

核电人因工程研究的辩证思维

李鹏程, 汪胜春^①, 唐云波^①

(南华大学 经济管理学院, 湖南 衡阳 421001)

[摘要] 马克思主义哲学对核电人因工程研究的发展有着重要的指导作用。核电人因工程是一门多学科交叉学科, 文章初步探讨了核电人因工程中三个主要内容之间的辩证关系。在具体的研究中需正确处理好局部和整体、变化发展、普遍联系、对立统一、理论与实践的辩证关系, 才能真正地认识核电人因工程的发展、变化趋势及其本质规律, 只有这样才能保障核电站的安全运行。

[关键词] 马克思主义哲学; 核电人因工程; 辩证思维

[中图分类号] X946 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-0755(2010)01-0001-03

Tager 的研究表明, 核电厂中由人因失误引起的风险达到 50%~70%^[1]。因此, 预防和减少人因失误的发生对提高系统可靠性和安全至关重要, 是核电人因工程研究的主要内容之一。国际上关于人因工程的研究主要包括三个方面, 即人因失误、人因可靠性以及控制室设计方面的研究。本文试图从哲学角度探讨核电人因工程中三个主要内容之间的辩证关系, 为核电人因工程的研究发展及其本质规律的认识提供哲学指导。

(一)人因失误机理、人因可靠性分析以及控制室设计方法之间的辩证关系

在核电人因工程研究中, 人因失误机理、人因可靠性分析以及控制室设计方法是主要的研究内容, 正确认识他们三者之间的辩证关系是提升研究的理论与实践水平的重要前提。认识事物就必须从事物生成过程的共性——本质和规律性探索入手^[2]。人因失误机理研究是认识人因失误的本质和规律。只有认识到失误源、失误类型、失误心理机理、班组交互机理、组织错误因果机理、识别行为影响因素及其复杂交互关系等, 才能发觉人因失误的本质——人因失误是由若干人的内部因素和外部情境因素共同作用, 引起人的认知失误和行为失误, 使人不能精确地、恰当地、充分地、可接受地完成其所规定的绩效标准范围内的任务。简言之, 人因失误就是人的认知失误和行为失误, 人的认知功能和行为响应没有达到正确和预期的标准。认识到人因失误的本质和规律, 为人因可靠性分析提供了前提条件, 才能正确说明情境环境因素对人因可靠性的影响, 使结果更符合实际。同时, 人因失误机理的研究为控制室设计方法的研究提供了理

论基础, 只有科学的人误的本质和规律的认识, 才能设计出最优的人机界面, 使人的绩效最大化, 并能更好地预防人因失误的发生。

人因可靠性分析(Human Reliability Analysis HRA)起源于 20 世纪 50 年代, 由 Sandia 国家实验室的数学家 Herman Williams 以及电子设备工程师 Purdy Megs 在 1952 年发表的对武器系统可行性研究的报告中, 在复杂装备系统的风险分析中首次尝试评估人因失误对装备可靠性的影响, 并评估人误概率(HEPs)。这至少可看作是另一新的领域——人因可靠性分析的正式开始^[3]。HRA 经过半个世纪的发展, 已发展了数十种人因可靠性分析方法, 包括第一代面向“任务”的 HRA 方法(如 THERP、HCR、SLM、HEART 等)、第二代面向“情境环境”的 HRA 方法(如 CREAM、ATHEANA、MER-MOS、MDTA 等)以及当前正在发展的面向“动态行为和过程仿真”的第三代 HRA 方法(如 COSMO、OPSM、CREWSM、MIDAS、IDAC 等)。人因可靠性分析能识别出重要的人因失误模式和风险重要度, 为控制室的设计提供依据, 如对于重要的人因失误模式, 需在设计中采用报警设计、冗余设计等, 为预防重要的人因失误发生, 而需在组织设计中进行相应的考虑, 如组织的弹性设计、合理的组织结构、组织激励、组织学习与培训、员工冗余设计、组织监管等。

三哩岛事故说明了人机界面问题使得操作员在紧急情况下难以从报警系统、指示器、控制面板处理大量的各种各样的信息, 人机界面问题成为引发人因失误的主要原因。在核电厂半个多世纪的发展历史进程中, 控制室的设计经历了三个发展阶段^[4]。最初, 进入控制室的只是主工艺系统的人

[收稿日期] 2009-11-03

[基金项目] 国家自然科学基金项目资助(编号: 70873040)

[作者简介] 李鹏程(1978-), 男, 湖南邵阳人, 南华大学经济管理学院讲师, 华南理工大学博士研究生。

^①南华大学经济管理学院讲师。

机接口,根据知识和经验对控制室盘台进行设计,辅助工艺系统的监控在就地完成;其次,为尽可能地提高自动化的水平,将尽量多的人机接口放入控制室,但并没有强调人因工程学的应用;美国三哩岛严重核事故之后,进入第三阶段,认识到并不是进入控制室的人机接口越多越好,也不是自动化的水平越高越好,而是提出控制室功能设置要得当,人机功能分配要合理,人机接口的设计要符合人机工程学的应用原则,数字化人机界面已进入诸多高风险系统的控制室中。控制室设计的研究成果需应用于实践,在实践中检验,通过检验来修订、完善设计。同时,控制室设计的研究又反过来影响人因失误机理、人的可靠性分析两方面,如系统化的数字化人机界面的设计,减少了人因失误的发生率,但是会使人因失误出现新的特征(如模式混淆)及分布(如EOC失误的增加)以及新的情境环境,使人因失误规律发生变化,影响基本的人因失误概率,最终需重新研究人因失误机理、人的可靠性,从而促进他们向纵深研究方向发展。因此,人因失误机理、人因可靠性分析以及核电厂主控室设计三个方面是相互影响、相互促进、相辅相成的,缺一不可。从人因失误机理,到人因可靠性,再到系统界面设计,再到人因人误机理等等,他们是一个不断循环、不断提升和发展的过程。

(二)局部和整体的辩证关系

整体是指构成事物的诸要素和关系的全部总和,是事物的组成、结构、性质、功能及其多样性的联系与相互作用的辩证统一^[9]。局部是整体的各种要素和各种关系,可以是某一要素,也可以是某些要素的组合。整体与局部不是绝对的,而是相对的,同时也是不断地变化和发展的。核电人因工程研究中局部和整体的关系主要表现在:(1)人因失误机理研究中表现为“个体、班组与组织或复杂社会-技术系统”之间的辩证关系;(2)人因可靠性分析中表现为“个体、班组和组织可靠性”的辩证关系;(3)控制室设计研究中表现为单项设计与整体布局、综合集成的辩证关系。

核电厂组织是一个整体,单个的人员是构成组织的个体,通过一定的结构和功能分配最终构成一个完整的运行组织。人因失误机理分析不仅要明确个体失误机理,而且要认识组织错误机理。认识个体失误机理能识别出人因失误的类型、认知或心理失误原因以及不利的行为影响因子。而组织错误机理更能从整体上识别组织的潜在错误,通过组织机构的相互影响关系的分析,更能从源头识别出影响人因失误的组织根本原因。人因可靠性分析中局部是指分析单个人员的可靠性,整体是指班组可靠性以及组织可靠性。单个人员的可靠性是班组或组织可靠性的重要组织部分,但不完全是简单的累加,而是相互融合的结果。单个人员可靠性研究需考虑班组及组织情境环境对人员可靠性的影响,班组或组织可靠性也不能忽视组织人员的行为可靠性的影响。它们之间的结构关系、影响和功能关系、影响程度以及数学关系,是识别人因可靠性整体与局部辩证关系的基础,同时需要大量的实验数据作为分析依据。控制室设计研究中局部的单项功能分配与设计只是针对人的行为特性的某一方面进行设计,整个主控室的整体设计应该从整体的把握、系统优化

设计,综合考虑人的各种行为特性(或局限性),根据最优设计原则,最终使人机界面最优化。不能因为某一项人的功能最大化,而影响其它功能。

(三)变化发展、普遍联系、对立统一的观点

世界上的万事万物无不处于永不停息的运动、发展之中^[6]。从核电人因工程的发展来看,也经历了由简单到复杂、由低级到高级、静态到动态向前发展运动的过程。如回顾过去几十年发展起来的人因事故分析模型,从发展演变历程来看,主要有四类:第一类从系统工程技术角度,关注重要事件和技术失效分析,如故障树和事件树等,能模拟事故的发展历程,但缺乏分析的框架;第二类从心理学角度,关注人因失误及其机理的分析技术,研究者们对失误类型、失误机理和失误产生条件做了大量的评价、建模和实用的分类,如Rasmussen(决策阶梯模型、技能-规则-知识模型)、Reason(通用失误模拟系统)和Hollnagel(简单认知模型)对人的心智模型的研究等,偏重对个体失误机理的描述,但缺少对组织错误事件因果机理的分析和分类;第三类从组织定向的角度,发展了各种组织事故因果模型,如典型的Reason的瑞士饼模型,该模型给出了组织事故因果关系的总体框架,但是没有明确说明情境环境与人因失误的具体因果对应关系及影响程度;第四类是从复杂社会-技术系统的角度,发展了各种社会-技术系统模型,如Rasmussen和Svedung建立的系统运行阶段的社会-技术系统模型,Leveson N.从系统理论和控制理论的角度建立的一般的社会-技术系统模型这些模型体现了从简单到复杂、从低级到高级的发展历程,并说明了人们对问题认识的深入。另外象人因可靠性分析方法存在由简单的静态的HRA方法(如THERP、ASEP、HCR)发展到复杂的动态基于模拟仿真的HRA方法(如CREAM、CES、COSMO、CREWSM、OPSM、DREAMS)的变化趋势。同时,人机界面设计中存在从传统的半经验方法发展到系统的系统集成方法的趋势。这些都体现了发展的思想。

辩证唯物主义认为,一切事物、现象之间是相互联系、相互依赖、相互制约的,并在一定条件下相互转化。客观世界是一个普遍联系的整体,每一个事物都不是孤立地存在的。恩格斯曾说:辩证法是“关于普遍联系的科学”。如前所述,核电人因工程研究主要内容(人因失误机理、人因可靠性及控制室设计三个方面)之间体现了普遍联系的观点,并且各个具体研究内容中更体现了普遍联系的特点。如在人因失误机理研究方面,建立一种人因事故分析技术或人因失误预测技术,都需要从模型、分类框架和方法三方面来进行研究。模型提供了组织分类框架的基本原理,分类框架是确保分析结果一致和可靠的基础,方法执行分析的指导,方法以模型和分类为基础。另外,模型的建立必须从失误的外在表现、内在认知过程、内部和外部行为影响因子(PIFs)、以及外部行为影响因子之间的直接和间接交互关系的研究来建模。分类框架的建立必须以模型为基础来进行分类。因此,只有用普遍联系的观点来深刻认识他们之间的真正关系,才能达到本质和规律的认识。

任何事物发展和变化的动力是矛盾的对立和统一。马

克思主义哲学告诉我们, 对立统一规律, 即矛盾辩证法是辩证法的实质和核心^[6]。对立统一规律揭示了事物运动、变化、发展的根本原因在于事物内部的矛盾性, 唯物辩证法是世界观又是方法论, 而对立统一规律提供了这一科学方法论最根本的内容, 即矛盾分析的方法。如在人因失误理论分析中, 存在人因失误的回溯性分析技术与预测性分析技术对立又统一于人因失误机理。人因可靠性分析方法存在动态与静态、任务分解型与全盘考虑型方法的对立与统一, 统一于识别关键的人误模式及重要任务。界面设计中的照明的明暗、颜色的冷暖、浓淡等有规律的组合, 这种形态往往造成强烈的感观效果, 在对比中见统一, 统一于人性化设计, 统一于人因工程学原理, 最优工作绩效以及最少的人因失误等。

(四) 理论与实践的辩证统一

理论来源于实践, 指导实践, 并由实践检验理论, 理论与实践的关系是马克思主义认识论中的一个极其重要的辩证关系。核电人因工程理论来源于实践并应用于实践, 在实践中检验。如人因失误机理研究是通过大量的核电领域实际发生的人因事件/事故报告分析、归纳和总结, 最终提升为理论。理论分析与实验观察和验证是核电人因工程研究中的重要方法, 它们是相互联系、互相促进的, 脱离或违背实验事实的理论是不合实际的, 无法对科研和生产活动起到积极的指导作用, 而离开理论指导的实验是盲目的。人因可靠性分析模型、数据、方法和技术都是理论分析和实验观察和验证的结果, 如 THERP/HCRR 模型的建立, 基本上是通过全尺寸或小尺寸模拟机训练数据来获取人因失误基本数据的。只有通过实验的观察才能获取真实的数据, 也只有通过实验的验证, 才能确定数据或模型的可用性和可靠性。另外, 像数字化人机界面设计的优点还需要在实验和实践中得到检验。新的理论还需回归实践, 需要在实践中得到检验, 在实践中发现不足, 并逐步改进和完善。理论在实验和实践的基础上产生和发展, 实验和实践又在理论的指导下更新设计、修订、补充和完善, 它们既是矛盾的、相互消长的、又是统一

的、相辅相成的, 矛盾的对立统一是促进核电人因工程发展的不竭动力。

总之, 核电人因工程是一门多学科交叉和融合的科学, 不仅涉及到生理学、心理学、解剖学、系统科学、行为科学、统计学、计算机和信息技术, 而且涉及管理科学、安全科学等。核电人因工程研究的发展需要利用马克思主义哲学的基本原理来认识其主要研究内容的辩证关系, 分清主要矛盾, 使研究环环相扣, 逐步推进, 避免迂回、重复研究或建立在空中楼阁上的研究。另外, 在具体的理论、方法和技术研究中应能处理好局部和整体的关系以及理论与实践的关系, 用变化发展、普遍联系、对立统一的观点来认识问题, 只有这样才能揭示核电人因工程发展的内在规律, 预见其发展趋势, 从根本上为核电人因工程科学研究指明方向, 使核电人因工程理论、方法和技术更趋完善, 最终预防和减少人因失误的发生, 达到核电站安全运行的目标。

[参考文献]

- [1] T. A. Trager, Jr. Case Study Report on Loss of Safety System Function Events[D]. AEOD/C504 US Nuclear Regulatory Commission Washington D. C, 1985.
- [2] 黄顺基, 郭贵春. 现代科学技术革命与马克思主义[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2007.
- [3] Swain A. D. Human Reliability Analysis: Need, Status, Trends and Limitations[J]. Reliability Engineering and System Safety, 1990(29): 301-313.
- [4] 杨孟琢. 核电人因工程领域的发展[J]. 中国工程科学, 2002(8): 12-19.
- [5] 瞿金平, 彭响方. 马克思主义哲学在高分子材料成型加工新技术研究中的指导作用[J]. 华南理工大学学报(社会科学版), 2001(1): 25-30.
- [6] 贡桑多吉. 数学教学中应重视辩证思维能力的培养[J]. 西藏科技, 2007(8): 35-36.

Dialectical Thinking of Research of Nuclear Power Human Factors Engineering

LI Peng-cheng WANG Sheng-chun TANG Yun-bo

(University of South China, Hengyang 421001, China)

Abstract Marxist philosophy acts as an important guiding role for the development of nuclear power human factors engineering. Nuclear power human factors engineering is a disciplinary of intercross of multi-subjects. This paper preliminarily studies the dialectical relationships among the three main research parts of nuclear power human factors engineering. In specific research field, the relationships of local and global change and development, universal contact, and the unity of opposites should be correctly treated to really understand the development trend and essential law of nuclear power human factors engineering. Only in this way can we guarantee the safe operation of nuclear power plants.

Key words Marxist philosophy Nuclear power human factors engineering Dialectical thinking