

# 基于计算机模拟技术的人机界面评价系统

陈晓明<sup>1</sup>, 高祖瑛<sup>1</sup>, 周志伟<sup>1</sup>, 赵炳全<sup>1</sup>, 中川隆志<sup>2</sup>, 仵威<sup>2</sup>

(1. 清华大学核能技术设计研究院, 北京 100084; 2. 三菱电机先端技术研究所, 日本 尼崎市 塚口 6618661)

**摘要:**介绍了一种基于计算机模拟技术的核电厂控制室人机界面软件评价系统 DIAS。该系统利用计算机来模拟操纵员对控制室人机界面的操作过程, 给出操作过程的定量评价结果, 同时它还采用人因失误预测技术 (THERP) 对操纵员操作失误概率进行分析。DIAS 系统可以为核电厂主控室人机界面的设计及改进提供很好的技术支持。

**关键词:**评价系统 DIAS; 人机界面; 人因失误

**中图分类号:** TP15; TP302

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-6931(2004)01-0070-04

## Man-machine Interfaces Analysis System Based on Computer Simulation

CHEN Xiao-ming<sup>1</sup>, GAO Zu-ying<sup>1</sup>, ZHOU Zhi-wei<sup>1</sup>, ZHAO Bing-quan<sup>1</sup>, Nakagawa<sup>2</sup>, WU Wei<sup>2</sup>

(1. Institute of Nuclear Energy Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. Advanced Technology R & D Center, MITSUBISHI Electric Corporation, Hyogo 6618661, Japan)

**Abstract:** The paper depicts a software assessment system, Dynamic Interaction Analysis Support (DIAS), based on computer simulation technology for man-machine interfaces (MMI) of a control room. It employs a computer to simulate the operation procedures of operators on man-machine interfaces in a control room, provides quantified assessment, and at the same time carries out analysis on operational error rate of operators by means of techniques for human error rate prediction. The problems of placing man-machine interfaces in a control room and of arranging instruments can be detected from simulation results. DIAS system can provide good technical supports to the design and improvement of man-machine interfaces of the main control room of a nuclear power plant.

**Key words:** DIAS assessment system; man-machine interface; human error

反应堆的控制核电厂安全中占有重要地位, 控制室人机界面设计的好坏直接影响到反应堆的控制。人因工程的研究是广泛的, 在有人和机器或工具相互作用的地方都可进行人因工程的研究工作。核反应堆的控制系统是一个

庞大的系统, 其控制方案设计、人机界面设计及操作环境设计等均会影响对反应堆的控制。

美国三哩岛事故和前苏联切尔诺贝利核反应堆事故的发生都是由于操纵员失误和操作规程运行体系的缺陷, 使反应堆系统的故障演化

收稿日期: 2002-10-21; 修回日期: 2002-12-12

作者简介: 陈晓明 (1969—), 男, 江苏建湖人, 助理研究员, 核能科学与工程专业

成严重事故。这两起事故发生以后,特别是切尔诺贝利事故以后,研究人员开始加强人因工程的研究,以减少操纵员在操作过程中的失误。

人机界面评价过程,一般是在设计好控制室后,让操纵员提供一些使用心得,设计者根据使用效果对人机界面进行进一步修改和完善工作。这些工作都是定性的分析评价工作,它需大量人力和物力资源,同时还需花费大量时间。

本文介绍的人机界面评价系统可定量提供操纵员在操作过程中的信息,并可对操纵员可能发生的操作失误概率给出定量结果。

## 1 DIAS 系统介绍

DIAS (Dynamic Interaction Analysis Support) 系统是日本三菱电机公司先端技术研究所和清华大学核能技术设计研究院联合开发的一套用于控制室人机界面评价的软件支持系统,它利用计算机模拟技术对操纵员的操作过程进行模拟,对操作规程和人机界面的评价提供定量的结果。DIAS 系统在 Windows 平台下开发。该系统满足中国核电厂主控室人机界面设计及操作规程的要求,可应用到中国核电站。为适应国际化需要,根据用户的需求,DIAS 系统可在中文、日文和英文 3 种用户界面间方便地转换。DIAS 系统的应用有如下意义:1) 辅助控制室设计;2) 有助于避免操纵员人因错误;3) 有利于制定主控板和 I&C 系统的设计导则;4) 提高核电厂运行的安全性,辅助主控室及控制面板的设计。

## 2 DIAS 系统组成及其相互关系

DIAS 系统由 5 个程序组成(图 1),包括操作规程编辑器、人机界面设计编辑器、操纵员模拟器、人机界面模拟器和人机交互分析器等。

### 2.1 操作规程编辑器

该编辑器是用来输入操作规程的程序,在整个系统中,操作规程以 Petri-net 形式输入到数据库中,供操纵员模拟器使用,操纵员按照 Petri-net 的顺序进行操作。

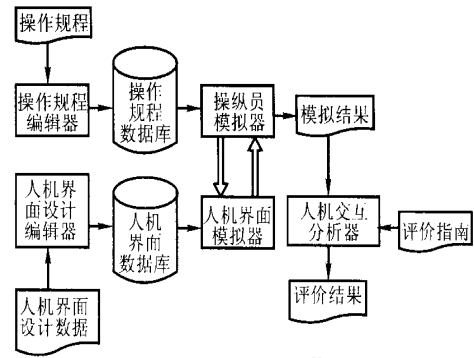


图 1 DIAS 系统各程序间相互关系图

Fig. 1 Configuration of DIAS

### 2.2 人机界面设计编辑器

人机界面设计编辑器是将主控室人机界面设计的信息输入到数据库中的工具。输入的信息包括主控室大小,控制盘布置、形状及大小,控制盘面的仪表布置以及这些仪表的参数值和状态等,作为人机界面模拟器的输入信息。

### 2.3 操纵员模拟器

该模拟器是模拟操纵员的程序,按照数据库中 Petri-net 指定的操作规程进行操作,包括读取参数值、确认状态、进行操作等,与操纵员在操作规程下的实际操作完全一致,并将操纵员的操作信息全部保存,作为人机交互分析器的输入数据。

### 2.4 人机界面模拟器

该模拟器用来模拟主控室,把主控室的所有信息提供给操纵员,操纵员根据这些信息和操作规程进行操作。在模拟过程中,人机界面模拟器显示操纵员在控制室中的位置、操纵员的最大视野及最佳视野等信息,操纵员的操作对象位于操纵员的最佳视野内。

### 2.5 人机交互分析器

人机交互分析器是对模拟结果进行分析评价的工具。模拟操纵员操作的数据是它的输入,对这些操纵员的操作信息进行处理和统计,得到操纵员在操作过程中的移动距离、操作时间等信息。该分析器程序同时提供对每个操作步进行 THERP (technique for human error rate prediction) 分析评价的工具,它引入了美国核管理委员会出版的关于人因分析手册中的评价表,分析人员可根据操纵员的操作和给出的基本出错概率表得到该操作的基本出错概率,还可根据人机界面设计和环境等情况对每个操作

步的评价指标权重进行修正。

DIAS系统的操纵员模拟器和人机界面模拟器支持多个操纵员的模拟工作。在利用 Petri-net 编辑操作规程数据库时,可指定某个操作由某个操纵员完成。模拟时,程序自动模拟该操纵员的操作,并启动一个人机界面模拟器和相应个数的操纵员模拟器来模拟操纵员的操作。操纵员模拟器模拟操纵员的结果作为输入数据输入到人机交互分析器中,分析人员利用模拟结果和评价指南,通过人机交互分析器对操纵员的整个操作过程进行分析。在分析过程中,分析器除了可将统计的评价结果对操纵员的出错概率进行修正外,还提供与人机界面设计编辑器的联系。分析时,分析人员可通过人机界面编辑器了解操纵员进行操作时所在的位置,以及前后5步操作的所在位置,将分析人员放到整个操作环境中去进行出错概率分析,使得分析人员能够全面了解操纵员、操作对象的情况,从而得到客观的评价结果。通过对评价结果分析,可对控制室人机界面的设计作出评价,人机界面的设计在某个操作规程下是否有利于操纵员的操作等信息。通过多个操作规程的模拟,可得知反应堆主控室的设计对于操纵员控制反应堆是否合理,有无需要改进设计等。

### 3 DIAS系统人机界面评价指标及使用

DIAS系统给出用于人机界面设计的以下评价指标。

1) 水平移动距离 操纵员在完成某个操作动作的过程中需走过的路程(在水平面上),它反映操纵员进行操作时是否需要移动太长的距离或频繁地来回移动、人机界面设计在布置上是否合理、是否与操作规程相匹配等。

2) 垂直移动距离 操作过程中操纵员在垂直面上移动的距离,它反映人机界面设计在仪表和按钮布置上是否合理、是否需要操纵员进行弯腰操作、操纵员的操作是否方便等。

3) 视线移动距离 在同一块控制盘内,操纵员在两个操作步之间视线的移动,它反映了人机界面设计在控制盘内的情况,是否需要操纵员在控制盘内来回移动视线,即在同一块控制盘内相邻操作的操作对象的布置是否合理。

4) 非正前方视线移动距离 仪表或按钮

等高于操纵员视线高度的距离,除报警灯外,其它仪表或按钮,如果高于操纵员的视线高度,操纵员需仰视读取参数或进行操作,这必将增加操纵员的出错概率,因此,该指标反映了人机界面设计是否符合操纵员的特点。

5) 操作时间 操纵员进行某项操作所花费的时间。

6) HEP(Human Error Probability) 操纵员进行某个操作时可能出现失误的概率。此外,它还包括人机界面设计情况或外界环境的修正因子、关联操作之间的依赖性以及操纵员在进行操作时的紧张程度等多种因子。基本出错概率的给出是根据操作的要求,通过选择人机交互分析器中给定的 THERP 评价表而得到的。美国核管理委员会的报告给出了人机交互界面的 THERP 评价表。这份报告是美国专家经过多年研究得出的,具有一定的指导性。修正因子根据操纵员的操作情况、人机界面的设计情况等给出。关联操作间的依赖性关系根据操作间的关系确定。如读取某个参数值时,为了准确起见,要求操纵员对多个仪表进行核对,这些操作之间存在一定的关联,其出错概率将有一定程度的下降。又如,操纵员的紧张程度根据该项操作对反应堆安全的重要程度来确定。通常,在事故发生的初期和结束操作的时期对反应堆的安全较为重要,操纵员此时处于紧张阶段,发生失误的概率就将有所增加。

DIAS系统分析器输出结果用 Excel 绘图,分析人员可方便地利用图形对分析结果进行评价和比较。同时,DIAS系统分析器程序输出结果的保存对应于操作规程树状展开操作步,因此,其输出结果不仅可输出在整个操作过程中操纵员的分析情况,还可针对某细小的操作步进行分析。在使用分析器进行 THERP 分析过程中,分析人员可将自己人为增加的修正因子、压力因子和依赖性的关系保存在输出结果中,因此,通过输出文件,可了解分析人员在分析过程中的分析方法,即在输出结果中包含分析人员认为该人机界面设计或操作规程存在的不足之处,可方便地针对这些情况进行修改。

利用 DIAS 系统可对多个操作规程的操纵员操作过程进行模拟,从而能够全面地对控制室的人机界面设计进行评价工作,同时又可对

改进后的人机界面设计针对不同操作规程进行分析,了解人机界面的设计修改对全部操纵员操作过程的影响。

### 4 应用实例

我国自行设计的核电厂人机界面设计和操作规程《辅助给水总流量的操作过程》的操作过程是读取两条辅助给水的流量。辅助给水系统流量测量的人机界面的设计状况如下:共有3组仪表,分别属于两条正常的辅助给水回路和柴油机辅助给水回路;柴油机的仪表在两条正常回路中间,流量表在每组仪表中间,它们均布置在1.85 m高处;在读取两回路的辅助给水流量后,对其进行相加得到总辅助给水流量。

图2是利用DIAS系统得到的该过程统计结果。图2a中的操纵员从前一个动作的操作盘到辅助给水流量测量的操作盘需要移动较长距离,而读取第2块表时在操作盘内进行,几乎

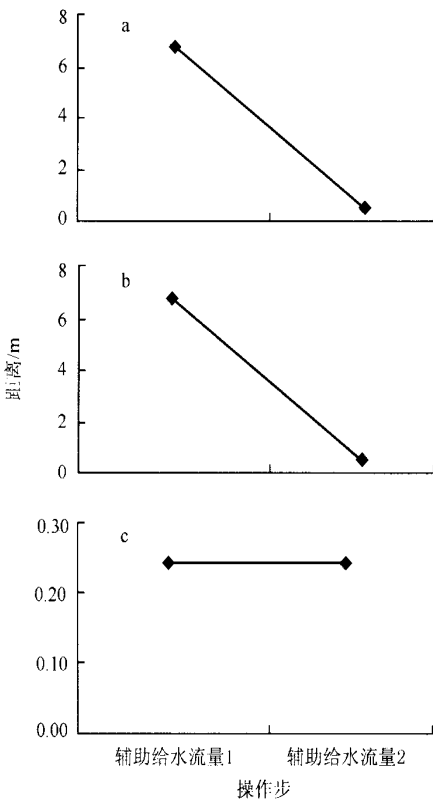


图2 操作过程操纵员水平移动距离(a)和视线移动距离(b)及非正前方视线移动距离(c)  
Fig. 2 Body movement length(a), eye movement length(b) and nonfrontage eye movement length(c) in the progress

不移动;因两块仪表间的距离较大,因此,在图2b的操纵员视线移动距离中表现出来;同时它们的位置高于操纵员视线高度(视线高度为1.60 m,假设操纵员身高1.70 m),因此,图2c的操纵员非正前方视线移动距离均较大。

图3示出THERP分析得到的HEP结果。图中基本值是操纵员进行该项操作最基本的出错概率,修正值是考虑了人机界面设计和操作

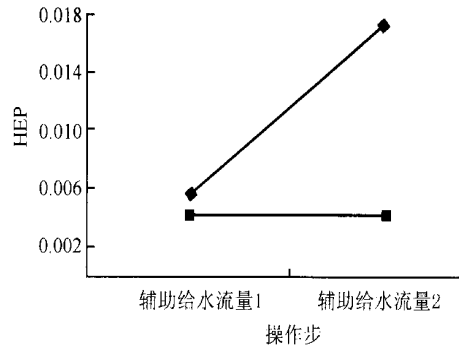


图3 操作过程操纵员 THERP 分析  
Fig. 3 THERP analysis of the progress  
—修正值; —基本值

规程的影响而增加了修正因子后的出错概率。该过程要求读取流量的准确值,读取第1个流量时,因仪表位置高导致操纵员更易出错,增加了1.5的修正因子,出错概率增加了1.5倍;进行第2步操作时,操纵员在盘内有较大的视线移动,中间又有相同布置的仪表,导致可能的选择错误概率增加,再累加仪表位置高的因素,增加了2.5的修正因子;进行完第2次流量读取后,需进行计算(流量简单相加),在该步操作上累积了计算的基本出错概率1%,因此,第2步操作的出错概率高达1.8%。

由上例可看到,通过DIAS系统可将人机界面设计和操作规程安排中的一些问题量化地表现出来,这些是专家无法通过简单分析所能发现的问题。

### 5 结论

DIAS人机界面动态分析支持系统可方便地提供对控制室人机界面设计和操作规程的定量评价分析结果,它在控制室人机界面设计和改进方面可节省大量人力、物力和时间,它的评价结论比那些基于专家定性评价的结论更具有说服力。故DIAS系统具有广泛的应用前景。