核电厂 DCS 人机界面人员任务知识表征及影响研究

戴立操,范　瑞[1],张美慧[1],李鹏程[2],李冬生[3],陈建华[3]
(南华大学 人因研究所,湖南 衡阳 421001)

[摘　要]　为深入了解操纵员数字化界面认知机理,识别界面管理任务对操纵员完成主任务的影响,文章通过多次一回路小破口模拟实验辨识操纵员的操作过程,分析和确认操纵员在操作过程中的知识表征模式,并在此基础上模拟实验,验证发现界面管理任务会增加操纵员完成主任务的时间,且对操纵员完成以空间图像表征为主的主任务的影响大于以抽象命题表征为主的主任务。

[关键词]　核电厂人因失误;　知识表征;　工作记忆
[中图分类号]　TM623　[文献标识码]　A　　[文章编号]　1673-0755(2021)04-0001-08
DOI:10.13967/j.cnki.nhxb.2021.0049

核电厂主控室中大多采用先进的数字化控制系统(Digital Control System,DCS)。操纵员通过计算机屏幕监视电厂状况,利用鼠标、键盘对电厂进行控制,DCS 代替了传统主控室的盘台、信号灯、开关、按钮、仪表盘等。DCS 中控制和操纵核电厂的信息输入输出方式发生改变可能导致操纵员对信息的加工机制发生改变,从而导致新的人因失误。研究人员针对 DCS 系统对操纵员人因失误影响进行了一系列的研究[1-2],认为数字化人机界面新特征有可能增加操纵员的认知负荷和操作负荷,容易产生模式混淆、情境意识丧失等不利影响。Shukri 根据 DCS 系统对操纵员的影响建立了 IDA 认知模型,模拟数字化后操纵员的认知过程[3]。戴立操等通过研究操纵员的认知行为特征,从监视检测、状态评估、计划响应、计划执行 4 种主要的认知行为进行分析,了解了界面管理任务对认知行为产生的不利影响主要表现为操纵员的认知负荷和操作负荷的增加[4]。尽管上述文献描述了主控室 DCS 系统的界面管理任务对操纵员的人因失误影响以及操纵员的认知过程,但并未从操纵员的认知机理角度深入阐述界面管理任务对操纵员完成主任务的影响。

人的认知过程是人对信息的加工过程。人通过调动注意力资源和记忆力资源来获取外界信息,并将信息通过编码暂时存储在工作记忆中,信息的分析、考虑、转换和操纵都是在工作记忆中完成的[5]。工作记忆包含当前可供系统处理的信息,也包括当前环境信息、推论、当前目标信息和长期记忆痕迹的编码。Baddeley 的工作记忆理论认为,人脑中存在两种信息加工机制,分别是视觉空间模板加工和语音回路加工[6-8]。两者是独立存在的,且两者之间存在一个中央执行区,三者组成部分相互作用,为认知活动提供一个全面的工作空间。语音回路一般被用来存储数字,视觉空间模板一般用来存储空间关系。中央执行区负责对两者进行协调,它将信息从阅读语句(基本上是在语言回路中)转换为视觉空间模板上的心理图像。Baddeley 通过双任务范式实验[9]发现,如果两项任务需要同一认知过程或认知资源,那么,在双任务条件下就不可能比在各自单独进行的情况下完成得更好。

人在人机界面中对信息的处理是人对人机界面信息加工处理的过程。人对信息处理过程中所使用的知识存储在人员大脑中。在人的大脑中知识以什么形式存在和如何被存储,即人的知识表征(Knowledge Representation)[10]45。知识通过文字、图像、符号和空间顺序等载体来进行表征。CRUM 认为,计算表征理论是将心灵比作计算机,以类比推理的方式去了解心灵构建知识的方式[11]。命题符号理论[12]认为,认知的构成是命题,由命题形成命题网

[收稿日期]　2021-03-03
[作者简介]　戴立操(1969—),男,湖南衡阳人,南华大学人因研究所教授,博士生导师。
1 南华大学经济管理与法学学院硕士研究生。2. 南华大学人因研究所教授,博士生导师。3 南华大学经济管理与法学学院教授。

络,对命题不断操作会不断更新命题网络,并且一种情境可以由一系列明确的命题来构成。Anderson 研究发现,用命题表征表示各类知识结构十分复杂且效率低下,非命题表征能在生产系统框架中发挥重要作用[10]49。在表示认知单元时,Anderson 按照知识在认知活动中的操作过程将知识表征分为三类:用顺序结构来表示陈述的顺序;用空间图像结构来表示元素的空间相对位置;用抽象命题结构来表示假定的逻辑解释。本文通过模拟机实验来分析操纵员在操作过程中的各类知识表征,在此基础上辨识数字化人机界面管理任务对操纵员完成不同知识表征主任务的影响。

一 核电厂主控室操纵员的知识表征

(一)模拟实验

为了解核电厂数字化主控室操纵员在执行事故处理任务过程中的知识表征,以一回路操纵员缓解一回路小破口事故为例,基于南华大学人因研究所的压水堆核电厂模拟机平台多次对其操纵过程模拟,分析其知识表征类型及其特点。

在正常情况下,主控室操纵员利用鼠标在计算机屏幕上进行操作,执行界面管理任务,完成主任务,以确保核电厂能够安全运行。当核电厂发生事故和瞬态变化时,操纵员在主控室人机界面上进行控制操作来应对。如果核电厂发生 SLOCA 事故,当一回路压力降低至稳定压力的低整定值时触发反应堆紧急停堆,当降低至稳压器压力的低低整定值时触发安注信号。此时,中压安注不可用,二次侧局部冷却自动功能无法满足安注箱和低压安注泵投运的条件。操纵员需要根据规程手动执行二次侧快速冷却,对一回路降温降压,操作失败将导致堆芯损伤。此时,可将操纵员的操作分为以下四个阶段,见图 1。

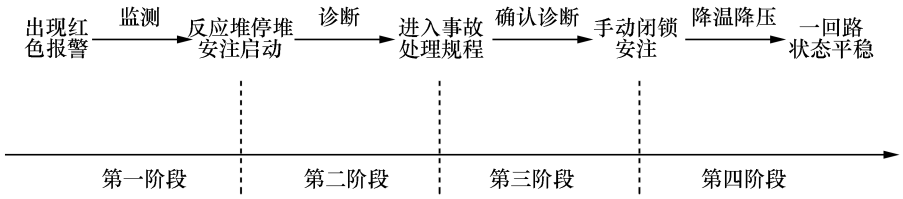

图 1 主控室操纵员事故处理流程图

第一阶段,电厂状态监测。从出现红色报警至安注启动,该阶段操纵员主要对电厂状态进行监测,包括功率量程、Δtsat 值、稳压器液位、一回路温度和压力等。第二阶段,事故诊断。安注启动后,操纵员根据安注事故导则对二回路放射性、一回路压力、SG 压力、安全壳压力等进行监测,最终诊断当前事故为一回路小破口事故。第三阶段,诊断确认及自动动作确认。操纵员根据一回路小破口事故导则对安全壳压力、温度、放射性情况进行确认,确保当前执行规程无误,并手动复归安注。第四阶段,快速降温降压,安注停运后,操纵员按照规程不断调整一回路状态,利用二回路将温度降至 170 ℃以下,利用喷淋系统将一回路压力降至 27bar 以下,利用上充稳定 PZR 液位大于-4 m。此时,一回路状态稳定,可安排维修人员进入一回路进行检修。对各阶段操纵员的操纵任务进行分析,确认各时间点操纵员需要完成的主任务及界面管理任务,可得操纵员完成任务时的知识表征,如表 1 所示。根据表 1 数据分析可知,操纵员完成界面管理任务时的知识表征主要是空间图像表征和顺序表征,而主任务则是抽象命题表征和空间图像表征。

(二)知识表征

基于多次模拟实验,对操纵过程进行分解分析,确定操纵员操作中的知识表征,即研究其对不同信息的处理方式和表现形式。

1. 顺序表征

顺序表征是通过创建顺序来记录事件的顺序结构,它记录的是顺序信息而不是间隔信息。因为工作记忆的容量有限,所以顺序表征只有 3 个或 5 个元素。在核电厂主控室中,操纵员获取或处理的顺序信息情况主要分为以下几种:(1)规程中的顺序信息。电厂的规程都是按照事故发展进程来进行编写的,操纵员在何种情况下该进行何种操作都是按照规程进行的。此时,操纵员从规程上获取的信息属于顺序信息。(2)主任务的操作顺序。DCS 系统中的操作界面存在一定的逻辑顺序,许多页面都存在闭锁开关,只有关闭闭锁才能调节该页面的开关。(3)二类管理任务的操作顺序。操纵员在任何时候通过 DCS 上的显示屏都只能查看到部分信息,有限的观看区域这一特征被称为“锁孔效应”[13],通过“锁孔”访问信息。那么,从哪个“锁孔”才能成功访问操纵员需要操作或查看的页面就属于二类管理任

务的操作顺序信息。

表 1　核电厂小 LOCA 事故时操纵员控制操纵任务分解表

时间点	事件	界面管理任务	界面管理任务的知识表征	画面	主任务	主任务的知识表征	认知状态
0:00	进入一回路小破口事故模拟	—	—	—	—	—	—
0:41	稳压器压力低						
1:14	安全壳疏水坑液位高						
6:45	稳压器压力≤13.8 MPa	进入报警界面,点击确认	顺序表征	所有报警界面	确认报警	顺序表征	监视
9:49	反应堆停堆						
9:54	通道 1/2/3 汽轮机跳闸						
9:55	蒸汽发生器低水位						
15:00	安注启动 5 min 后	查看纸质规程	空间图像表征	安注事故诊断导则(纸质)	进入安注事故诊断导则	空间图像表征	
15:05	二回路放射性数值无变动	由导航进入 KRT001YMA,寻找二回路放射性显示值	空间图像表征	纸质规程至 KRT001YMA	对比事故前后二回路放射性数值	抽象命题表征	
15:05	一回路压力≤138bar	由导航进入 ECP200YST 界面寻找一回路压力显示值	空间图像表征	纸质规程至 ECP200YST	检查一回路压力是否大于 138bar	抽象命题表征	状态评估
15:10	三个 SG 压力相近,为 66.8bar,小于一回路压力	由导航进入 KOO001YLD 界面寻找三个 SG 的压力显示值	空间图像表征	纸质规程至 KOO001YLD	查看一回路压力值,并对比一回路压力值	抽象命题表征	
15:30	3 条稳压器的释放管线已关闭	KOO001YLD 界面寻找稳压器释放管线	空间图像表征	纸质规程至 KOO001YLD	查看 3 条稳压器释放管线是否关闭	抽象命题表征	
15:40	安全壳的压力大于 1.2 bar(高 1 信号)	由导航进入 ECP200YST 界面寻找安全壳压力显示值	空间图像表征	纸质规程至 ECP200YST	检查安全壳压力是否大于 1.2bar	抽象命题表征	状态评估
16:00	确认为一回路小破口事故	由安注事故诊断导则转至一回路小破口事故导则	空间图像表征	安注事故诊断导则(纸质)转至一回路小破口事故导则(纸质)	进入一回路小破口事故导则	空间图像表征	
17:00	诊断确认	由导航进入 KOO001YLD 界面寻找安全壳的压力和温度的显示值,再退到主页,进入 KRT001YMA 查看安全壳的放射性数值	空间图像表征	由纸质规程转至 KOO001YLD 界面再转至 KRT001YMA 界面	查看安全壳压力、温度、放射性变化情况	抽象命题表征	响应计划
17:20	自动动作的确认	由导航进入 RIS100YFU 界面,关闭开关 RPA060KG 和 RPB060KG	空间图像表征和顺序表征	由纸质规程转至 RIS100YFU 界面	复归安注	空间图像表征	
17:40	自动动作的确认	在 RIS100YFU 界面,关闭开关 RPA064KG 和 RPB064KG	顺序表征	RIS100YFU 界面	复归 CIA	空间图像表征	
18:00		与二回路操纵员沟通	空间图像表征	主控室	通知二回路操纵员安注已复归	空间图像表征	计划执行
18:30	安注控制和冷却	与二回路操纵员沟通	空间图像表征	主控室	要求二回路操纵员以 56℃/h 将一回路一直冷却到 TRIC=170℃	空间图像表征	

续表

时间点	事件	界面管理任务	界面管理任务的知识表征	画面	主任务	主任务的知识表征	认知状态
18:50		由导航进入 ECP200YST 界面寻找 Δtsat 数值和 PZR 液位显示值	空间图像表征	纸质规程至 ECP200YST 再到规程	根据 Δtsat 数值和 PZR 液位判断核电厂的状态	抽象命题表征	
20:00	安注控制和冷却	由导航进入 RCV002YCD 界面关闭 RCV001PO	空间图像表征	纸质规程至 RCV002YCD	根据规程,结合核电厂状态,停运 RCV001PO	抽象命题表征	
21:20		由导航进入 ECP200YST 界面寻找 Δtsat 数值和 PZR 液位显示值	空间图像表征	纸质规程至 ECP200YST 再到规程	根据 Δtsat 数值和 PZR 液位再次判断核电厂的状态	抽象命题表征	计划执行
22:00		在规程中的图形上寻找电厂所处的位置	空间图像表征	纸质规程	根据规程,结合核电厂状态,恢复上充,隔离硼酸注入箱	抽象命题表征	
22:15		由导航进入 RCV001YCD 界面,将 036KG 调成手动状态,再将 RCVO46VP 调成手动状态,并将阀门打开状态调为 100%	空间图像表征	纸质规程至 RCV001YCD	手动完全打开上充阀	空间图像表征	
22:30	安注控制和冷却	由导航进入 RCV002YCD 界面,将 RCV222 和 RCV223VP 阀门打开	空间图像表征	纸质规程至 RCV002YCD	打开上充泵最小流量管道隔离阀	空间图像表征	
23:10		由导航进入 RIS002YCD 界面,将 RIS032 和 RIS033VP 阀门关闭	空间图像表征	纸质规程至 RIS002YCD	关闭硼注入罐隔离阀	空间图像表征	
23:30		由导航进入 RCV001YCD 界面,将 RCV048 和 RCV050VP 阀门打开	空间图像表征	纸质规程至 RCV001YCD	打开上充管线隔离阀	空间图像表征	
23:40		在 RCV001YCD 界面将 RCV088 和 RCV089VP 阀门打开	空间图像表征	RCV001YCD	打开 RCV088 和 RCV089VP	空间图像表征	计划执行
24:00		由导航进入 RCP021YCD 界面,将 016KG 关闭,再将 RCP001 和 RCP002VP 调成手动状态,切换至 ECP200YCD 查看一回路压力下降状态、Δtsat 数值、稳压器水位,然后反复调整 RCP001、RCP002VP,或切换至 RCV001YCD 界面用反复调节 RCV046VP 设定值以调节稳压器水位	空间图像表征和顺序表征	纸质规程至 RCP002YCD 再到 ECP200YCD 或 RCV001YCD	打开喷淋阀降压并维持 Δtsat>20℃,用 RCV046VP 维持稳压器水位>-4 m,直至一回路压力小于 27bar,温度小于 170 ℃	抽象命题表征	

顺序表征的网络符号不仅能表示保存顺序结构,还能表示类别信息、属性信息和子结构信息。操纵员确认报警页面的顺序表征,见图 2。

2. 空间图像表征

空间图像表征是保存元素空间排列的结构,它编码的是结构信息、相对位置信息而不是绝对距离或大小的信息。大的空间图像的分层组织更多的是记录对象空间的结构信息,关于对象的外观信息则较少,这是空间图像表征区别于真实图像的一个重要方面。主控室操纵员需要处理的空间较多。操纵

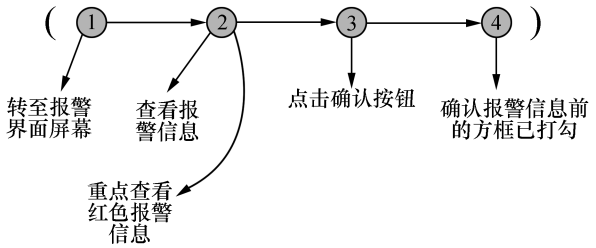

图 2　操纵员确认报警页面的顺序表征图

员获取或处理的空间图像信息的情况主要分为以下几种:(1)DCS 系统中的空间图像。DCS 系统中大约有 1 000 余张图片,各个界面控件的所处位置、形状等信息都属于空间图像信息。(2)纸质规程与计算机屏幕的空间切换。核电厂主控室操纵员除了需要查看屏幕上的规程外,有时还需要使用纸质规程,或在记录本上记录电厂的重要数据信息等。

空间图像表征有五种形式,分别为:直观的实际刺激(画面的直接呈现)、子图像排列(画面的图标及其方位排布)、绝对描述排列(图标名称及其方位排布)、绝对描述的坐标编码(图标名称及其位置的坐标)和非精确的文字描述(简单文字描述)。操纵员查看 RCV002YCD 页面的空间图像表征,见图 3。

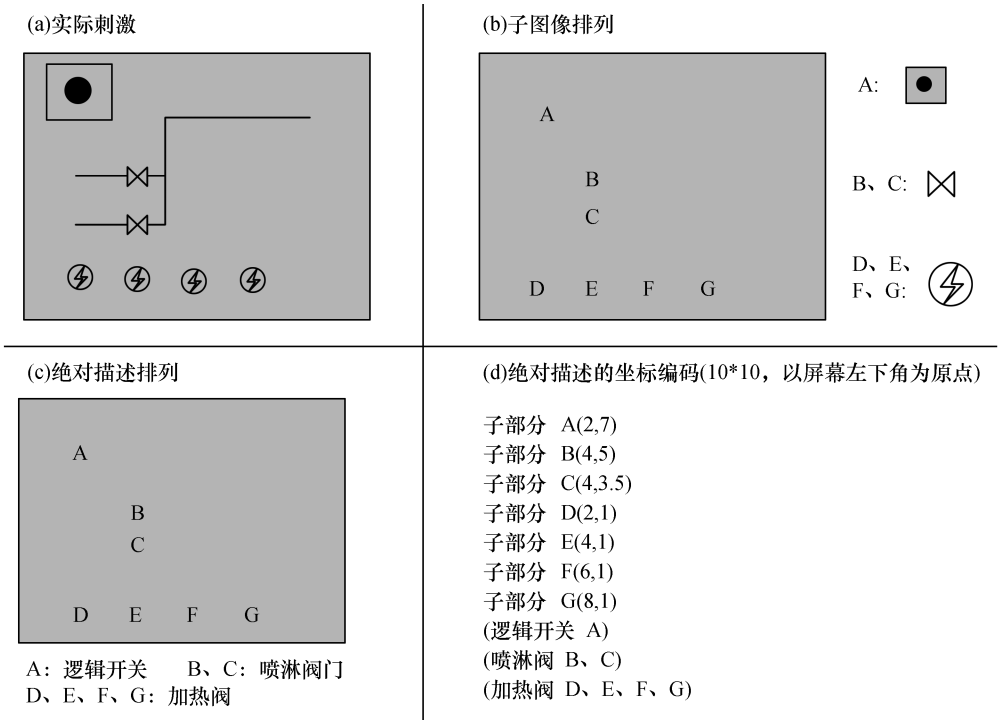

图 3　操纵员查看 RCV002YCD 页面的空间图像表征图

3. 抽象命题表征

抽象命题表征与其他两种表征不同,它不是对环境结构的直接反映,而是反映对事件的抽象,它代表的是观念而不是对电厂界面语义中的词、短语或句子本身。抽象命题的编码过程本身是需要学习的。每个人从出生开始对母语的学习、理解过程就是对编码过程的学习。抽象命题表征也可以编码结构、类别和属性信息,并且以全有或全无的方式存储和检索。操纵员在 DCS 系统中获取或处理抽象命题信息主要有以下几种情况:(1)规程中的抽象命题信息。操纵员查看计算机屏幕上的规程、纸质规程以及记录本等都可以获得抽象命题信息。(2)计算机屏幕上的抽象命题信息。操纵员通过计算机屏幕查看电厂状况,包括 P/T 图、总貌图及其他界面的数值或趋势信息,并将这些信息与规程信息对比,做出下一步操作。(3)二类管理任务中的抽象命题信息。操纵员在规程上获得的某些二类管理任务,如调用画面 ECP200YST,也属于抽象命题信息。

抽象命题由两部分组成:一个关系和一个以上的论题。论题可以是行动的主体、行动的客体、行动的目的、行动的工具以及行动的接受者。同一个主题的若干个命题会发生相互联系,形成命题网络。一回路操纵员通知二回路操纵员快速冷却的抽象命题表征,见图 4。

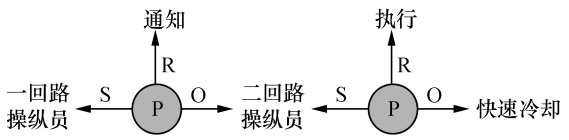

图 4 一回路操纵员通知二回路操纵员快速冷却的抽象命题表征图

注:R 代表关系,S 代表主体,O 代表客体。

4. 混合表征

操纵员在完成任务时,这三种表征方式可能不是单独存在的,而是多种表征同时存在的复杂情况,它们编码不同的信息,具有不同的模式匹配、构造原则和处理过程,但这三种类型可以使用相同的基本网络表示法,见图 5。图 5 为操纵员根据规程打开上充泵最小流量隔离阀时的知识表征情况。时间顺序编码了打开控件序列的主要元素,空间图像编码了计算机屏幕上的信息位置,抽象命题编码了单个操作的语义信息。

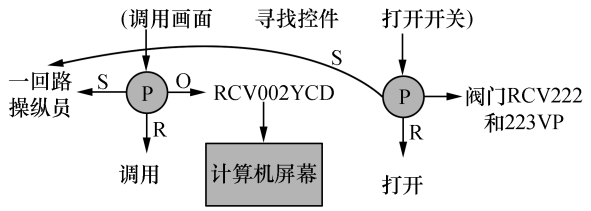

图 5 多个表征类型的复杂结构

二 实验验证

(一)实验目的

主控室操纵员为保证电厂安全稳定运行,需要完成两种任务,分别是主任务和界面管理任务。主任务是操纵员为了实现电厂的功能目标需要执行的,分别为监视检测、状态评估、响应计划和响应执行[14]。界面管理任务是操纵员为完成主任务需要执行的操作,如屏幕配置、画面调整等。操纵员在完成主任务时必须要完成界面管理任务,并且两种任务的知识表征不完全相同。操纵员运用空间模板对空间图像表征或顺序表征信息进行处理,运用语音回路对抽象命题表征的信息进行加工,当两种任务的知识表征相同即运用同一认知资源时,操纵员的认知负荷必然增大,需要更长的反应时间来完成任务。为了进一步明确界面管理任务对不同表征主任务的影响,本文以一回路小破口事故中操纵员的操作过程为例,基于南华大学人因研究所的压水堆核电厂模拟机平台对界面管理任务和主任务进行数据统计分析,以此识别界面管理任务对不同知识表征的主任务的影响。

(二)实验描述

由于插入一回路小破口至核电厂恢复平稳这一过程时间长,且中间可变因素多,本文通过对其中截取的一个阶段进行反复实验,以此确认界面管理任务对各种知识表征类型的主任务的影响。为排除前半部分操作对实验结果的影响,在教练员第一次完成前期部分的结尾处设置一个时间抽点 A,后续每一次实验直接从时间抽点 A 开始。每次实验分为甲乙两组,每组各选择 10 名南华大学的硕士研究生,在简单介绍设备和本次任务之后开展实验。

1. 实验Ⅰ:界面管理任务对以空间图像表征为主的主任务的影响

实验程序:选取第四阶段(降温降压至电厂平稳)中操纵员需要完成以空间图像表征为主的主任务部分。该选段中,操纵员需要恢复上充,隔离硼酸注入箱,其中包括四次界面调整,九个阀门的寻找与开关,具体操作,见图 6。

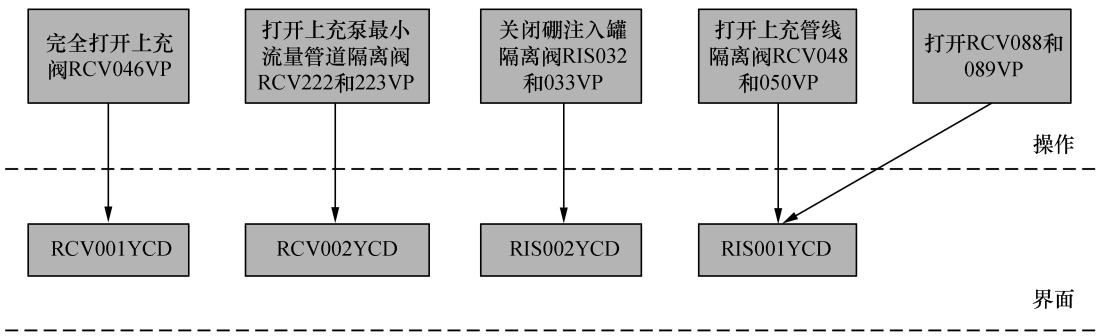

图 6 实验Ⅰ操纵员操作任务分析图

首先由教练员完成实验前期部分,将实验进度调整至任务初始点,未经过培训的操纵员在简单了

解任务后进行实验, 操纵员需佩戴头戴式眼动仪实时记录,实验时间为任务初始点至任务完成。甲组操纵员需自己完成屏幕配置、调整,乙组操纵员在已配置完成的屏幕上进行操作(三块屏幕固定显示三个需要进行操作的界面,RCV001YCD、RCV002YCD 和 RIS002YCD)。

实验结果:对眼动仪的记录画面进行观察后得到两组操纵员完成各次实验任务的平均时间,见图 7。

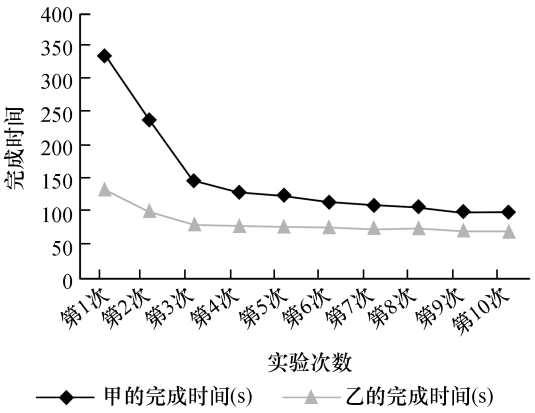

图 7　实验 I 操纵员任务完成结果分析图

2. 实验Ⅱ:界面管理任务对以抽象命题表征为主的主任务的影响

实验程序:选取第四阶段(降温降压至电厂平稳)中操纵员需要完成以抽象命题表征为主的主任务部分。该选段中,操纵员需要冷却和降压,通过反复调整喷淋阀的大小将一回路压力降至 65bar,同时保证 Δtsat>20 ℃,并且用 RCV046VP 维持稳压器水位>-4 m。

首先由教员完成前期部分,将实验进度调整至任务初始点,再选取未经过培训的操纵员在简单了解任务后进行实验, 该操纵员需佩戴头戴式眼动仪实时记录,实验完成时间为任务初始点至任务完成。其中甲组操纵员需自己完成屏幕配置、调整,乙组操纵员在已配置完成的屏幕上进行操作(三块屏幕固定显示三个需要使用的界面, RCP002YCD、ECP200YST 和 RCV001YCD)。

实验结果:对眼动仪的记录画面进行分析后得到两组操纵员完成各次实验任务的平均时间,见图 8。

(三)实验结果分析

操纵员完成各项主任务和界面管理任务时,调动注意力资源获取电厂信息,再通过工作记忆调用

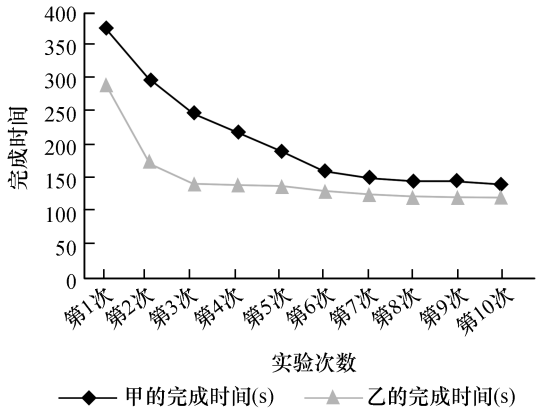

图 8　实验Ⅱ操纵员任务完成结果分析图

长时记忆的知识对信息进行加工输出,触发响应计划和响应执行。其基本过程是信息编码,信息存储,从长时记忆中检索信息,信息匹配和决策。界面管理任务在一定程度上增大了操纵员的认知负荷,影响人员绩效。根据两组实验结果,可得:多次的操纵技能培训的确能够在很大程度上提高操纵员的操作速度并降低失误,但是即便经过多次训练,界面管理任务的完成还是会影响操纵员完成主任务的进程,并且这些影响主要体现在任务完成时间上。对比两组实验可以发现,实验一中单次甲乙两组的完成任务平均时间差大于实验二,这说明界面管理任务对操纵员完成以空间图像表征为主的主任务的影响大于以抽象命题表征为主的主任务。操纵员经过多次培训能够增强知识的记忆,从而加快知识的检索、匹配和决策过程。但操纵员完成主任务的同时需要消耗认知资源来完成界面管理任务,若两种任务的知识表征不同,操纵员运用语音回路加工抽象命题表征的主任务,同时运用空间模板加工空间图像表征的界面管理任务,两者冲突较小,操纵员认知负荷较低。若两种任务都为空间图像表征,都需要运用空间模板来进行加工,此时操纵员的认知负荷增大,任务的完成时间也会增加。

三　结　语

核电厂主控室先进的 DCS 系统在提高仪表控制系统的数据处理能力、改善操纵员的界面信息显示、提高主控室的整体监控能力等方面做出了巨大贡献,但同时这些改变也引起了操纵员认知行为的改变,可能导致新的人因失误,从而威胁核电厂安全。本文虽然分析了操纵员在事故缓解过程中各种操作行为的知识表征,而且实验验证了界面管理任务对各种知识表征的主任务的影响,为后续的研究提供了理论基础。但如何消除或降低这些影响还需

要进行进一步的深入研究。

[参考文献]

[1] 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.

[2] 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):162-167.

[3] SHUKRI T M. Implementation of a cognitive human reliability model in dynamic probabilistic risk assessment of a nuclear power plant (ADS-IDA)[M]. University of Maryland,College Park: ProQuest Dissertations Publishing,1997.

[4] 戴立操,陆文捷.界面管理任务对核电厂操纵员的认知行为影响分析[J].南华大学学报(社会科学版),2019,20(1):8-13.

[5] BADDELEY A D,HITCH G. Working memory[M]//BADDELEY A D,HITCH G. Psychology of learning and motivation, Vol 8. Pittsburgh: Academic press, 1974: 47-89.

[6] BADDELEY A. Working memory and language: An overview[J]. Journal of communication disorders, 2003, 36 (3): 189-208.

[7] BADDELEY A D. Is working memory still working? [J]. European psychologist,2002,7(2): 85-97.

[8] BADDELEY A. Working memory: Looking back and looking forward[J]. Nature reviews neuroscience, 2003, 4 (10): 829-839.

[9] BADDELEY A. Exploring the central executive[J]. The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A, 1996,49(1): 5-28.

[10] ANDERSON J R. The architecture of cognition[M]. New York: Psychology Press,1996.

[11] P.萨迦德.认知科学导论[M].朱 菁,译.合肥:中国科学技术大学出版社,1999:8.

[12] NEWELL A,SIMON HA. Human problem solving[M]. Englewood Cliffs,NJ: Prentice Hall,1972.

[13] LEILA J JOHANNESEN,RICHARD I COOK,DAVID D WOODS. Cooperative Communications in Dynamic Fault Management[J]. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting,1994,38(4):225-229.

[14] 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 : Detailed Anaiysis[R]. U. S. NRC,NUREG/CR-6690, Vol. 2,2002.

Research on knowledge representation and influence of human-machine interface task in control room of nuclear power plant

DAI Li-cao,FAN Rui,ZHANG Mei-hui,LI Peng-cheng,LI Dong-sheng,CHEN Jian-hua

(*University of South China*,*Hengyang* 421001,*China*)

Abstract: In the digital control room of nuclear power plant, the operator needs to complete the interface management task and main task in the process of computer screen-based control. In order to understand the cognitive mechanism of digital interface, and identify the influence of interface management task on the completion of the main task, this paper identifies the operation process of the operator through several SLOCA simulation experiments, analyzes and confirms the operator's knowledge representation pattern during operation. On this basis, it was found that the interface management task can increase the time for the operator to complete the main task through simulation experiments. Moreover, the interface management task had greater influence on the operator's performance of the spatial image representation than that of the abstract proposition representation.

Key words: nuclear power plant human error; knowledge representation; working memory

(本文编辑:魏玮)