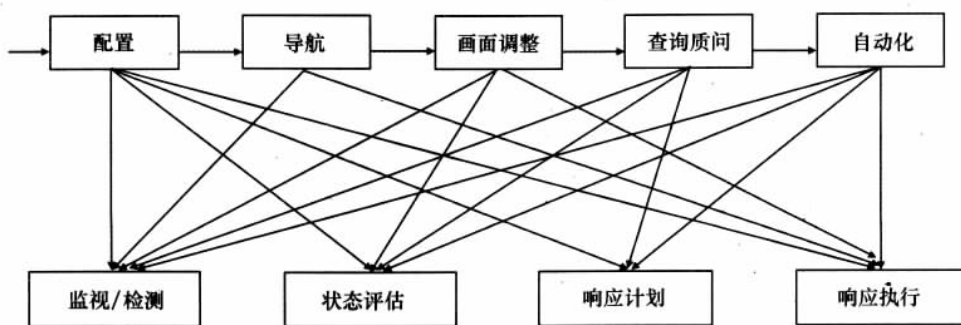


图1 界面管理任务与第一类任务的关系

在图1我们看到,界面管理任务与第一类任务息息相关。界面管理任务是以第一类任务的存在为前提的,若没有第一类任务,界面管理任务也就变得毫无意义;若只有第一类任务,操纵员的监控效率可能要降低。随着数字化设施技术的不断提高,界面管理的需求也在不断增加,但是操纵员的认知资源是有限的,这就意味着界面管理任务在实施过程中将与第一类任务争夺认知资源,并且存在着诸多问题。

二 界面管理任务在实施中的问题

随着核电站数字化技术的发展,越来越多的智能化的计算机界面在主控室里得到开发与应用。在数字化控制室,操纵员为了获取整个电厂或者系统的状态,必须通过“界面管理任务”进入许多单个画面以获取所需的全部信息,需对信息进行检索、记忆、整合等,从而在很大程度上增加了操纵员的工作负荷和干扰,分散操纵员的注意力。

(一) 界面管理任务对操纵员的影响

在认知科学中,认知资源指个体对刺激信息进行识别和加工的心理容量^[3]。但认知资源的容量是有限的,每一项认知活动都需要占有和消耗一定的认知资源。当人在进行认知活动时,个体为了完整地辨识刺激信息,需要运用有限的认知资源,如果刺激信息比较复杂,就需要运用较多的认知资源,当同时呈现几种不同的复杂刺激信息时,认知资源就会很快消耗殆尽,如果此时再呈现另外的刺激信息,这些新异刺激信息就不能被加工和处理。因此,只有当认知任务所需要的资源之和不超过操纵员具备的认知资源总量时,操纵员的各项认知操作的协调和分配才能同时进行,否则,在进行某项认知操作时就必然受阻。

在双重任务中,随着第一类任务的执行,界面管理任务在有限的认知资源情况下执行。如果将认知资源总量看作是1,若第一类任务使用总和为X,那么界面管理任务则为 $1-X$ 。如果操纵员在界面管理任务中分配了较多的认知资源,那么第一类任务势必会受到影响,引发操作失误。

据统计,某核电站厂在1994~1998年间发生各类事故2080起,与人的因素有关的为860起,占41.13%,且这些事故大多与操纵员的操作有关^[5]。实质上这些操作失误,除了操纵员本身的认知资源不足以外,更重要的是操纵员没有合理分配好认知资源。

根据注意力资源理论,操纵员可以根据具体任务合理支配注意力资源,也就是确定X的最佳值。当界面管理任务需

求出现时,操纵员会将正在执行任务中的部分注意力转移到界面管理任务。但是,在高负荷下,操纵员为了集中精力完成监控任务,会放弃某些不必要的信息,或对于出现的一些信息也不给予重视。画面的重新调整、导航路径的选择有可能使得操纵员中断当前任务。虽然某些操作可以自动化执行,但是这样可能会使操作员忽略一些重要的信息。不能及时地完成界面管理任务,或者忽略界面管理任务的信息,会使监控任务面临数据不足的情况^[6]。

因此,界面管理任务对操纵员的影响有两个方面:与第一类任务争夺认知资源和操纵员执行监控任务的效率。

(二) 界面管理任务引发的失误

Norman的人误分类法在研究人误原因的理论探讨中能较好地加以应用,因此按照Norman的人误分类法将人误分为三种^[1]:第一种是描述失误,来源于操作员对动作缺乏详细的描述。第二种是激活或引发错误。第三种是捕获失误。在Norman理论框架里,界面管理任务很可能对每一种失误都起作用。描述失误与界面管理任务的灵活性有关,如果界面管理任务复杂,且不易执行,那么很容易造成操纵员的心理负担,从而产生抵触情绪,这时候的操纵员的认知会降低。

激活或引发失误与界面管理任务的设计有关。1985年6月,Davis-Besse核电站主给水泵误动事故是由操纵员在实施“给水一排泄”程序时选择了错误的按钮造成的。

捕捉失误也与界面管理的设计有关。在数字化控制室里,操纵员通过各个显示器来了解,掌握核电厂的运行状态。在操纵员执行第一类任务时,若发生界面管理需求,操纵员的注意力被分散,有可能忽略与第一类任务相关的信息。

当然,人机界面的总体设计如果不合理,而界面管理需求又主要来源于人机界面,这样就会增加操纵员执行界面管理任务失误概率,对核电站事故和事故概率也会产生一定影响。

因此,无论是对操纵员的监控任务,人机界面,还是核电厂事故,界面管理任务确实存在着一定的影响。所以,在注重核电站功能的同时,也应注重主控室的设计原则,特别是人因工程原则。

三 减少界面管理任务失误的措施

(一) 减少操纵员的认知需求

1、操纵员培训。在培训过程中要提高操纵员的认知预演能力,即通过假设各种意外情况发生而思考处理解决问题

的办法,把整个研究过程考虑全面。如果操纵员能够熟练操作各项任务,认知负荷就会降低。

2、EOP 或 SOP 规范化。EOP 或 SOP 规程里面的每一步操作尽可能的详细,并且没有跳跃,用最简单的语言来描述操作,使得操纵员容易理解,没有记忆负担。在遇到紧急情况下,直接可以准确无误的按照规程操作,实施行动。

3、用文档记录变量变化趋势^[7]。在打印出来的初始资料上面操纵员可以画出特殊点或趋势,在以后操纵员一瞥这些特殊点或趋势就能理解含义,减少操纵员的记忆负担。如果用显示器显示这些变量,必须用两个 CRTs,一个用来显示最初的变量值,另一个用来显示变化值。这样不仅增加硬件资源也增加操纵员的工作负荷,需要不时的对两个 CRT 进行比较。

(二) 优化界面管理设计

1、限制设计(设备设计)。努力避免应激情境或其他人的认知机制不适合的任务对操纵员施加过高的工作负荷。限制设计的目的是为了减少一些能导致严重事故的操作。比如在关闭某个操作前,计算机系统会自动提醒是否已确保其他设备安全运行,并要求确认等。

2、导航设计。同一系统中导航方式要一致和透明,且具有激发行动的功能,也就是,应该能够吸引操纵员的注意,激发他们使用导航。为了减少操作时间,还要缩短导航路径和搜索信息的时间,从而降低操纵员的注意力持续的时间。每一步操作尽可能按照操纵员的直觉方式理解,在操作规程中也要用简单、清晰的文字描述,这样,操纵员在描述其任务就不会产生不知如何表达或表达不清晰的问题。

3、界面和规程应保证高水平的功能保真度,所有界面应该可用,包括人机界面部件的操作模式和详细信息。

4、设备组合要按照人机工效学原理设计。主控室中有大屏幕、显示器、控制器等设备,选择最佳的组合方式,减少操纵员的感知理解或认知负担,还要有利于操纵员的协调与沟通。

5、界面管理培训。培训能够增强操纵员对系统的了解和熟练操作,在高负荷下,完成界面管理任务的时间缩短、耗费较少的精力,从而使得操纵员将主要精力集中于监控任务。

四 结论与展望

目前核电站主控室的任務都是由操纵员执行完成,但是界面管理任务的出现增加了操纵员的认知负荷,作者认为可以考虑多通道技术。多通道技术具有交互自然性,使操纵员尽可能的多利用已有的日常技能与计算机交互,还具有交互高效性,使人机通讯信息交换吞吐量更大、形式更丰富,发挥人机彼此不同的认知潜力。但是应用在核电站这样的特殊行业,目前还没有进一步的研究。界面管理任务和第一类任务的认知资源分配没有定量分析,也就是没有具体到界面管理任务需要消耗操纵员认知资源的具体数量,作者认为可以通过眼动仪和行为测试软件做实验取得数据来具体分析。

界面管理趋向于个性化发展,核电站是一个特殊的行业,所执行的任务也是特殊的,且这些任务都是由操纵员执行的,所以界面管理设计应更符合操纵员的心理特点,以减少人为失误。

[参考文献]

- [1] 黄曙东,戴立操,张力. 核电站事故前人因事故可靠性分析[J]. 中国安全科学学报,2003(2): 50-53.
- [2] 徐小林,李德衡. 核电站控制室的发展[J]. 高技术通讯,1997(5): 55-58.
- [3] The Effects of Interface Management Tasks on Crew Performance and Safety in Complex [J]. Computer-Based System. NUREG/CR-6690(2002) Vol. 2,19-20.
- [4] 梁宁建. 当代认知心理学[M]. 上海: 上海教育出版社,2003. 9-15.
- [5] 黄卫刚,郭建兵,张力. 大亚湾核电站人因事件经验反馈与预防对策[J]. 中南工学院学报,1999(2): 115-119.
- [6] 刘素娟. 核电厂数字化控制室界面管理任务对控制室运行人员的影响[J]. 中国核电,2008(2): 74-79.
- [7] KIM J. VICENTE, EMILIE M. ROTH, RANDALL J. MUMAW. How do operators monitor a complex, dynamic work domain? The impact of control room technology [J]. Int. J. Human-Computer Studies, 2001(54): 831-856.

Study on the Impact of Interface Management Task on Operators in Digitized Control Room

GU Ling-ling, ZHANG Li, LI Peng-cheng

(University of South China, Hengyang 421001, China)

Abstract: There are two kinds of cognitive tasks in digitized control room, including task of directly monitoring and controlling on system state (the primary task) and interface management task. Competing for cognitive resources between these tasks results in the lower efficiency of operator performance. For reducing the operating errors, this article addresses the effects of interface management task on operator and the potential errors of these effects based on analyzing their relationship. According to these effects and factors, we provide improving measures for the nuclear safety from the perspective of cognitive psychology.

Key words: interface management task; cognitive task; the safety of nuclear power station